



HAL
open science

Epandage des boues résiduaires et effluents organiques. Matériels et pratiques

Florence Thirion, F. Chabot

► **To cite this version:**

Florence Thirion, F. Chabot. Epandage des boues résiduaires et effluents organiques. Matériels et pratiques. Cemagref Editions, pp.191, 2003, 2-85362-608-3. hal-02581265

HAL Id: hal-02581265

<https://hal.inrae.fr/hal-02581265>

Submitted on 21 Jul 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

PUB00011354

Épandage des boues résiduaires et effluents organiques

Matériels et pratiques

François THIRION, Frédéric CHABOT



CEMA 59

Cemagref
EDITIONS

CEMAGREF
DOCUMENTATION
CLERMONT-FERRAND

Épandage des boues résiduaires et effluents organiques

Matériels et pratiques

François **THIRION**, Frédéric **CHABOT**

Cette étude, réalisée dans le cadre de la convention ADEME-Cemagref 0175009 du 27 juin 2001, a bénéficié du soutien du comité de pilotage suivant :

Yves Coppin – ADEME, 2 Square Lafayette, BP 406, 49 004 Angers Cedex.
Marc Rousselet et Philippe Zwaenepoel, Cemagref, Domaine des Palaquins, Montoldre
03150 Varennes sur Allier.
Claire Lhoutellier, ACTA, 149 rue de Bercy, 75 595 Paris cedex 12.
Roger Flutsch, Agence de l'eau Rhin-Meuse, route de Lessy Rozérieulles, 57161 Moulins-
les-Metz Cedex.
Jean-Noël Terrible, APCA, 9 av. Georges V, 75 008 Paris.
Philippe Estanove, BCMA, 9 rue de la Baume, 75 008 Paris.
D. Couturier et O. Tadel, Biodèpe, La Lochère, 21 560 Remilly-sur-Tille.
Philippe Colin, ETA Lamont Colin, 15 rue du pont de Grez, 80310 Hangest-sur-
Somme.
Marie-Laure Bailly, FNCUMA, 49 av. de la Grande Armée, 75116 Paris.
Gérard Levast, MAP-DERF, 19 av. du Maine, 75 732 Paris Cedex 15.
Arnaud Devillepoix, SEDE Nord, 2 rue des Archers, ZI du Moulin BP 156, 62453
Bapaume.

Photos de couverture – Rampe à pendillards [P. Lépée, chambre d'Agriculture de la Creuse].
Enfouissement de boues liquides, épandage de boues solides chaulées, enfouissement
de lisier par automoteur – Épandage de fumier de poules, chargement de boues solides
[F. Chabot et F. Thirion, Cemagref].

© Cemagref 2003– Cemagref Éditions – Épandage des boues résiduelles et effluents organiques.
Matériels et pratiques, François Thirion, Frédéric Chabot. 1^{re} édition, coordonnée par le Cemagref.
ISBN 2-85362-608-3 – Coordination, conception et création graphique : Julienne Baudel – Info-
graphie : Françoise Peyriguer. Dépôt légal : 1^{er} trimestre 2003 – Impression et façonnage : 18, rue
Saint Denis, BP 2734, 75027 Paris Cedex 01. Diffusion : Publi-Trans, ZI Marinière2, rue Désir
Prévost, 91080 Bondoufle, tél. 01 69 10 85 85, fax 01 69 10 85 84. Diffusion aux libraires :
Technique et documentation Lavoisier, 14 rue de provigny, 94236 Cachan Cedex, tél. 01 47 40 67 00.
Prix : 30 €.

PRÉFACE

Jacques Wiart _____ ADEME

Après une décennie de travaux et débats sur le « pourquoi épandre ? » ou le « faut-il épandre ? », nous voilà revenus avec ce livre à une question de départ assez basique : « comment épandre ? » et surtout comment *bien* épandre. Les démarches qualifiées s'appliquent de plus en plus largement à l'activité agricole, et cela n'échappe pas, bien entendu, aux aspects de l'épandage, qu'il s'agisse de boues d'épuration ou d'effluents agricoles.

Les travaux financés en 1988-1990 par le ministère de l'Agriculture (FNDAE), les Agences de l'eau, et l'Agence nationale pour la récupération et l'élimination des déchets (ANRED, devenue ADEME en 1992), publiés en 1992, avaient permis de dresser un bon état des lieux sur la qualité des matériels d'épandage. Avec l'aide des Missions de valorisation agricole des déchets (MVAD), basées pour la plupart dans les chambres d'agriculture, de nombreux matériels et chantiers avaient été observés et testés sur le terrain, en utilisant partout le même protocole de mesures. La méthode et les résultats, largement diffusés en France, ont fait école et ont été repris par les CUMA (Coopérative d'utilisation du matériel agricole), les ETA (Entreprises de travaux agricoles) et les sociétés d'ingénierie en épandage qui se sont beaucoup multipliées au cours de la décennie 90.

Le constat du début 90 était plutôt mitigé : les tonnes à lisier présentaient un spectre de répartition latérale en M difficile à corriger, même par recouplement optimisé des passages ; l'épandeur à fumier classique, beaucoup utilisé en France, créait un surdosage inacceptable sur l'axe d'avancement du matériel... En général, les coefficients d'hétérogénéité étaient supérieurs à 50 %, indication d'une répartition au sol peu satisfaisante. Pour autant, des innovations intéressantes étaient soulignées : apparition des premières tables d'épandage, offrant la possibilité de recouper les passages pour atteindre la régularité souhaitable ; développement des rampes d'épandage pour les produits liquides, réduisant les odeurs et supprimant les surdosages latéraux ; bénéfice indéniable des pneumatiques basse-pression. En contrepartie, le coût des matériels était appelé à augmenter très sensiblement, et leur polyvalence remise en cause. Mieux valait un matériel spécialisé, épandant bien un produit donné, qu'un matériel unique épandant mal toutes sortes de produits. Les échanges au sein du réseau des Missions-déchets et des techniciens « matériels » des chambres d'agriculture et des CUMA ont contribué à la diffusion de ces innovations et réflexions. En même temps, la société française, et plus particulièrement le monde agroalimentaire – en situation d'inquiétude, de fantasme ou de surenchère sur la sécurité alimentaire – demandaient des comptes à l'agriculture sur ses performances environnementales, ainsi qu'aux collectivités qui choisissaient l'épandage comme filière de recyclage des boues d'épuration.

En 2002, compte-tenu des évolutions fortes des métiers et pratiques de l'épandage, où en sommes-nous ? L'objet du présent ouvrage est de dresser un nouvel état des lieux sur les matériels et leurs performances. Par conséquent, l'ADEME et le Cemagref ont lancé, en 1999, une enquête sur les matériels et pratiques d'épandage des boues résiduaires et effluents organiques, puis une nouvelle campagne nationale de mesures de terrain, auxquelles se sont associés – avec une disponibilité qu'il convient

à nouveau ici de souligner et de remercier – un grand nombre de professionnels, ingénieurs et techniciens des Missions-déchets, bureaux d'études, CUMA et ETA. L'étude a même suscité une grande attente auprès de ce public, désireux de connaître la nouvelle situation technique dans ce domaine et de partager leurs expériences professionnelles.

Plusieurs points font nouveauté. La première avancée significative à souligner est d'ordre méthodologique, avec l'élaboration, au cours de la décennie 90, de normes européennes sur la mesure de la qualité des épandages. C'est un préalable indispensable : créer un consensus sur la façon d'apprécier objectivement ce qu'on appelle la « régularité d'épandage ». Un chapitre de ce livre précise les définitions et valeurs en ce domaine. Ensuite, les innovations technologiques de la fin des années 80 ont tenu leurs promesses et les défauts ou faiblesses initiales ont progressivement été gommés ou atténués par les constructeurs, à force d'inventivité et d'expérience. Autre point d'intérêt, les recherches sur l'état physique des boues d'épuration font, depuis le milieu des années 90, l'objet d'études européennes (relancées dans le cadre du groupe de normalisation CEN TC 308 sur l'élimination des boues d'épuration). Le Cemagref a largement redynamisé ce domaine de travail particulier en France, fort délaissé depuis la fin des années 70. Des matériels existent pour quasiment tous les produits, dans leur diversité d'états physiques (liquides, pâteux, solides, granulés), même si certains produits s'avèrent plus faciles à épandre que d'autres. Cependant, des liens plus univoques restent encore à concrétiser entre état physique et technologie d'épandage. Des travaux finalisés en ce sens se poursuivent et bénéficieront globalement à la chaîne logistique de production, stockage et manutention des matières à épandre. Enfin, l'électronique embarquée et la micro-informatique ont apporté ces dernières années de nouvelles possibilités de réglages et d'auto-contrôle. Sur ce dernier plan, regrettons que la technologie GPS (positionnement par satellite) ait encore trop peu investi le domaine de l'épandage, alors que les potentialités de cette technique et les bénéfices dérivés en terme d'image et de crédibilité sont grands.

Ce livre dresse ainsi la panoplie des matériels et solutions techniques pour bien épandre et s'appuie de façon concrète et illustrée, dans un style accessible, sur les chantiers observés et les mesures réalisées. Il montre, données à l'appui, que de nombreux matériels présentent désormais une régularité d'épandage correcte, avec un coefficient de variation inférieur à 30 % ; résultat rarement atteint début 90.

Une place particulière est également dévolue aux chantiers d'épandage et à leur gestion, car l'épandage devient de plus en plus un métier, une spécialité faisant appel à différents profils professionnels : mécaniciens, conducteurs chevronnés, agronomes, logisticiens et qualitatifs. La publication du référentiel de certification de service QUALICERT sur les épandages de matières fertilisantes recyclées, par le Journal Officiel (J.O.) du 6 février 2002, a été le point d'orgue d'une décennie de progrès en matière de prestations de service. En contrepartie, le coût de plus en plus élevé des matériels performants et des services associés exige de les amortir sur des tonnages importants, dans des chantiers professionnellement organisés et optimisés. Ces points sont abordés en fin d'ouvrage.

Enfin, aspects mal documentés en France, ce livre consacre quelques développements au cas des épandeurs conçus pour des essais agronomiques de plein champ et des matériels utilisables en montagne (25 % du territoire français est en zone de montagne) ou en végétalisation, autre domaine d'importance trop négligé jusqu'à présent en matière de débouchés pour des matières organiques locales de qualité, d'origine résiduaire ou agricole.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	7
<u>LES PRODUITS ORGANIQUES À ÉPANDRE</u>	
1 Les différentes catégories de produits épandus	9
2 Les propriétés physiques des produits à épandre	25
<u>LA QUALITÉ D'ÉPANDAGE DES PRODUITS ORGANIQUES</u>	
1 Principe et définitions	39
2 Le respect de la dose	41
3 La régularité d'épandage	44
4 La qualité actuelle des épandages	50
<u>L'ÉPANDAGE DES BOUES LIQUIDES ET AUTRES PRODUITS ORGANIQUES LIQUIDES</u>	
1 Épandage par rampe d'irrigation	57
2 Épandage à tuyau ombilical	62
3 Épandage par tonnes à lisier	65
4 Les équipements d'épandage des tonnes à lisier	70
5 Synthèse sur les épandages de produits liquides	78
<u>L'ÉPANDAGE DES BOUES PÂTEUSES</u>	
1 Principe de fonctionnement des épandeurs spécialisés	81
2 La distribution longitudinale	83
3 La distribution transversale	86
4 Synthèse sur les épandages des boues pâteuses	89

L'ÉPANDAGE DES BOUES SOLIDES ET AUTRES PRODUITS ORGANIQUES SOLIDES

- | | |
|---------------------------------------|-----|
| 1 Les épandeurs à hérissons verticaux | 94 |
| 2 Les épandeurs à table d'épandage | 102 |
| 3 L'épandage des boues séchées | 117 |

LES CHANTIERS D'ÉPANDAGE

- | | |
|---|-----|
| 1 Le bon déroulement des chantiers | 121 |
| 2 Des équipements pour un chantier de qualité | 127 |
| 3 Les épandages en zone de montagne | 134 |
| 4 Les épandages de parcelles expérimentales | 138 |

LA GESTION DES ÉPANDAGES

- | | |
|--------------------------|-----|
| 1 Le choix du matériel | 145 |
| 2 Les contrats - qualité | 154 |
| 3 La traçabilité | 158 |
| 4 Le coût de l'épandage | 162 |

CONCLUSION

ANNEXES

- | | |
|---|-----|
| Annexe 1 – Fiches d'essais de terrain | 169 |
| Annexe 2 – Adresses utiles | 188 |
| Annexe 3 – Lexique Anglais – Français, Français – Anglais | 190 |



Introduction

L'ADEME et le Cemagref ont décidé conjointement de procéder à un état précis de la situation en France des matériels et pratiques d'épandage des boues résiduairees et effluents organiques. Pour élaborer cet état des lieux, nous avons engagé une étude dans laquelle les épandeurs ont toujours été considérés en relation avec leur environnement. En effet, la qualité d'un épandage dépend de la conjonction de trois facteurs : le produit à épandre, l'épandeur utilisé et l'utilisation de la machine (réglages, conduite du chantier).

Les résultats de cette étude qui s'est déroulée de 2000 à 2002 sont exposés dans le présent ouvrage.

LES PRODUITS ORGANIQUES À ÉPANDRE (cf. chapitre 1)

Les opérateurs sont amenés à utiliser leur matériel d'épandage pour un ensemble de produits organiques : les produits normalisés ou homologués, les effluents d'élevage, les produits résiduairees, les composts de diverses origines.

Les caractéristiques physiques de ces produits vont conditionner l'épandage à réaliser autant que les prescriptions réglementaires les régissant. Les méthodes de caractérisation physique adaptées aux produits liquides, pâteux et solides sont résumées dans cette première partie ainsi que les principales lois mécaniques qui vont intervenir dans l'interaction produit-machine.

LES ÉQUIPEMENTS D'ÉPANDAGE

Après avoir défini les composantes de la qualité d'épandage (cf. chapitre 2), l'étude analyse le fonctionnement des épandeurs adaptés aux diverses catégories de produits : liquides, pâteux ou solides (cf. chapitres 3 à 5). Pour chaque type d'épandeur, les résultats de travaux de recherche sont présentés. Le fonctionnement réel de l'appareil est, pour sa part, appréhendé par des résultats d'essais au banc, des résultats d'essais au champ, des réponses à une enquête effectuée au niveau national. Les résultats des essais de terrain font l'objet de fiches rassemblées en annexe. Il est rappelé que les tests ainsi effectués ne constituent pas un essai officiel : ils ne sont que le reflet de situations ponctuelles concernant un matériel d'épandage, un produit et un opérateur. Il s'agit donc de témoignages fidèles de situations de terrain, révélatrices de la qualité générale des épandages actuels.

LES CHANTIERS ET LA GESTION DES ÉPANDAGES (cf. chapitres 6 et 7)

L'examen des pratiques de chantier vise à mettre en avant l'influence du mode d'utilisation de la machine. L'optimisation de ces pratiques passe par une bonne gestion du chantier : logistique, démarche qualité, traçabilité. L'ensemble de

ces composantes définit une qualité globale de prestation qui doit être arrêtée contractuellement lors de l'attribution des marchés d'épandage.

CONCLUSION

Un inventaire des progrès nécessaires aux différents niveaux de la filière est proposé en conclusion de cette étude.

LES PRODUITS ORGANIQUES À ÉPANDRE

Le choix d'un épandeur pour l'épandage des boues résiduaires ne peut être fait sans considérer l'ensemble des produits à épandre. En effet, l'opération d'épandage est rarement intégrée à la filière de production générant ces boues résiduaires. Les intervenants, qu'ils soient agriculteurs, entrepreneurs ou agents de sociétés d'épandage sont généralement amenés à épandre des produits de diverses natures. Ainsi, un entrepreneur, interrogé lors de notre enquête, a-t-il pu recenser avoir épandu 27 produits différents durant l'année 2000. Chaque produit impose ses contraintes spécifiques qui influencent la conduite du chantier et le choix du matériel. Nous examinerons les principales catégories de produits à épandre et plus particulièrement leurs caractéristiques physiques qui conditionnent leur aptitude à l'épandage.

1 Les différentes catégories de produits épandus

Les produits se répartissent en diverses catégories, très hétérogènes quant aux volumes épandus correspondants. Les tonnages épandus ne sont pas connus avec précision. Les chiffres recensés sont souvent exprimés en tonnes de matière sèche. Nous préférons considérer le tonnage en matière brute qui est représentatif du travail à réaliser pour l'épandage. C'est d'ailleurs le critère retenu pour la facturation des prestations. On peut donc estimer (ADEME, 2001) que sont épandues en France chaque année les quantités de matière brute suivantes :

- déjections de bovins : 236 millions de tonnes ;
- déjections de porcins : 28 millions de tonnes ;
- déjections d'ovins et de caprins : 16 millions de tonnes ;
- déjections d'équidés : 7 millions de tonnes ;
- boues de stations d'épuration : 5 millions de tonnes ;
- sous-produits industriels : 4 millions de tonnes ;
- composts de déchets verts : 560 000 tonnes ;
- composts urbains : 500 000 tonnes.

Ces chiffres approximatifs montrent clairement la part prépondérante représentée par l'épandage des effluents d'élevage, constituée d'environ 65 % de fumier et 35% de lisier. La plupart des matériels d'épandage sont d'ailleurs

dérivés des épandeurs à fumier et des tonnes à lisier. Les évolutions sont cependant notables et les appareils utilisés par les opérateurs spécialisés se différencient de plus en plus des épandeurs équipant les exploitations agricoles.

Une autre classification possible est relative à l'aspect réglementaire des épandages. Du point de vue réglementaire, divers textes régissent les épandages de produits organiques. En fait, ces textes ont peu de répercussions directes sur le choix du matériel sauf pour quelques exigences particulières :

- l'épandage par aspersion au moyen de dispositifs générant des brouillards fins est interdit ;
- l'enfouissement immédiat permet de limiter les distances d'éloignement par rapport aux points d'exclusion.

En revanche, ces textes ont une répercussion forte sur l'organisation et la conduite des chantiers :

- ils définissent les dates d'épandage autorisées ;
- ils limitent les surfaces à épandre en délimitant les zones d'exclusion : pentes, distances minima d'épandage, zones hydromorphes, etc. ;
- ils imposent une traçabilité stricte sur les épandages et s'accompagnent d'obligations de compilation précise des données d'épandage (dates, doses, etc.).

Nous retiendrons donc ce deuxième type de classification qui nous amène à définir :

- les produits normalisés ou homologués dont l'utilisation est réglementairement libre (sous réserve de bonnes pratiques d'usage).
- les produits soumis à plan d'épandage, parmi lesquels nous distinguerons les effluents d'élevage des produits résiduels (boues et composts).

Les composts, indépendamment de leur statut réglementaire ou normatif, feront l'objet d'un point spécifique eu égard au développement actuel des tonnages et à leurs propriétés physiques spécifiques.

1.1 Les produits normalisés ou homologués

Le statut de produit normalisé impose au responsable de la mise sur le marché de contrôler la conformité de la composition des produits en rapport avec la norme de référence. Le producteur est donc responsable de la conformité du produit, l'agriculteur est quant à lui responsable de l'usage de ce produit. Les normes AFNOR relatives aux matières fertilisantes et supports de culture définissent les différentes catégories existantes :

- engrais
- amendements calciques et magnésiens

- amendements organiques
- matières fertilisantes mixtes

1.1.1 Les engrais organiques traditionnels

La norme NF U 42-001 relative à la dénomination et aux spécifications des engrais concerne principalement les engrais de synthèse. Cependant, on y retrouve des produits d'origine organique végétale ou animale. Pour être classés dans cette catégorie, ces engrais doivent posséder une valeur fertilisante élevée : au moins 3 % par rapport à la matière sèche pour au moins l'un des trois éléments majeurs NPK (voire plus selon le type d'engrais organique). Dans cette catégorie, nous relevons deux sous-produits principaux quant à leur volume d'utilisation : les fientes d'origine animale et les vinasses d'origine végétale.

Les fientes sèches

Les fientes concernent principalement les élevages de poules pondeuses. Lorsque ces fientes sont évacuées par raclage ou tapis, elles se présentent sous une forme pâteuse. Additionnées d'eau de pluie ou d'eau servant à leur évacuation, elles deviennent liquides, on parle alors de lisier. Pour être normalisés, ces produits doivent être secs. Il existe différents systèmes de séchage des fientes. La ventilation sur tapis, utilisant l'extraction d'air du bâtiment, doit être considérée comme un simple préséchage. Les différents types de séchoirs utilisés en poulaillers permettent d'obtenir une teneur en matière sèche de l'ordre de 80 %. Il convient alors de stocker ce produit à l'abri pour ne pas le réhumidifier.

L'épandage de fientes peut donc être réalisé, comme tout épandage d'engrais de synthèse, par l'acheteur du produit ou par une entreprise d'épandage. Ces produits sont riches en azote minéral qui a donc un effet similaire à celui des engrais de synthèse. Son utilisation se répand auprès d'agriculteurs souhaitant limiter l'utilisation d'engrais de synthèse. Cependant, les fientes ne possèdent pas les caractéristiques d'écoulement d'un produit granulé. Aussi, leur épandage est-il réalisé avec des épandeurs de produits organiques, conçus à l'origine pour des doses dix fois supérieures à celles préconisées pour les fientes. Afin d'atteindre des doses de 2 à 3 tonnes par hectare, on cherche à épandre sur de grandes largeurs, avec des vitesses importantes pour s'adapter au débit minimum de l'appareil. Beaucoup d'épandeurs ne sont pas équipés pour appliquer des doses aussi faibles et il n'est pas étonnant de constater que les litiges relatifs à un mauvais épandage concernent souvent l'épandage de fientes.

L'existence d'une normalisation (sur la composition des produits) ne garantit pas la bonne qualité d'épandage. Les normes, les décisions d'homologation et les autorisations provisoires de vente peuvent comporter des prescriptions particulières d'emploi. Il serait souhaitable de considérer davantage les pré-

cautions nécessaires aux opérations d'épandage pour définir les matières fertilisantes.

Les vinasses

Les vinasses de betteraves sont utilisées comme fertilisant potassique et se présentent sous la forme d'un liquide visqueux de couleur brun foncé.



Photo 1.1 – Épandage de vinasses de betteraves [F. Thirion, Cemagref]

La culture de la betterave entraîne la production d'une quantité importante de sous-produits. Ainsi, pour une tonne de racines livrée, il est produit 140 kg de saccharose et 11 litres d'alcool, mais aussi 500 kg de pulpes fraîches, 80 kg d'écumes de sucrerie, 16 kg de vinasses et 0,5 kg de levure. La vinasse concentrée est issue de la fermentation des mélasses.

Les vinasses concentrées sont épandues à des doses trop fortes pour l'utilisation d'un pulvérisateur et sont trop visqueuses pour l'utilisation d'une tonne à lisier. Une solution est proposée par la société *Terra Gator* (cf. photo 1.1) qui, grâce à ses matériels équipés de pneumatiques et rampes d'épandage performants, peut épandre 5 000 litres de vinasses par hectare à la vitesse de 15 à 20 km/h sur une largeur de travail de 18 m. Ces épandeurs sont dotés de pompes volumétriques qui peuvent pomper des liquides à haute viscosité. Ils peuvent aussi être munis de tuyauteries en acier inoxydable pour éviter la corrosion.

Les vinasses concentrées de lies de vin sont utilisées en viticulture. Elles se présentent sous la forme d'un produit brun pâteux.

1.1.2 Les amendements calciques et magnésiens

Ils répondent à la norme NF U 44-001. Ces produits, non organiques, ne sont pas directement concernés par la présente étude. Cependant, ils sont parfois épandus par les mêmes matériels et imposent donc des contraintes spécifiques. On distingue différentes classes. Les **marnes** constituent un mélange

naturel de calcaire, de sable et d'argile. On laisse généralement les marnes se déliter en tas sur le champ pendant l'hiver. Malgré cela, le produit reste très résistant. Les épandeurs utilisés doivent être solides. On conseille, en particulier, l'utilisation de chaînes *Vaucanson* qui s'avèrent plus résistantes que les chaînes marines. Les boîtiers de transmission constituent également un élément faible de l'appareil.

Les **chaux** sont des produits de calcination de roches calcaires. Les produits sont pulvérulents lorsque 80% au moins passent au tamis de 4 mm d'ouverture de maille. Cette finesse permet une action agronomique rapide. Toutefois, le produit a tendance à voûter dans les trémies des appareils, ce qui nuit à la régularité de distribution. L'épandage des produits pulvérulents est réalisé avec des distributeurs d'engrais adaptés. Ils comportent une caisse munie d'un tapis métallique ou caoutchouté et une rampe à vis (cf. photo 1.2). Afin d'éviter au maximum la prise au vent du produit, des jupes souples peuvent s'adapter à l'arrière de la rampe. Les pulvérulents peuvent être également épandus par distributeur pneumatique. Dans ce cas, l'appareil peut posséder une caisse étanche et une rampe pneumatique. Les produits granulés sont, pour leur part, obtenus par granulation d'un produit pulvérulent. Ils peuvent être épandus par un distributeur centrifuge d'engrais. Le produit est alors expulsé par les pales d'un ou deux disques en rotation. Les produits broyés ou concassés possèdent des granulométries supérieures.



Photo 1.2 – Épandage de chaux pulvérulente [F.X. Gaumont, MEAC]

Les amendements calciques comprennent également deux types de sous-produits : les écumes de défécation et les boues de décarbonation.

Les **écumes** sont des sous-produits de sucrerie. Ce sont des produits normalisés en tant qu'amendements calcaires. Ces produits constituent un marché important pour les entrepreneurs de travaux, puisqu'ils sont épandus à près de un million de tonnes par an. Les écumes sont obtenues en sucrerie par filtration des jus sucrés traités au lait de chaux. À leur sortie du filtre, les écumes contiennent encore 40 à 50 % d'eau, cette proportion peut descen-

dre jusqu'à 20 % après quelque mois de ressuyage. Elles renferment alors 40 à 50 % de carbonate de calcium, 10 à 20 % de matière organique et 1 à 2 % de magnésie. Les écumes peuvent être déshydratées et moulues, ce qui facilite leur transport et leur conservation. Les écumes sont généralement livrées fin mai et stockées en bout de champ. Les écumes sèches sont épandues avec un épandeur centrifuge traîné. L'épandage d'écumes humides est réalisé avec un épandeur de produits organiques à table d'épandage ou à hérissons. Il y a avantage à laisser le tas se ressuyer en bout de champ. La perte d'eau limite les odeurs et facilite l'épandage.

Comme les marnes, les écumes de sucrerie constituent un produit résistant qui demande l'utilisation d'épandeurs solides et de chargeurs puissants.

Les boues de décarbonatation sont les résidus de traitement de l'eau lors de l'extraction du calcaire dissous.

1.1.3 Les amendements organiques

Ces produits sont destinés à l'entretien ou à la reconstitution du stock de matières organiques du sol. Leurs teneurs déclarées en éléments fertilisants doivent être inférieures à 3 % (en masse de produit brut) pour chacun des éléments N, P_2O_5 et K_2O , et inférieure à 7 % pour la somme $N + P_2O_5 + K_2O$. Ils répondent à la norme NF U 44-051 (en cours de révision à la date de parution) qui comprend seize types d'amendements avec, en particulier, les fumiers et les composts.

Nous examinerons les fumiers avec l'ensemble des effluents d'origine animale car leur réglementation est principalement liée à l'installation de production et son régime dans la nomenclature des installations classées. De même, nous examinerons les composts séparément : ces produits peuvent être rattachés à diverses normes qui sont en cours de révision afin de pouvoir tenir compte de l'évolution des productions.

1.1.4 Les produits résiduaire normalisés ou homologués

Ils sont peu nombreux, mais leur nombre, et donc les volumes en jeu, pourraient augmenter à l'avenir en raison des évolutions actuelles sur la normalisation des matières fertilisantes. Toutefois, ils devraient ne concerner qu'une petite part des produits résiduaire, la majorité de ce tonnage restant étant sous plan d'épandage (cf. ci-après).

La majorité des tonnages de produits résiduaire sous norme est principalement constituée à ce jour de **composts de déchets verts** et de **composts de déchets ménagers**. À terme, de nouvelles normes pourraient voir le jour et de nouveaux composts de biodéchets, de déchets verts ou de boues, principalement, devraient s'y référer. Une boue d'épuration séchée et quelques

composts de boues sont également actuellement homologués (sous Autorisation Provisoire de Vente).

Du fait de leur utilisation sous les statuts de normalisation et homologation, ces produits ne sont plus soumis aux plans d'épandage, mais font parfois l'objet de restrictions d'usage (types de cultures, doses maximales, etc.), et sont tenus à des teneurs maximales en différents composés traces (métaux, pathogènes, etc.).

Le point 1.4 détaille notamment les composts.

1.2 Les effluents d'élevage

Les effluents d'élevage regroupent les déjections animales, les eaux de nettoyage, les eaux de pluie souillées et les jus de silos. Les lisiers sont constitués de déjections animales, urines et fèces mélangées et fermentées. Les fumiers sont le résultat du mélange des déjections animales avec de la litière : généralement de la paille mais aussi des copeaux ou de la sciure. Les fumiers font partie des amendements organiques normalisés. En revanche, les lisiers ne sont pas normalisés. L'épandage de ces produits répond plus généralement aux exigences du dossier « installations classées » établi pour l'élevage producteur des effluents. Le producteur est donc responsable de cet épandage et doit proposer un plan d'épandage conforme à la législation, du moins pour les élevages atteignant le seuil minimum correspondant à l'obligation de déclaration. Les règles liées à la loi sur l'eau, la directive nitrates et le règlement sanitaire départemental doivent également être observées.

1.2.1 Les fumiers

Les **fumiers de bovins** représentent la majeure partie des produits organiques épandus en France. Ils se différencient suivant le type d'élevage et la proportion de paille les constituant, éléments qui influent en particulier sur leur densité. Une contrainte importante à l'épandage réside dans l'hétérogénéité du produit qui peut être renforcée par les conditions de chargement. Les fumiers paillieux frais sont difficiles à disloquer et émietter. Il est préférable dans ce cas de laisser « mûrir » le fumier en tas, au moins deux mois. La paille commence alors à se décomposer facilitant la dislocation des mottes. On observe une tendance actuelle à produire des fumiers mous obtenus dans des stabulations à logettes peu paillées. Les problèmes d'épandage sont assez similaires à ceux posés par les boues pâteuses. L'étanchéité doit être renforcée au niveau des joints caoutchoutés, et éventuellement obtenue par une fourchée de fumier solide à l'avant et l'arrière de la caisse. La porte doit être opérationnelle pour réguler le débit sans se détériorer. Les hérissons verticaux doivent être munis à leur base de disques ou de palettes en rotation sur une table fixe. D'une manière générale, on cherchera à éviter la production de ce fumier mou soit en s'orientant vers du lisier, soit en s'orientant vers du fumier avec en particulier un égouttage bien mené du produit.

Le **fumier de moutons** est compact et difficile à déchiqeter. Il sollicite fortement l'épandeur et le tracteur. Le compostage est une bonne solution pour atténuer ces effets. C'est dans ce cas, la puissance nécessaire à l'aération mécanique des andains qui se trouve renforcée.

Le **fumier de volailles** est produit dans les élevages de volailles de chair : poulets, dindes et pintades. Dans les poulaillers, on distingue des zones différenciées quant à la composition des fumiers. Le fumier est plus humide auprès des abreuvoirs et des mangeoires. Il est plus sec dans la zone dortoir. Pour mélanger ces différentes couches, une méthode de reprise a été mise au point et se nomme communément reprise « en arête de poisson ». Cela consiste à enlever le fumier selon un angle de 45° par rapport à l'axe du bâtiment. On obtient alors naturellement des prélèvements correspondant à l'ensemble des variétés présentes. Ce fumier comporte une part importante de paille broyée (cf. photo 1.3). Il est de ce fait très léger (300 kg/m³) et facilement emporté par le vent. Il est riche en azote et pourrait utilement fertiliser les céréales à paille. Les difficultés d'épandage et la crainte d'effets négatifs sur la culture incitent les agriculteurs à préférer les épandages sur maïs, culture plus résistante aux excès azotés. Des études menées par la chambre d'Agriculture d'Ille-et-Vilaine (Cossec et Havard, 2001) cherchent à rendre plus régulier l'épandage du fumier de volailles. Plusieurs méthodes sont envisagées : mélange, humectation et optimisation des épandeurs.



Photo 1.3 – Épandage de fumier de volailles [F. Chabot, Cemagref]

1.2.2 Les fientes

Les fientes à l'état brut sont pâteuses et malodorantes. Elles s'épandent généralement avec des épandeurs à table d'épandage.

Nous avons vu que les fientes peuvent être séchées et épandues avec un distributeur d'engrais. Les fientes peuvent aussi se présenter sous forme liquide lorsqu'elles ont été mélangées à l'eau de pluie durant le stockage. Elles s'épandent alors comme des lisiers.

Une autre solution consiste à composter les fientes de volailles en mélange avec de la sciure. On obtient ainsi un produit peu odorant, mais dont la densité reste faible (0,45 à 0,5).

1.2.3 Les lisiers

L'épandage des lisiers est réalisé avec des tonnes à lisier. Dans ce type d'épandage, on constate surtout des problèmes d'odeur et de volatilisation d'ammoniac. L'enfouissement permet de résoudre ces deux problèmes mais en pose d'autres de débit de chantier et de surcoût lié à l'effort de traction. Lorsqu'il n'est pas possible, la technique utilisée doit éviter la production de gouttes fines et limiter le temps de séjour du lisier dans l'air en réduisant les trajectoires.

Généralement, il est plus facile de réaliser un épandage régulier de lisier que de fumier. Les limitations dues au produit peuvent venir de bouchages dus par exemple, à la présence de paille, de foin ou de plumes. Le **lisier de bovins** est plus visqueux que le lisier de porcs et peut occasionner dans certains cas des phénomènes de bouchage de rampes ou d'enfouisseurs. En revanche, le **lisier de porcs** se décante très rapidement : il faut donc prévoir une agitation en cours d'épandage, sinon les concentrations de produit épandu vont varier avec ces phases de décantation. L'enfouissement est obligatoire en cas de maladie d'Aujesky. Le **lisier de canards** est un produit épais et odorant. Au stockage (cf. photo 1.4), il se forme une croûte en surface due à l'agglomération de plumes. Il faut un brassage énergique pour disperser cette croûte et éviter les bouchages dans les tuyaux de l'épandeur.



Photo 1.4 – Fosse à lisier de canards. Une couverture permet d'éviter la volatilisation d'ammoniac et la propagation d'odeurs. [F. Chabot, Cemagref]

Des techniques d'irrigation par rampe basse pression tirée par un enrouleur sont aussi utilisées pour l'épandage du lisier. L'intérêt majeur de ce système est d'éviter la circulation des tonnes à lisier dans le champ avec les effets de compaction correspondants. L'épandage par canon provoque trop de volatilisation. Il est réservé à des zones difficiles d'accès, en montagne par exemple. À titre exceptionnel, il peut aussi servir à vider une tonne embourbée dans un champ sans déverser tout le produit au même endroit.

Les **eaux brunes** et purins correspondent à des eaux de lavage et à des lixiviats divers. Elles doivent être stockées et peuvent souvent être épandues toute l'année car peu concentrées. Pour cela, il est intéressant de disposer d'équipements d'épandage semi-automatisés. Des systèmes d'arroseurs légers se déplaçant grâce à l'énergie du liquide pompé permettent de ne pas faire intervenir des tonnes à lisier en période où leur poids causerait des dégradations du sol.

1.3 Les produits résiduels soumis à plan d'épandage

Le nom de « déchet » est couramment utilisé pour différencier nettement cette catégorie. Il ne préjuge en rien de la valeur agronomique réelle. Dans ce cas, le producteur reste responsable de ses produits, même lors de la phase d'épandage considérée comme la dernière phase d'un processus épuratoire (boues) ou de recyclage (compost). Leur épandage doit faire l'objet d'une enquête publique organisée à partir d'une étude préalable à l'épandage. Des analyses du produit doivent être effectuées suivant les prescriptions réglementaires correspondantes. Un suivi agronomique sera obligatoirement mené sur les parcelles épandues. En outre, et c'est un critère important dans la conduite des chantiers d'épandage, toutes les données relatives aux épandages doivent être enregistrées et archivées (cf. chapitre 7).

1.3.1 Les sous-produits industriels

Les sous-produits industriels les plus nobles sont valorisés en alimentation animale, directement ou après transformation. On ne parle pas alors de déchets mais de coproduits : pulpes de betteraves (15 millions de tonnes par an), lactosérum (9 millions de tonnes), drèches de brasserie (300 000 tonnes), mélasses, coproduits de la pomme de terre.

Pour être valorisés par épandage en agriculture, les déchets doivent posséder un intérêt agronomique. Dans une enquête effectuée en 1998 auprès de ses adhérents, le SYPREA (Syndicat des professionnels du recyclage en agriculture) a recensé 800 000 tonnes de produit brut épandues par an en France. Ces produits ont une siccité moyenne de 30 % (de 5 à 50 %). L'industrie papetière fournit la majorité des produits, dans une proportion de 52 % (boues solides principalement). Les industries agroalimentaires représentent le deuxième fournisseur avec un pourcentage de 27 % (boues liquides et pâteuses principalement). Les autres fournisseurs sont variés et représentent une vingtaine de filières différentes. Les produits normalisés ne sont pas comptabilisés car leur statut permet de les épandre sans étude préalable ni plan d'épandage : ils ne concernent pas directement les adhérents du SYPREA.

Les eaux usées industrielles proviennent d'opérations de lavage ou autres traitements consommateurs d'eau et comportent des matières organiques dans de faibles proportions. Elles sont généralement stockées sur leur lieu

de production et épandues à proximité immédiate par irrigation, mais des installations de réseau enterré sont possibles, distribuant les effluents dans un rayon pouvant atteindre une trentaine de kilomètres. Le rejet en rivière n'est pas possible car il dépasserait la capacité d'autoépuration de ces cours d'eau. Divers tests de répartition ont été effectués sur des canons et rampes d'irrigation. Le résultat global est satisfaisant (15 % d'irrégularité). Il peut devenir médiocre en cas de vent.

Les boues industrielles proviennent de l'épuration d'eaux chargées en matière organique (exception faite de quelques boues minérales de décarbonatation). Les boues de papeterie (cf. photo 1.5) sont les plus importantes par leur tonnage. Elles présentent généralement une bonne tenue en tas. Les boues de désencrage sont particulièrement reconnaissables à leur couleur bleutée ou rose. Ces boues se comportent à l'épandage de façon similaire aux boues chaulées solides de stations d'épuration urbaines. Elles contiennent d'ailleurs une forte proportion de chaux utilisée dans le process industriel. Toutefois, elles sont plus friables que les boues chaulées et s'émiettent facilement. Du fait de leur composition fibreuse, elles sont plus agressives et usent davantage les pales des plateaux d'épandage. Elles présentent une odeur de papier journal mouillé.



Photo 1.5 – Boues de papeterie [F. Thirion, Cemagref]

Les boues d'industries varient en fonction de la nature du produit traité. Les boues de laiteries sont réputées pour leur mauvaise odeur due à la fermentation du produit. Chaque type de boue sera un cas particulier. On peut citer parmi les industries concernées les conserveries, les industries de production de nourriture pour chiens et chats, les usines de traitement de l'eau, les industries chimiques ou pharmaceutiques... Afin d'illustrer cette diversité, nous avons retenu quelques cas particuliers posant des problèmes d'épandage qui pourraient éventuellement se résoudre par des traitements mieux adaptés.

- Les boues d'une usine de purée déshydratée présentent une teneur en matière sèche de 17%. Elles ne sont pas pompables, mais sont plus liquides que pâteuses. Elles sont très odorantes. La solution trouvée est l'épandage avec des épandeurs de type *Terragator* munis de pompes volumétriques à lobe pouvant développer une forte pression.
- Des boues observées dans une laiterie du sud-ouest équipée d'une station de traitement des effluents présentent une couleur jaune orangé ainsi qu'une consistance pâteuse. Elles sont relativement riches en azote (environ 7 %). La boue est collante, ce qui rend difficile le pompage dans la fosse de stockage. De l'eau est réintroduite au point de pompage pour délayer le produit et faciliter son aspiration. L'épandage est réalisé avec une tonne à lisier équipée d'un enfouisseur pour cultures. Il possède six dents et disques bombés permettant l'ouverture du sillon. Ce système ne semble pas poser de problème de bouchage et assure une bonne incorporation de la boue dans le sol.
- Les suints de moutons et déchets du peignage de la laine sont chauffés à 72°C pour se présenter sous forme liquide. À froid, ce mélange devient très dur et non épandable. Ce produit est ainsi transporté chaud en citerne. Il est mélangé à un compost de déchets verts et d'écorces. Le produit final est résistant, mais peut être épandu par épandeur à hérissons verticaux. Ce produit riche en potasse concerne un plan d'épandage de 12 000 ha.
- Un autre exemple vient d'une usine agroalimentaire spécialisée dans la biscuiterie. Les boues produites se présentent sous la forme d'un liquide très visqueux et floclé en surface, avec une teneur en matière sèche variant de 2 à 6 %. À partir de 6 % de matière sèche, le produit n'est plus pompable par des matériels conventionnels. Ces boues ne sont pas épandables par des matériels munis de rampe ou d'enfouisseur en raison des problèmes de bouchage. Le produit est donc actuellement épandu avec une tonne munie de buse palette avec les inconvénients que cela représente : odeurs, irrégularité, volatilisation.
- Nous citerons enfin le cas des terres de filtration. Ce sont des résidus viticoles provenant de la filtration des vins ou de certains procédés utilisés dans les brasseries. Le produit est riche en silice et chargé en matières organiques (5%). L'ensemble de la production est aujourd'hui mis en décharge et doit trouver une filière de valorisation d'ici 2002. Pour cela, il faudra trouver une technique satisfaisante permettant de réaliser des épandages corrects avec ces produits.

1.3.2 Les boues de stations d'épuration urbaines

L'épuration des eaux usées urbaines produit actuellement environ 850 000 tonnes de matière sèche de boues résiduaire. La mise en œuvre au plan français de la directive « assainissement » devrait se traduire à l'horizon 2005 par une production voisine de 1 150 000 tonnes. On considère qu'actuellement 60 % de la production est recyclée en agriculture, 20 % est mise en

décharge et 20 % est incinérée. La forte proportion des boues recyclées en agriculture s'explique par la relative modicité du coût de cette filière, donc sa bonne adéquation avec toutes les stations d'épuration petites et moyennes. Ces stations produisent plus de 60 % de la masse nationale brute de boues, mais moins de 30 % de la matière sèche. Les stations ayant une capacité de plus de 50 000 équivalents habitants (un peu plus de 200 soit environ 2 % du parc) produisent la moitié du tonnage de matière sèche, mais 20 % seulement du tonnage brut.

La part utilisée en agriculture représente donc environ 500 000 tonnes de matière sèche, mais entre 75 et 85 % de la quantité de boues brutes, soit 5 millions de tonnes. La croissance de la production de boues de stations d'épuration, le nombre limité d'incinérateurs acceptant les boues d'épuration et les fortes restrictions à la mise en décharge des boues devraient se traduire par une forte augmentation des épandages agricoles, même si cette filière fait actuellement l'objet de controverses.

On se réfère généralement à la teneur en matière sèche des boues pour avoir une appréciation sur leur consistance. Nous reviendrons par la suite (étude des propriétés physiques) sur cette relation qui est fréquemment prise en défaut. À la sortie des décanteurs, les boues sont épaissies ou déshydratées. On obtiendra des siccités différentes suivant le procédé de production des boues et les techniques de concentration utilisées. Le tableau 1.1 indique les types de boues généralement obtenus dans diverses situations.

	Boue liquide		Boue pâteuse		Boue solide		Boue sèche
	3%	3 à 10%	10 à 20%	20 à 30%	30 à 45%	> 45%	
Épaississement							
Épaississeur statique	■						
Épaississeur hersé	■						
Élottateur	■						
Dispositifs d'égouttage		■					
Déshydratation							
Centrifugation			■				
Filtre à bande			■				
Filtre presse					■		
Séchage							
Séchage thermique							■

Tableau 1.1 – Teneur en matière sèche des boues d'après leur traitement (d'après SATESE – Cemagref).

Les propriétés physiques de la boue sont déterminantes pour le mode d'épandage à adopter.

Les photographies ci-dessous présentent quatre exemples de boues : liquides en lagune, pâteuses en tas affaissé, solides en tas structuré et sèches granulées en « big bags » habituellement destinés à la commercialisation d'engrais.



Photos 1.6 – Boue liquide, boue pâteuse, boue solide issue de filtre presse et boue sèche granulée [F. Chabot et M. Rousselet, Cemagref]

1.4 Les composts

La nature des composts à épandre se diversifie et l'on ne peut pas émettre de règles générales d'épandage. Les divers procédés de fabrication procurent des avantages communs à tous ces produits : réduction du tonnage à épandre, hygiénisation, bonne homogénéité. En effet, pour ce dernier point, les produits ont été manutentionnés à plusieurs reprises, broyés et criblés, ce qui procure un bon mélange. La faible dose parfois préconisée constitue un autre point à prendre en compte particulièrement. C'est le cas de produits qui peuvent être riches par nature (en azote notamment) ou encore être épandus sur cultures particulières (légumes, vigne, etc.). Des entrepreneurs nous ont signalé avoir réalisé des dosages très faibles de l'ordre d'une tonne par hectare. Le matériel d'épandage est alors surdimensionné. Son utilisation engendre des passages dans les champs d'attelages inutilement lourds. Compte tenu du coût des produits épandus, il est important aussi de bien respecter les doses prévues car les épandages sont facturés au prorata du tonnage épandu.

Le **compost de fumier** (cf. photo 1.7) est un cas particulier puisqu'il est souvent réalisé par l'agriculteur lui-même ou sa Cuma. Son mode de fabrication comporte le plus fréquemment deux retournements. Il ne bénéficie

pas d'une ventilation forcée mécanique ou de quatre retournements (voire plus) comme dans les procédés industriels. La fermentation n'est pas aussi complète, le produit n'est pas non plus criblé. Le compost obtenu reste plastique : physiquement, il est intermédiaire entre un fumier mûr et un compost industriel. Le produit obtenu est par contre homogène et bien divisé, ce qui constitue un avantage pour l'émiettement à l'épandage. La protection contre les pluies n'est pas toujours maîtrisée : le compost est alors humide, mou et collant, ce qui réduit la régularité et la largeur d'épandage.



Photo 1.7 – Retournement de compost de fumier de bovin [F. Chabot, Cemagref]

Les produits d'origine urbaine peuvent utiliser des déchets provenant de diverses sources :

- déchets verts traités dans près de 300 sites de compostage plus ou moins bien menés, en France en 2002 ;
- boues de stations d'épuration compostées dans une quinzaine de sites de compostage en France en 2002 ;
- ordures ménagères (O.M.) brutes ou grises (O.M. moins verres et papiers) représentant une quarantaine de sites de compostage en France en 2002 ;
- biodéchets (déchets de cuisine et déchets verts en mélange, issus de collectes sélectives) recyclés dans une dizaine de sites de compostage en France en 2002.

Le nombre de sites de compostage de ces produits est en augmentation, à l'exception de ceux dédiés aux composts d'O.M. brutes ou grises qui diminuent.

Une enquête INRA (Francou et Huot 2000) examine l'utilisation agricole de ces différents composts. Sur les 47 départements ayant répondu à l'enquête, le nombre de départements ayant trois usines de compostage constitue la plus grande proportion des cas (43 % des sites de compostage). Dans la gamme des composts produits, le compost le plus fréquent est le compost de

déchets verts (cf. photo 1.8). Pour l'ensemble des composts urbains, la question de la difficulté d'épandage a été posée aux chambres d'agriculture. Sur 47 réponses, seules trois considèrent l'épandage comme difficile. En comparaison, dans la même enquête, 13 réponses sur 47 considèrent l'épandage des effluents d'élevage bruts comme difficile.



Photo 1.8 – Tas de compost de déchets verts [F. Thirion, Cemagref]

Sur le plan pratique, les critiques principales sur les **composts de déchets verts** concernent un criblage insuffisant. On y retrouve certaines fois des morceaux de branches non broyés. Dans ce cas, il sera évidemment impossible de réaliser des épandages fins. À l'inverse, avec du compost criblé à 10 mm, on constate une production de poussière à l'épandage. La qualité du compost ne doit pas être trop modifiée par l'approvisionnement. En particulier, en période de tonte de gazon, il faut éviter des incorporations importantes, défavorables pour la fermentation et la structure finale du produit.

Le compostage des boues de stations d'épuration permet de stabiliser le produit, de l'hygiéniser et de supprimer les odeurs. Ce produit ne présente plus les variations d'état physique des boues brutes, qui rendent leur épandage difficile. Le compostage ne supprime pas cependant les préjugés défavorables à l'égard des boues et ne peut donc à lui seul résoudre l'ensemble des problèmes posés. Quatre composts étaient homologués comme matière fertilisante sous APV en 2002. Rappelons que l'Autorisation provisoire de vente (APV) est accordée pour des usages précis (cultures, doses, éventuellement délai de retour, etc.), et sur une durée limitée (quatre ans le plus souvent). L'épandage de ces produits homologués est possible sans enquête publique. En revanche, cette facilité ne doit pas dispenser de la démarche agronomique correspondante.

Pour fabriquer ces composts, on utilise des mélanges de boues de stations d'épuration et de coproduits structurants tels que des écorces, plaquettes et/ou déchets verts, voire des sciures. Les écorces ont un effet très positif pour

la réduction des odeurs. Les écorces de résineux semblent les plus performantes mais ne conviendraient pas à certains sols. Les boues peuvent aussi être compostées avec des biodéchets (fraction fermentescible des ordures ménagères). Cette pratique, toutefois encore peu répandue, est liée au développement de la collecte sélective.

L'image du **compost d'ordures ménagères** souffre de la mauvaise qualité de productions passées où la présence de nombreux déchets plastiques et la mauvaise odeur ont pu dissuader les agriculteurs d'utiliser un tel produit. Le tri avant compostage permet plus ou moins de remédier à ce problème. Le compost dit d'« ordures ménagères grises » est réalisé avec la fraction résiduelle des ordures ménagères après collecte sélective des recyclables. Nous en avons observé un échantillon particulièrement léger. À l'épandage, ce produit est sensible au vent, il produit de la poussière et l'on obtient une largeur de travail limitée. Ce type de compost est vraisemblablement amené à être peu à peu remplacé par des composts de biodéchets (déchets de cuisine en mélange avec des déchets verts et quelques papiers).

Les **déchets d'industries agroalimentaires** peuvent également être compostés comme les rafles de raisin, lies, tourteaux, rebuts de fruits et légumes... Ces produits sont utilisés en mélange pour obtenir des rapports C/N corrects signifiant une décomposition progressive dans le sol. Si l'on épand du marc de raisin frais, celui-ci mobilisera l'azote du sol pour sa décomposition. Pour éviter cet inconvénient, on le composte par exemple avec des écorces. Le produit obtenu s'épand très facilement.

2 Les propriétés physiques des produits à épandre

Les caractéristiques physiques du produit influencent directement le choix du matériel à utiliser pour l'épandage. Nous examinerons ici principalement le cas des boues de stations d'épuration.

Il est possible de définir globalement le type de boues que l'on obtient à la sortie d'une station d'épuration en fonction du type d'installation. En pratique, on observe une large variabilité des situations, tant entre stations supposées identiques qu'entre lots de production pour une même station, au cours du temps. C'est pourquoi il est utile de se référer à une classification simple, comme celle proposée par l'AFNOR. La norme AFNOR NF U 44 041 distingue l'état liquide, l'état pâteux, l'état solide et l'état sec :

- **état liquide** : boue qui peut s'écouler sous l'influence de la gravité.
- **état pâteux** ou plastique : boue ni liquide, ni solide (siccité comprise entre 10 et 30 %).

- **état solide** : boue qui, mise en tas de 1 m de hauteur environ, forme un talus naturel qui fait avec le sol un angle supérieur à 45° (siccité > 25 à 30 %).
- **état sec** : boue ayant une teneur minimale de 90% de matière sèche.

2.1 Les liquides

2.1.1 Les différentes définitions de l'état liquide

Rappelons la définition proposée par l'AFNOR qui considère la boue liquide comme une boue pouvant s'écouler suivant l'influence de la gravité. Cette définition, très simple pour un usage courant, présente des limites pour une analyse plus détaillée. On peut par exemple considérer qu'un tas de boue qui s'affaisse progressivement subit un écoulement à vitesse très lente. C'est le cas des boues pâteuses qui par définition ne font plus partie du domaine des boues liquides. Les études rhéologiques ont montré que la plupart des boues liquides avaient besoin d'une énergie minimum pour déclencher un écoulement libre : il faut soumettre ce produit à une contrainte supérieure à une limite appelée « seuil d'écoulement ». Ce seuil est souvent faible et difficile à mesurer. Une pression initiale de quelques Pascals pourra généralement suffire à déclencher l'écoulement. Cependant, il faut admettre que l'existence même de ce seuil fait que l'utilisation de la définition normalisée des boues liquides n'est pas compatible avec une analyse fine de la viscosité du produit.

Pour définir l'état de boue liquide de façon pratique, il est aussi d'usage de le considérer comme une faculté de ces boues d'être « pompables ». Cette caractérisation va pour sa part dépendre du type de pompe utilisée. Avec des tonnes à lisier utilisant le vide pour l'aspiration, les limites sont rapidement atteintes et il est fréquent que les fonds de fosses ne soient pas utilisés pour cette raison. Avec des pompes volumétriques telles que les pompes à lobes et les pompes à colimaçon, on peut pomper des produits plus consistants si l'aspiration est bien alimentée. En usage industriel, nous trouverons des pompes capables de pomper un produit pâteux. Nous voyons donc que cette deuxième définition permet de préciser la norme en cours sans toutefois spécifier une limite de liquidité.

Il existe une définition précise en matière de limite de liquidité proposée par la commission géotechnique suédoise (Caldenius et Lundström, 1956). Il est considéré qu'une boue est à sa limite de liquidité lorsqu'un cône de masse 60 g et présentant un angle de 60° s'y enfonce de 10 mm. Ce test appliqué à des boues difficilement pompables a montré un enfoncement complet du cône. La limite indiquée par cette méthode nous paraît donc supérieure aux possibilités de pompage utilisées dans le domaine agricole.

Nous voyons donc qu'une définition rigoureuse de l'état liquide et de ses limites n'est pas disponible aujourd'hui. Il est donc intéressant d'utiliser les caractéristiques rhéologiques du produit, définies par sa loi de comporte-

ment. La rhéologie n'établit pas de distinction entre l'état liquide et l'état pâteux, permettant alors de considérer la consistance du produit dans l'ensemble des produits fluides. Nous nous permettrons toutefois de proposer quelques correspondances basées sur nos observations, afin de faciliter l'appréhension de ces données.

2.1.2 Caractéristiques rhéologiques des boues liquides

Les caractéristiques rhéologiques d'une boue sont définies par sa loi de comportement dont la composante la plus connue est la viscosité. La viscosité des liquides est un élément déterminant pour les écoulements dans les appareils mis en œuvre pour l'épandage. Elle est définie par les conditions du glissement relatif de deux couches de liquide et donc liée aux frottements internes générés par l'écoulement.

Pour préciser cette définition, considérons deux plans parallèles (cf. fig. 1.1). L'un est fixe, l'autre se déplace à une vitesse V . Le fluide, compris entre ces deux surfaces, est cisailé. La force F , nécessaire au déplacement du plan mobile, sert à vaincre les forces de viscosité s'opposant à ce mouvement.

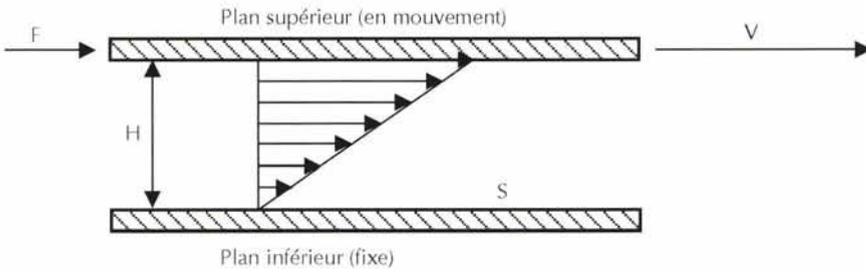


Figure 1.1– Profil de vitesses lors d'un cisaillement simple imposé à un fluide confiné entre deux plans solides

La viscosité est définie comme le rapport entre une contrainte de cisaillement et un gradient de vitesse. La contrainte de cisaillement (τ) est égale au rapport de la force tangentielle (F), créant le déplacement, par la surface cisailée (S). Elle est exprimée en Pascal. Dans des conditions d'écoulement simple, le gradient de vitesse correspond à la vitesse relative des deux couches divisée par l'épaisseur de chaque couche. Il s'exprime en s^{-1} .

Pour les boues de stations d'épuration, la viscosité varie en fonction du gradient de vitesse. Il s'agit d'un produit non newtonien. Pour définir les caractéristiques du produit, on ne peut donc pas se limiter à une seule valeur de la viscosité : il faut déterminer l'ensemble des contraintes de cisaillement pour les gradients de vitesse correspondants. Il existe deux méthodes de mesure pour les boues liquides. La mesure par tube capillaire consiste à établir un écoulement laminaire dans un tube aux dimensions connues. On en déduit alors les contraintes de cisaillement et les gradients de vitesse. La mesure par



rhéomètre consiste à déterminer le couple nécessaire à la rotation d'un mobile (cf. photo 1.9). La vitesse de rotation et l'épaisseur de liquide déterminent le gradient de vitesse.

Photo 1.9 – Rhéomètre plan-plan [F. Chabot, Cemagref]

Les différentes publications accordent généralement un comportement de type Herschel – Bulkley aux boues liquides, c'est-à-dire répondant à l'équation :

$$\tau = \tau_0 + k \dot{\gamma}^n \text{ où } \tau \text{ est la contrainte de cisaillement (Pa) ;}$$
$$\tau_0 \text{ est le seuil de contrainte (Pa);}$$
$$\dot{\gamma} \text{ est le gradient de vitesse (s}^{-1}\text{).}$$

La plupart des boues liquides de stations d'épuration montrent un seuil de contrainte allant de 0 à 4 Pa (Chilton *et al.*, 1996). Pour établir une correspondance avec les considérations précédentes, nous proposerons une limite supérieure de liquidité pour un seuil d'écoulement de 20 Pa. Cette valeur indicative semble compatible avec les possibilités de pompage actuelles, mais ne prétend pas s'instituer comme référence.

Les caractéristiques rhéologiques des boues dépendent de nombreux facteurs, parmi lesquels on met généralement en avant leur concentration en matière sèche. En fait, on ne peut établir de relation générale entre ces paramètres car la nature des particules en suspension et leurs propriétés physiques varient suivant l'origine de ces boues. Par contre, pour des boues de même nature, issues d'un même procédé, il peut être possible de corrélérer la teneur en matière sèche avec les différents paramètres de la loi de comportement (Slatter, 1997).

Courbes d'écoulement (d'après Slatter)

Contrainte de cisaillement (Pa)

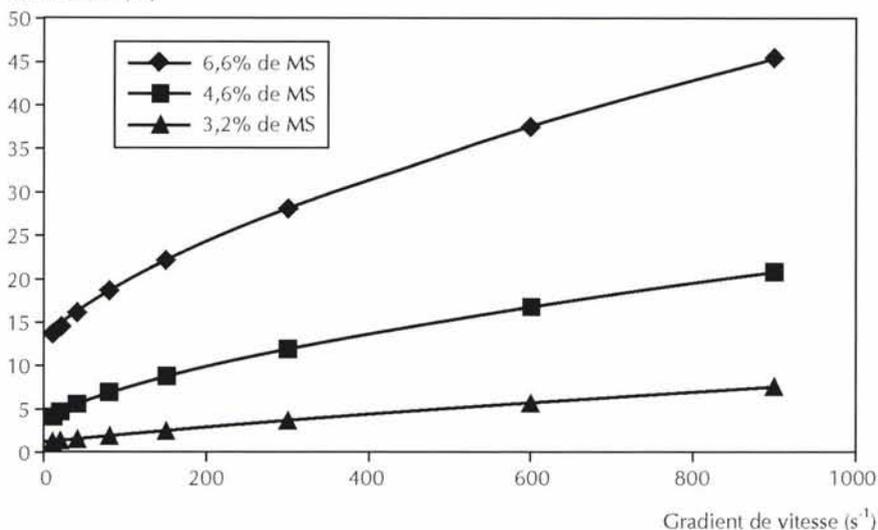


Figure 1.2 – Variation des caractéristiques d'écoulement suivant le taux de matière sèche

Dans cette expérimentation (cf. fig. 1.2), la boue devient nettement plus épaisse lorsque la teneur en matière sèche augmente. Dans la pratique, où l'on dispose rarement de données rhéologiques, il est souvent fait appel à la teneur en matière sèche pour préjuger de la viscosité du produit. En réalité, seules les données rhéologiques permettent de corrélérer l'écoulement dans les appareils avec les propriétés mesurées.

2.1.3 Conditions d'écoulement des boues liquides

Les conditions d'écoulement des boues liquides sont liées à leurs caractéristiques rhéologiques. La perte de charge dans un tuyau peut être exprimée suivant différentes formules. La condition la plus simple correspond à un écoulement laminaire dans un tuyau long :

$$\Delta p = \frac{32L\mu v}{d^2} \quad \text{où } \Delta p \text{ est la perte de charge dans la canalisation (Pa) ;}$$

L est la longueur de canalisation (m) ;
 μ est la viscosité du liquide (Pa.s) ;
 v est la vitesse moyenne du liquide (m/s) ;
 d est le diamètre de la canalisation (m).

Cette formule n'est applicable que dans des conditions strictes correspondant par exemple à la mesure dans un rhéomètre capillaire. Pour les conditions pratiques les formules font apparaître des coefficients correcteurs, eux-mêmes liés à la viscosité du produit. Pour des écoulements dans des tuyaux de grande longueur, de plusieurs dizaines de kilomètres, il a été

montré (Chilton et *al.*, 1996) que l'utilisation d'un logiciel de mécanique des fluides permettait d'obtenir des résultats plus précis que les formules traditionnelles de calcul. Cette méthode a été appliquée sur un réseau d'un centaine de kilomètres dans le Nord-Ouest de l'Angleterre, transportant plus de deux millions de tonnes de boues liquides par an.

Dans les appareils d'épandage, cette perte de charge peut avoir une influence décisive sur la répartition du produit. En effet, lorsqu'un fluide peut se répartir dans plusieurs canalisations, il se divise en débits secondaires selon les résistances opposées. On dit de façon imagée que le liquide choisit le circuit le plus aisé. Ainsi, on aura, par exemple, un débit élevé au centre d'une rampe et un débit faible aux extrémités. Pour éviter ce phénomène, il faut placer au départ du circuit un élément distributeur ou sur chaque tronçon un dispositif calibreur. Toutefois, on verra que l'efficacité de ces dispositifs n'est pas toujours optimale.

La perte de charge influe elle-même sur le rendement de pompage. En effet, le débit d'une pompe non volumétrique dépend de la pression de refoulement. Nous avons vu que cette pression, qui comprend la perte de charge observée dans les canalisations, dépend elle-même de la vitesse de circulation du liquide, donc du débit de la pompe. Pour résoudre cette double équation, on détermine le point de fonctionnement du réseau, en croisant les courbes caractéristiques de la pompe et les courbes caractéristiques du réseau. L'influence de la viscosité sur le rendement de pompage est constatée dans les installations utilisées par la société d'épandage SESAER qui fonctionnent avec des pompes centrifuges de marque Bauer (*cf.* tableau 1.2). Elles alimentent un ensemble formé par un tuyau de 500 m de long et 100 mm de diamètre, raccordé à une rampe munie de 16 buses.

Boues	Débit observé	Pression observée
4 % de matière sèche	60 m ³ /h	5 bars
7 % de matière sèche	50 m ³ /h	7 bars

Tableau 1.2 – Influence du taux de matière sèche d'une boue liquide sur les performances d'une pompe

La viscosité du produit intervient également sur la puissance à mettre en œuvre pour le brassage des silos, comme le montre le tableau 1.3 (Colin, 1982).

Teneur en matière sèche des boues	Puissance consommée
5 %	5 W/m ³
9 %	10 W/m ³
11 %	30 W/m ³
12 %	95 W/m ³

Tableau 1.3 – Influence du taux de matière sèche d'une boue liquide sur l'énergie nécessaire au brassage

L'agitation est un élément important pour une bonne gestion des produits. En effet la matière organique se dépose dans le fond des silos. La richesse de produits pompés va varier au fur et à mesure de la vidange du stockage. Ce phénomène est notable dans le cas de vidange des lagunes où le moyen d'extraction peut jouer aussi un rôle de brassage. Différentes techniques sont adoptées, chacune ayant ses propres limites par rapport à l'obtention d'un produit homogène.

2. 2 Les produits pâteux

La définition de cet état n'est pas toujours claire. Nous avons vu que la transition liquide-pâteux pouvait être soumise à diverses interprétations. En ce qui concerne la transition pâteux-solide, la limite correspondant à des tas d'un mètre de haut pour un angle de talus de 45° n'est plus équivoque. On pourrait cependant penser à l'observation de boues stockées en tas sur une hauteur de 0,50 m (donc considérées comme strictement pâteuses) que celles-ci n'aient pas d'aptitude à l'écoulement. En réalité, on pourra se convaincre de cette fluidité en observant un chargement dans camion. On peut facilement vérifier dans ce cas que le produit s'écoule à l'intérieur de la caisse, que ce soit au démarrage ou au freinage du véhicule.

La mesure des caractéristiques d'écoulement d'une boue pâteuse ne peut, de toute évidence, plus être effectuée au moyen d'un tube capillaire. Une méthode de mesure à l'aide d'un rhéomètre a été définie pour tenir compte des effets perturbateurs liés à l'importante viscosité et aux propriétés élastiques du matériau (Baudez, 2001). La même thèse propose une détermination simplifiée du seuil d'écoulement à l'aide du « test d'effondrement ».

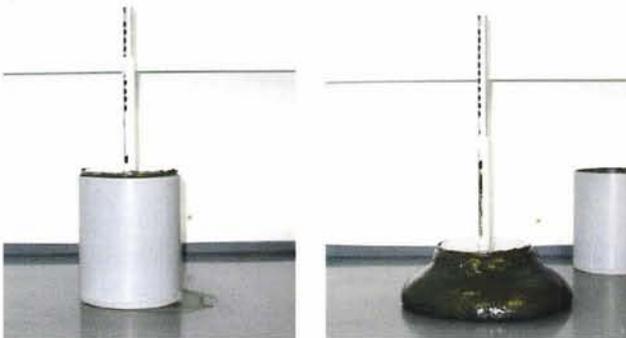


Photo 1.10 – Principe du test d'écrasement
[J.-C. Baudez, Cemagref]

Il s'agit d'observer l'effondrement d'un cylindre de boue et d'en déduire le seuil de contrainte à partir de la hauteur d'effondrement mesurée. Après avoir rempli un tube avec de la boue pâteuse, on soulève ce tube, ce qui entraîne l'effondrement du volume initial (cf. photos 1.10). Un index permet de connaître directement la hauteur d'écrasement. Pour des boues assez épaisses, il est possible de charger le plateau supérieur, avec une masse connue.

La formule de calcul de l'écrasement, sans charge additionnelle, en fonction du seuil de contrainte est la suivante :

$$s = H - \frac{2\tau}{\rho g} \left(1 + \ln \frac{\rho g}{2\tau} \right)$$

où s : hauteur d'écrasement (m) ; ρ : masse volumique (kg/m^3) ;
 H : hauteur initiale (m) ; τ : seuil de contrainte de la boue (Pa).

En appliquant cette formule à trois boues de seuil d'écoulement 20, 60 et 250 Pa, nous obtenons les résultats du tableau 1.4 correspondant à un cylindre de hauteur initiale 10 cm.

Seuil d'écoulement	Hauteur d'écrasement
20 Pa	8.2 cm
60 Pa	6,2 cm
250 Pa	1.4 cm

Tableau 1.4 – Hauteur d'écrasement calculée pour trois types de boues pâteuses

Les résultats trouvés correspondent à des consistances de boues pâteuses. Dans le premier cas l'écrasement est quasi total. Il reste un paquet type « bouse de vache ». Nous sommes à la limite du liquide. Dans les deux autres cas, le cylindre s'écrase, mais il reste une portion cylindrique plus ou moins importante. Ceci correspond à un comportement de boues pâteuses moyennes. Nous retrouverons ces valeurs dans des sous-catégories que nous proposons pour ces boues pâteuses.

La gamme représentée par les boues pâteuses regroupe en effet des réalités très différentes pour la pratique de l'épandage. Si nous maintenons le seuil de 20 Pa pour la limite boues pâteuses-boues liquides, nos estimations nous portent vers un seuil de 2 500 Pa pour la limite entre les boues solides et les boues pâteuses. Cette valeur a été établie par la simulation de tas de hauteur 1 m et d'angle de talus 45° , avec différentes valeurs de seuil d'écoulement. La valeur de 2 500 Pa correspond alors à la limite de stabilité du tas. Pour répondre aux observations relatives à l'épandage de ces produits, nous diviserons cette catégorie en trois classes.

Les boues pâteuses liquides : ces boues sont les plus difficiles à épandre. Elles ne sont pas pompables, mais s'écoulent facilement. Ces boues ne tiennent pas en tas. La surface de la boue chargée dans l'épandeur s'égalise d'elle-même. À l'ouverture de la trappe de la trémie, il est très difficile de contrôler le débit. Le niveau de boues baisse du côté de l'évacuation. On peut estimer les valeurs limites du seuil de contrainte à 20 Pa et 60 Pa.

Les boues pâteuses moyennes : mises en tas, ces boues s'écrasent sur une faible hauteur, tout en formant des ondulations. La surface dans l'épandeur s'égalise au transport. Le niveau de boue reste sensiblement horizontal lors de la vidange de l'épandeur. On peut estimer les valeurs limites de cette classe à 60 Pa et 250 Pa.

Les boues pâteuses plastiques : ces boues tiennent en tas sur une hauteur restant par définition inférieure à 1 m. Le niveau reste chaotique et parfois forme une croûte dure. La manutention par vis provoque des frottements importants qui peuvent conduire à des blocages ou des usures rapides. On n'observe plus la capacité d'écoulement que dans des cas d'accélération ou de freinage conséquents. Dans l'épandeur, le niveau baisse irrégulièrement, en priorité du côté avant de l'épandeur. Des effets de voûte peuvent aussi être observés.

Ces divers produits sont pelletables, à condition d'utiliser un godet étanche. On peut aussi les manutentionner par un système de vis sans fin que ce soit pour le chargement ou la vidange lors de l'épandage.

Comme pour les boues liquides, la viscosité du produit n'est pas directement corrélée à la teneur en eau du produit. On peut même observer (cf. fig. 1.3) une situation où pour deux produits, le plus visqueux sera celui où la teneur en matières sèches est la moins élevée (Baudez, 2001).

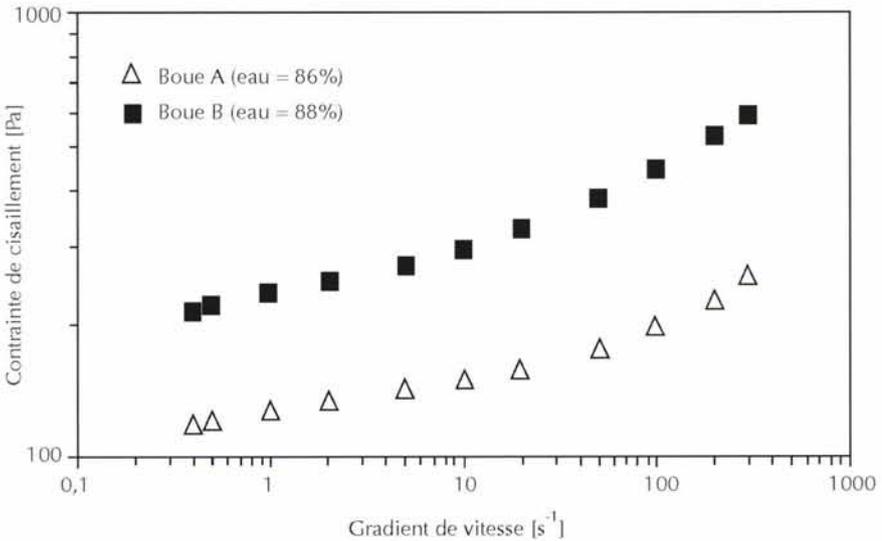


Figure 1.3 – Dans cet exemple, la boue la plus sèche est la plus fluide

On peut voir plusieurs raisons à cet état de fait. Une raison particulière est liée au mode de détermination de la matière sèche. En effet, lors d'un

séchage à 105°, on ne volatilise pas que de l'eau, mais on peut aussi volatiliser les acides gras. Un séchage à 60° permet, pour sa part, une détermination exacte de la teneur en eau. On en déduit aisément qu'une boue pâteuse riche en acides gras verra sa teneur en matière sèche sous-estimée. Elle ne pourra donc pas être comparée objectivement avec une boue pauvre en acides gras. Une autre raison tient à la liaison de l'eau contenue dans la boue avec les particules solides. On distingue généralement l'eau libre de l'eau liée. En réalité, il peut exister différents degrés de liaison difficilement quantifiables. Moins la boue est concentrée, plus l'effet hydrodynamique est important sur la viscosité. Un stockage de boues soumis aux précipitations peut ainsi nettement se fluidifier par l'augmentation de sa teneur en eau libre. De même, l'eau emprisonnée dans les floccs de la boue peut se trouver libérée lors d'une fermentation et augmenter la fluidité du produit.

Les écoulements des boues pâteuses sont des écoulements laminaires en raison de l'importante viscosité du produit. On peut facilement observer les veines d'écoulement sur les surfaces libres des produits en mouvement. Les formules de mécanique des fluides ne sont pas directement applicables à la résolution de situations de terrain. Il est possible de prévoir ces écoulements par l'utilisation d'un logiciel de mécanique des fluides. Le principe de ces logiciels est de diviser le volume de fluide concerné en mailles élémentaires de faibles dimensions. On applique alors les équations générales de la mécanique des fluides à chacune de ces mailles. Les interactions entre chacun de ces éléments de petites dimensions sont prises en compte par une

série de calculs de proche en proche précisant les actions entre ces divers éléments. Un aperçu de cette technique sera donné lors de la présentation des matériels adaptés à l'épandage des boues pâteuses.

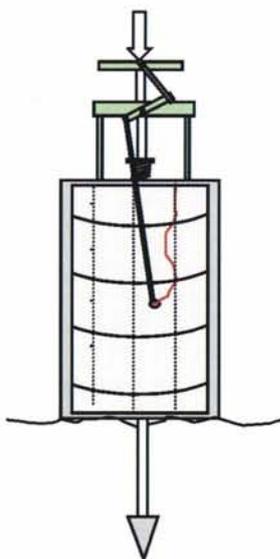


Figure 1.4 – Principe du pénétromètre de terrain.

2. 3 Les produits solides

Avec ce type de produit, l'utilisation d'un rhéomètre n'est plus possible. Différents appareils ont été utilisés pour caractériser l'état physique des boues solides. Les deux plus simples sont le scissomètre et le pénétromètre. Le scissomètre découpe la boue par rotation de pales enfoncées dans le tas. On mesure alors le moment du couple nécessaire à la rotation de l'appareil. L'utilisation du pénétromètre consiste en l'enfoncement d'une pointe dans le tas. On mesure alors la force d'enfoncement. Nous avons pour notre part utilisé un pénétromètre de terrain, schématisé à la figure 1.4.

La pointe est enfoncée dans le tas jusqu'à une profondeur de 50 cm. L'appareil enregistre la force axiale d'enfoncement. Nous retenons comme valeur caractéristique la contrainte moyenne d'enfoncement une fois la croûte traversée (Effort/Surface). Cette méthode ne permettant pas d'isoler une contrainte simple de cisaillement ou de compression, nous ne comparerons pas les résultats obtenus avec ceux du rhéomètre.

Les résultats du tableau 1.5 ont été enregistrés lors de notre enquête.

Produit	Contrainte d'enfoncement	Commentaire
Boues de Reims	40 kPa	Pas de croûte
Boues d'Arras	60 kPa	Croûte de surface
Boues de Riom	80 kPa	On peut marcher sur le tas
Boues de SICAPG	120 kPa	Tas très stable

Tableau 1.5 – Contrainte d'enfoncement du pénétromètre pour quelques boues solides observées.

On peut comparer ces résultats avec ceux enregistrés sur d'autres produits :

- fumier : 140 kPa à 1600 kPa
- suint potassique : 1000 kPa

Ces résultats sont tout à fait représentatifs de la tenue du tas. Ils confirment et précisent l'impression que l'on peut avoir en essayant de marcher sur le tas. Ils permettent, en outre, de connaître l'épaisseur de la croûte de surface et la consistance interne du tas.

En revanche, la relation avec la facilité d'épandage est plus difficile à établir. Les produits les plus durs, tels que le suint potassique ou un fumier très tassé nécessitent effectivement une importante énergie de dislocation. On aura recours pour leur épandage à des broyeurs à marteaux ou des hérissons spécifiques. Ces équipements requièrent un surcroît important de puissance. À l'inverse, les produits les plus plastiques se disloquent assez facilement, mais peuvent coller aux disques d'épandage et aux parois de la hotte. Cela risque de former des amas et des projections de paquets si l'on n'entraîne pas assez rapidement les disques d'épandage. Par conséquent, il faut disposer d'une puissance importante pour l'entraînement des disques, pouvant aller jusqu'à 180 kW, dans un cas observé. Nous avons constaté également que la contrainte d'enfoncement n'était pas représentative des efforts à l'épandage pour des boues issues de filtres-presses. Ces boues se présentent sous forme de plaquettes qui entassées opposent une résistance de 250 kPa à l'enfoncement de la pointe du pénétromètre. Toutefois, dans l'épandeur, ces plaquettes se désagrègent facilement et s'épandent finement.

2. 4 Les solides secs

Une étude sur l'épandage des boues sèches réalisée en Suisse (Meier *et al.*, 1998) confirme l'importance de la présentation physique des boues sèches. La granulométrie du produit dépend du procédé utilisé. Avec un tambour sécheur rotatif, le produit se présente en granules de 1 à 6 mm de diamètre. Ce produit peut être épandu avec un épandeur centrifuge. Avec un séchoir à spirale, on a un mélange de poudres et grumeaux mesurant jusqu'à 10 mm. Cette poudre va provoquer une formation très importante de poussières pendant l'épandage. On préférera pour ce produit l'utilisation d'épandeurs à vis servant habituellement à l'épandage de chaux pulvérulente. Des bourrages peuvent cependant se produire au niveau de cette vis sans fin. Pour le procédé d'évaporateur en couche, on ne constate aucune particule fine ; par contre, la forme allongée des granules provoque un mauvais écoulement dans l'épandeur. Ces produits ne peuvent pas être épandus avec des systèmes à vis sans fin.

Il y a donc intérêt à granuler le produit suivant une formulation bien définie. Au Cemagref de Clermont Ferrand, des essais ont été réalisés en 1992 sur des boues sèches granulées. Le principe de ces essais repose sur le protocole appliqué pour les engrais minéraux. Les caractéristiques physiques du produit sont les suivantes :

- densité : 0,662,
- D50 : 4,42 mm (50% des granules ont un diamètre inférieur à 4,42 mm, 50% des granules ont un diamètre supérieur à 4,42 mm),
- étalement granulométrique : 3,22 mm (c'est la différence D90 – D10),
- taux de casse 1,7% (refus au tamis de 1,6 mm après un passage forcé dans un coude standardisé),
- sphéricité 57% (mesure par roulement sur une surface standardisée),
- taux de matière sèche : 94,55%.

La régularité d'épandage obtenue est satisfaisante.

Sur une même base de caractérisation, nous avons pu relever les valeurs suivantes dans un cahier des charges établi pour un projet d'installation de granulation.

- densité : 0,9 à 1,2,
- D50 : 3,5 mm,
- étalement granulométrique : inférieur à 2 mm,
- taux de particules fines : inférieur à 1%,
- taux de matière sèche : supérieur à 90 %,
- résistance à l'écrasement comprise entre 30 et 50 N.

Ici, la préconisation est très proche des exigences formulées pour les engrais minéraux granulés (Rousselet *et al.*, 1996) .

- ADEME 2001, *Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture*, Dossier documentaire, 59 p. et 21 fiches.
- AFNOR 1991, *Recueil de normes françaises « matières fertilisantes et supports de culture »*, Éditions AFNOR, 711 p.
- Barbe J., Brocheton D., Kockmann F., Wiart J., 2001, *Les boues chaulées des stations d'épuration municipales : production, qualité et valeur agronomique*, Éditions ADEME, 224 p.
- Baudez J.C., 2001, *Rhéologie et physico-chimie des boues résiduelles pâteuses pour l'étude de l'épandage et du stockage*, Thèse de doctorat, 229 p.
- Bertone N., 1997, *Matières organiques utilisées en agriculture en Languedoc-Roussillon*, Guide technique, 152 p.
- Caldenius C., Lundström R., 1956, "The landslide at Surte on the river Göta", *Alv. Sv. Geol. Unders. Ser. Ca. n° 27*, p. 30 – 36.
- Chilton R., Stainsby R., Thompson S., 1996, *The design of sewage sludge pumping systems*, *Journal of Hydraulic Research*, vol. 34 –3, p. 395 – 408.
- Colin F., 1982, *Characterization of the physical states of sludges*, COST 68a, Working party n° 1, Institut de recherches hydrologiques, Nancy.
- Cossec G., Havard P. 2001, *Tests de matériels d'épandage de fumier de volaille*, Rapport d'étape, 32 p.
- Francou C, Houot S., 2000, *Utilisation des composts d'origine urbaine*, Rapport INRA-ADEME - APCA, 67 p.
- Hacala S., Bodet J.M., Aubert C., Texier C. 2001, *Fertiliser avec les engrais de ferme*, Édition commune Institut de l'élevage, ITAVI, ITCF, ITP, 104 p.
- Meier U., Kasper M., Hunziker P., Affolter G., 1998, *Boues d'épuration séchées : séchage, stockage, épandage et décomposition*, Rapport FAT (station fédérale suisse de recherches en économie et technologie agricoles) 12 p.
- Rousselet M., Megnien J.C., Le Du J., Decroux J., Guyot P., Godron E. 1996, *Épandage d'engrais minéraux solides (granulés, perlés, compactés, cristallisés)*, Édition Cemagref – Comifer. 57 p.
- Slatter P.T. 1997, "The rheological characterisation of sludges", *Water Science and Technique*, Vol 36 – 11, p. 9 – 18.

LA QUALITÉ D'ÉPANDAGE DES PRODUITS ORGANIQUES

Le terme « épandage » signifie dans son sens premier l'action de répandre un produit sur une surface étendue. Nous y inclurons les techniques de distribution ou d'enfouissement en lignes. Aujourd'hui, ce mot « épandage » est souvent employé pour désigner l'apport de fertilisants ou l'apport de déchets en vue d'un recyclage en agriculture. La relation avec la technique utilisée pour cet apport n'est alors plus considérée. Pour notre part, nous nous référerons au sens premier du terme, en considérant les technologies mises en œuvre pour répartir les boues et autres produits organiques sur des parcelles agricoles.

1 Principe et définitions

L'apport de boues et autres produits organiques, par épandage, permet de réapprovisionner le « garde-manger » du sol. Les plantes ont besoin pour se développer de nutriments qu'elles prélèvent dans le sol : essentiellement l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K). Une partie des éléments constitutifs de la plante est exportée par la récolte, en quantité d'autant plus importante que le rendement de la culture est élevé. C'est donc, en fonction de l'objectif de rendement que l'agriculteur apporte, par l'épandage de matières fertilisantes minérales ou organiques, les quantités de nutriments nécessaires pour compenser les exportations de la culture.

La fertilisation « raisonnée » demande de connaître les potentialités du sol et du climat. Elle adapte les apports de fertilisants selon les besoins des plantes, le rendement réaliste escompté et les fournitures du sol en nutriments. Dans ce cadre, un apport raisonné de produits organiques repose sur :

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

Si la dose calculée n'est pas respectée il s'ensuivra, 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-tra-

ces 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. Des techniques de modulation localisée dans un cadre d'agriculture de précision semblent, à l'heure actuelle, prématurées 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.

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 épanchée sur une unité de surface. L'unité normalisée est le kg/m^2 . L'unité courante est la t/ha.

$$1 \text{ kg/m}^2 = 10 \text{ t/ha}$$

Le **débit massique** d'un appareil est la quantité de produit épanchée en une unité de temps. L'unité normalisée est le kg/s . L'unité courante est le kg/min .

$$1 \text{ kg/s} = 60 \text{ kg/min}$$

Le **débit volumique** d'un appareil est le volume de produit épanché 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 une même formule. La dose correspond en effet à la quantité épanchée en une unité de temps divisée par la surface épanchée durant la même unité de temps.

$$\text{Dose} = \text{Débit} / (\text{Largeur d'épandage} \times \text{Vitesse d'épandage})$$

Diverses formules d'usage courant sont dérivées de celle-ci et diffèrent par les unités utilisées.

Les appareils **DPA** (à débit proportionnel à la vitesse d'avancement) modulent en permanence le débit pour épancher 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.

2 Le respect de la dose

Lors de notre enquête effectuée en 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.

2.1 Le respect de la dose en 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 (cf. photo. 2.1) et donc la quantité épandue en un temps donné ou sur une surface donnée.



Photo 2.1 – Débitmètre à induction électromagnétique
[F. Chabot, Cemagref]

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 bouchons 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. Celle-ci a, par définition, une cylindrée constante, indépendante de la pression du liquide.

2.2 Le respect de la dose en 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 2.1 donne les valeurs limites constatées selon les produits épandus.

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 2.1 – Écart de dose constaté suivant 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.

Par rapport aux 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 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 monté sur les appareils de type *Terra Gator* est capable de mesurer le poids en déplacement, donc au cours de l'épandage (cf. photos. 2.2).



Photos 2.2 – Système de pesée Ag-Chem, Griffith-Elder [Document Ag-Chem]

On utilise cette pesée en relation avec la largeur de travail pratiquée et la mesure de la vitesse d'avancement. Avec 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.

3 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.

3.1 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.

3.1.1 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 PrEN 13080 concerne les épandeurs de fumier, la norme PrEN 13406 concerne les épandeurs de lisier. Elles sont actuellement en phase d'enquête probatoire. 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 2.1 : l'épandeur et le tracteur sont maintenus sur un système de pesée constitué par des plates-formes placées sous chaque roue du tracteur et de l'épandeur. L'épandage est réalisé en position statique.

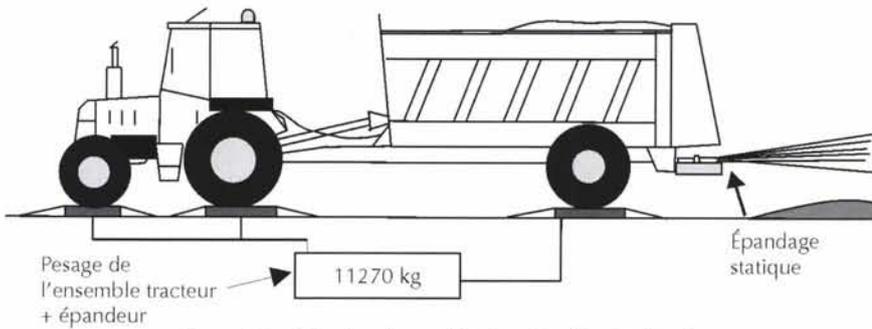


Figure 2.1 – Principe du test de répartition longitudinale

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 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 2.2.

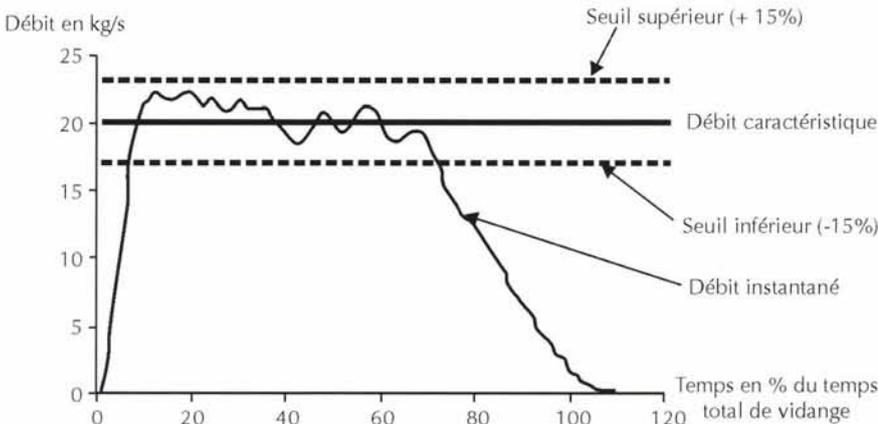


Figure 2.2 – Courbe de variation du débit durant le temps de déchargement

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, qui est de 67 % dans l'exemple de la figure 2.2. Le coefficient de variation des débits durant le temps de vidange constitue un second critère de régu-

larité longitudinale. Dans l'exemple choisi, ce coefficient de variation est de 26 %. Il n'est pas tenu compte ici d'un éventuel recoupement longitudinal. Les futures normes CEN prévoient, pour leur part, les valeurs limites suivantes (cf. tableau 2.1) :

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

Tableau 2.2 – Valeurs limites de régularité longitudinale proposées dans les futures normes CEN

3.1.2 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 mise en question lorsque la vitesse d'avancement n'est plus constante. Lorsque le tracteur gravit une pente, le régime moteur peut décélérer ; la largeur de travail et la vitesse d'avancement diminuent. La dose qui, rappelons-le, varie à l'inverse de la largeur de travail et la vitesse d'avancement va augmenter. 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.

3.2 La régularité transversale d'épandage

3.2.1 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 (cf. photo 2.3) et les bacs sont pesés directement après l'essai. Les valeurs obtenues pour chaque bac correspondent à un passage.



Photo 2.3 – Essai de répartition transversale [F. Chabot, Cemagref]

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 (cf. fig. 2.3), on considère un décalage des valeurs d'une largeur de travail ainsi qu'un retournement 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.

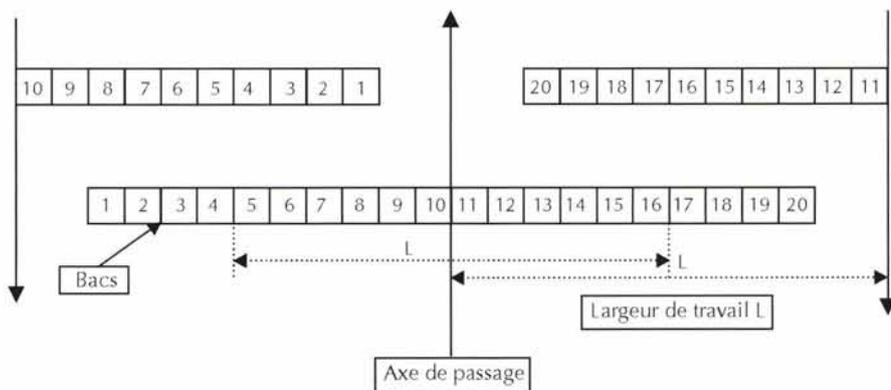


Figure 2.3 – Simulation de passages tous les 6 m pour un épandage va-et-vient

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 2.4, 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.

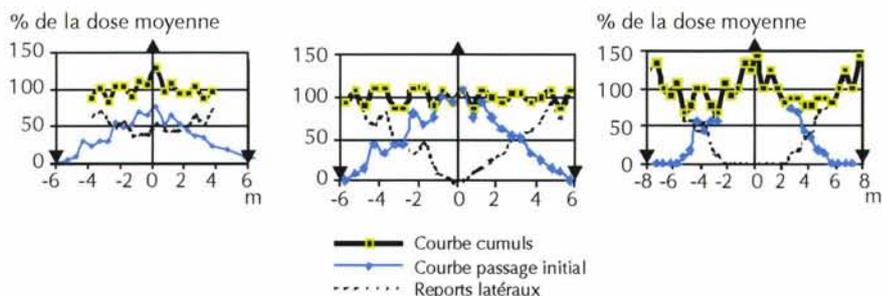


Figure 2.4 – Courbes de répartition pour des largeurs de travail de 4, 6 et 8 m

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 (c.v.) représentatif de la régularité transversale est effectué.

$$\text{c.v.} = \frac{\text{écart type}}{\text{moyenne}} = \frac{\sigma_{n-1}}{\bar{x}}$$

Ces résultats sont représentés, figure 2.5, par la courbe des coefficients de variation en fonction de la largeur de travail.

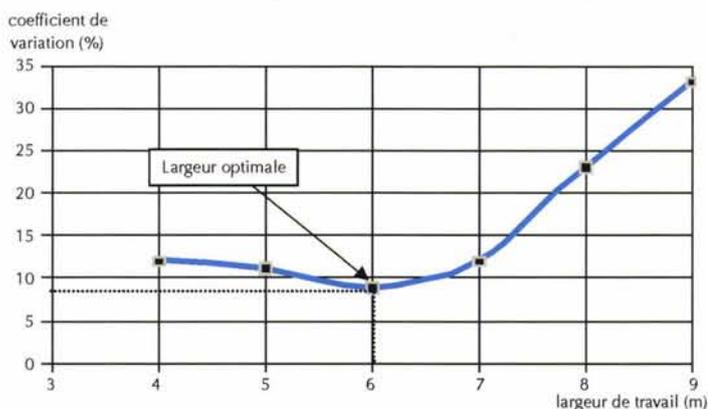


Figure 2.5 – Exemple d'évolution du coefficient de variation suivant la largeur de travail

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 proposées dans la future norme CEN figurent dans le tableau 2.3.

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

Tableau 2.3 – Valeurs limites de régularité transversale proposées dans les futures normes CEN

3.2.2 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 nettement 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.

3.3 Les autres critères de qualité

D'autres critères de qualité d'épandage peuvent être émis suivant les exigences particulières des agriculteurs ou des techniciens. Certains d'entre eux seront examinés dans le chapitre 6, en liaison avec le chantier. En ce qui concerne strictement la répartition au sol, nous insisterons sur deux points particuliers liés aux produits pâteux et solides.

3.3.1 La finesse de travail

L'agriculteur est généralement habitué aux épandages grossiers de fumier et ne prête guère d'attention à la taille moyenne des mottes. Cependant, lorsqu'il a pu bénéficier d'un épandage fin sur ses parcelles, il souhaitera souvent conserver ce bénéfice qui 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...

3.3.2 L'absence de 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 hérissons. Les couteaux des hérissons horizontaux, et dans une moindre mesure ceux des hérissons 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.

4 La qualité actuelle des épandages

4.1 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.

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 de CUMA.

4.1.1 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 2.6.

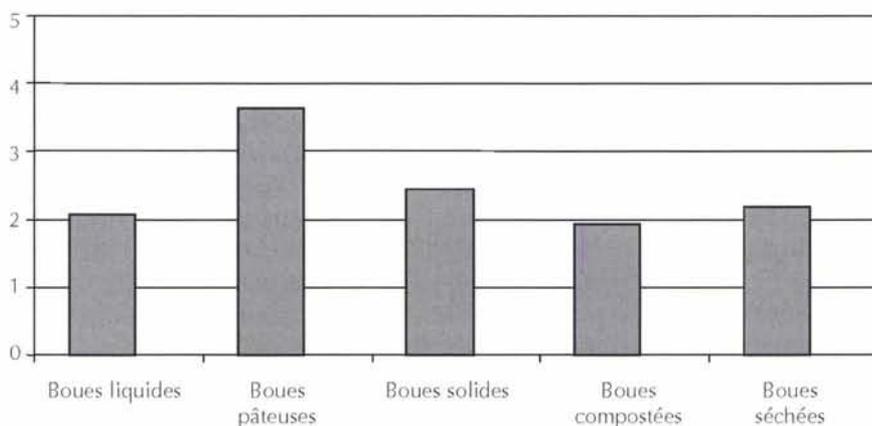


Figure 2.6 – Appréciation de la difficulté d'épandage des différents types de boues sur une échelle de 1 à 5

Nous voyons nettement que les boues pâteuses sont considérées comme les plus difficiles à épandre (note moyenne de 3,6). Pour certains, 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. Nous tenterons de résoudre cette apparente contradiction en proposant trois sous-types de boues pâteuses. L'aptitude à l'épandage de ces trois catégories sera reprise dans le chapitre 4.

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.

4.1.2 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 2.7 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.

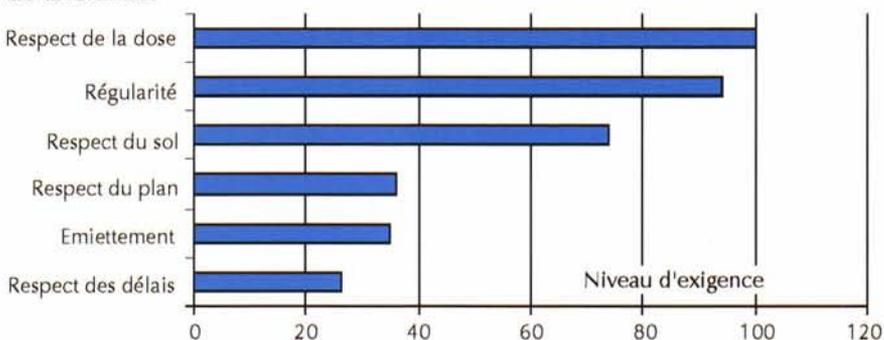


Figure 2.7 – Évaluation des priorités concernant les exigences de qualité

Nous voyons que les critères de qualité d'épandage définis précédemment répondent aux soucis des ingénieurs et techniciens spécialisés en matière d'épandage. Les éléments que nous n'avons pas examinés à présent seront repris dans l'analyse de la conduite et de la qualité du chantier.

4.1.3 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, les opérateurs utilisent des matériels appartenant à diverses catégories de propriétaires, comme le montre la figure 2.8.

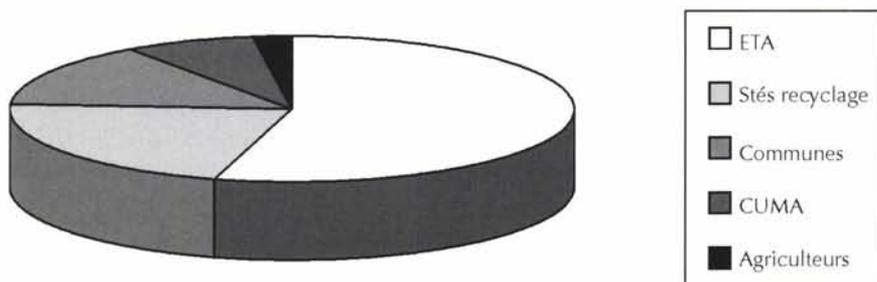


Figure 2.8 – Répartition des épandeurs utilisés par type de propriétaire

4. 2 Une campagne de contrôles de terrain

4.2.1 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. 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. La figure 2.9 représente les lieux des différentes observations effectuées.

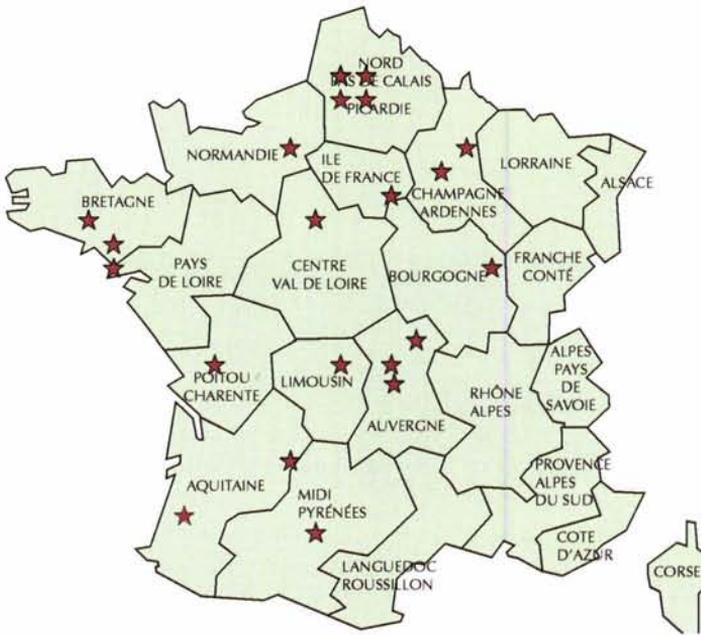


Figure 2.9 – Localisation des chantiers observés.

4.2.2 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 (cf. photo 2.4) :

- 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.



Photo 2.4 – Mesure de répartition au champ. Les boues sont recueillies sur des morceaux de moquette de 50 x 50 cm [F. Thirion, Cemagref]

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 pourcents, sauf cas particuliers que nous avons attribués à une différence d'humidité du produit entre différents tas.

4.2.3 Analyse des résultats

Les conditions de terrain étant moins favorables que les conditions en station d'essai, nous considèrerons que **pour moins de 30 % de coefficient de variation, 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.

Les résultats correspondant à chaque catégorie de matériels sont présentés dans les chapitres suivants. En ce qui concerne leur synthèse générale, il faut d'abord remarquer que ces résultats obtenus en 2001 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.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Cedra C. et al. 1997, *Les matériels de fertilisation et de traitement des cultures*, Collection Formagri, volume 4/5, 342 p.
- CEN 1998, *Épandeurs de lisier – Spécifications pour la protection de l'environnement – Prescriptions et méthodes d'essai*, Projet prEN 13406.
- CEN 1998, *Épandeurs de fumier – Spécifications pour la protection de l'environnement – Prescriptions et méthodes d'essai*. Projet prEN 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 PONARA du COMIFER. 71 p.

Hammelrath A., 2001, *Suivi de chantiers d'épandage de fumier*, Actes du colloque «Logistique des épandages», Vichy 8 et 9 oct., 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., Zwaenepoel 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.

L'ÉPANDAGE DES BOUES LIQUIDES ET AUTRES PRODUITS ORGANIQUES LIQUIDES

L'épandage des boues liquides s'effectue traditionnellement à l'aide d'une tonne à lisier. Une part importante des chantiers correspond à de petites stations d'épuration où les boues sont épandues par un agriculteur de la commune. Quelques communes possèdent également une tonne à lisier et la mettent à disposition des agriculteurs épandant des boues (avec parfois des difficultés dans l'organisation de l'entretien du matériel). Avec le développement des stations d'épuration et de leur plan d'épandage, les sociétés de recyclage s'impliquent aussi dans l'organisation de ces opérations. Ceci permet l'évolution des épandages vers l'utilisation de machines haut de gamme ou l'adoption de nouvelles technologies, comme l'épandage par rampes d'irrigation, repensant l'ensemble de la pratique.

1 Épandage par rampes d'irrigation

Nous prendrons l'exemple de l'installation mise au point par la *Sesaer* (Parent et Vidal, 2001), société qui épand environ 100 000 m³ de boues liquides par an avec ce type de procédé. L'idée d'utiliser un matériel d'irrigation pour l'épandage de lisier ou de boues liquides avait déjà été exploitée précédemment. Pour satisfaire aux exigences réglementaires et au cahier des charges de la *Sesaer*, il fallait mettre au point un matériel approprié répondant aux caractéristiques suivantes :

- la pression d'arrosage doit être faible pour éviter les embruns (interdiction de l'aéro-aspersion) ;
- la rampe doit couvrir une largeur de 48 m, permettant d'emprunter les passages de pulvérisation (généralement tous les 24 m) ;
- la rampe doit être légère (500 kg à vide, 650 kg en charge) ;
- l'installation alimentée par camion doit permettre d'épandre, à une personne seule, 200 m³ par jour.

Cette démarche a conduit à la création d'un ensemble rampe et enrouleur, en partenariat avec la société *Casseron*.

1.1 Principe général de la mise en oeuvre

Les chantiers mis en oeuvre (cf. photo 3.1) reposent sur la combinaison des matériels suivants : un camion muni d'une pompe et une rampe d'épandage tractée par un enrouleur d'irrigation adapté à l'épandage des boues. Chaque chantier est géré par une seule personne qui conduit le camion, contrôle le remplissage de la cuve du camion, gère l'épandage et les déplacements de la rampe de poste à poste. Pour ces déplacements, la rampe reste dépliée, elle est portée par deux bras fixés au bâti de l'enrouleur. Ces déplacements sont réalisés par un tracteur agricole qui reste associé à chaque rampe d'épandage. En outre, un camion porte-char est utilisé pour pouvoir transférer de chantier à chantier le tracteur, l'enrouleur et la rampe repliée.



Photo 3.1 – Vue générale de la rampe d'épandage [E. Parent, Sesaer]

Dans le cas de parcelles d'épandage proches de la lagune de stockage, la pompe effectue simultanément le pompage dans la lagune et l'alimentation de la rampe. Des canalisations (jusqu'à 1000 m de longueur) sont alors disposées entre la pompe et l'enrouleur. Une pompe intermédiaire peut être placée en série pour compenser les pertes de charge. Dans ce cas, le pompage fonctionne donc en continu, de la même façon qu'une installation d'irrigation. Un compteur (débitmètre électromagnétique) est utilisé pour connaître avec précision les quantités épandues.

Dans le cas général, l'épandage est discontinu. Le camion stationne en bordure de parcelle, la pompe aspire le produit et alimente l'enrouleur. Le chauffeur réalise les branchements, met en route et règle l'enrouleur, surveille l'épandage et vérifie, en particulier, l'absence de bouchage. Pour la majorité des chantiers, l'épandage sera donc interrompu lors des trajets et remplissages du camion. Le volume épandu est connu d'après le nombre de

trajets effectués, en supposant que le remplissage soit identique pour chaque transport.

1.2 Les matériels mis en oeuvre

Le camion a donc deux fonctions principales : le transport et le pompage. Chaque camion est muni d'une cuve en acier inoxydable de 23 m³. La pompe installée à demeure sur le camion est entraînée par le moteur du camion. Il s'agit d'une pompe centrifuge auto-amorçante, de marque *Bauer*. Elle débite 60 m³/h pour une boue peu concentrée.

L'enrouleur est adapté d'un enrouleur d'irrigation. Les modifications principales se situent au niveau de l'entraînement. Celui-ci est réalisé par un moteur annexe entraînant une transmission hydraulique. On peut ainsi moduler les vitesses d'avancement de façon simple. Les quantités épandues sont plus faibles qu'en irrigation : 80 m³/ha (8 mm) au lieu de 400 m³/ha (40 mm) par exemple. Avec un débit de 60 m³/h nous devons avoir, pour l'épandage, une vitesse d'avancement de 156 m/h soit de l'ordre de 10 fois la vitesse d'avancement classiquement utilisée en irrigation. C'est le réglage de la vitesse d'enroulement qui va déterminer la dose épandue. En effet, on ne peut pas diminuer le diamètre des buses utilisées sans risque de bouchage. L'entraînement a été conçu pour pouvoir réduire la dose épandue jusqu'à 20 m³/ha. Le réglage de vitesse est manuel. L'opérateur doit donc tenir compte du nombre de spires enroulées pour régler cette vitesse. Les régulations électroniques utilisées en irrigation sont peu adaptées à ce type de chantier. En effet, l'enrouleur est fréquemment arrêté et mis en marche dans ce système ; il faudrait à chaque fois réinitialiser le programme.

La rampe a une largeur d'épandage de 48 mètres (longueur de rampe 42 m). Le chariot sur lequel est placé la rampe a une voie identique à celle du tracteur utilisé pour la mise en place. L'ensemble peut donc circuler sur les passages de traitement. Toute la conception de la rampe a été étudiée pour éviter les bouchages. Les tuyaux ne doivent pas présenter d'aspérités sur les parois internes, de même les raccords ne doivent pas posséder des points d'accrochage. Les cheveux et fibres souvent présents dans les boues urbaines liquides s'accumulent en effet très facilement et peuvent boucher des canalisations en s'agglomérant les uns aux autres. Des graviers et morceaux de plastique sont aussi trouvés dans ces bouchons. Ces problèmes sont nettement moins importants lors d'épandage de lisier de porcs ou de boues d'origine industrielle. Les pendillards et buses-miroir classiques sont trop sensibles aux bouchages avec les boues urbaines. Aussi, un type de buse spécial a-t-il été conçu pour ces rampes.

La photo 3.2 représente l'une de ces buses. La buse possède une géométrie dans laquelle le liquide entre tangentiellement et subit un tourbillon. Le diamètre de l'orifice de sortie est de 21 mm. Le phénomène de type vortex crée

une perte de charge régulant le débit : chaque buse épanche sur une largeur de 3 m avec un débit de l'ordre de 60 l/min. Elle forme un jet conique qui se divise en grosses gouttes. La fixation sur la rampe est ajustable pour donner à chaque jet l'inclinaison optimale.



Photo 3.2 – Buse équipant la rampe d'épandage [F. Chabot, Cemagref]

Malgré ce principe de fonctionnement, quelques embruns sont perceptibles en cas de vent. L'atout principal de la rampe est son poids, limité à 500 kg à vide. Au total, avec le volume de liquide transporté, le poids est de l'ordre de 650 kg. Ceci supprime les problèmes de portance que l'on rencontre avec les tonnes à lisier. La limite de portance est donc surtout liée à l'installation de l'enrouleur en bout de parcelle, avec son poids d'eau transporté.

1.3 Exemple d'un chantier

Il s'agit de la vidange d'une lagune de stockage contenant 2000 m³ de boues liquides à 5 % de matières sèches. Un agitateur est en action durant toute la période de chantier. L'aspiration des boues est réalisée par la pompe du camion. Un broyeur est monté en série pour limiter les problèmes de bouchage des buses à l'épandage. La présence de ce broyeur ralentit le remplissage : 15 minutes de remplissage au lieu de 10 minutes. À l'épandage, le camion stationne en bordure de route. Le temps de vidange est directement lié au débit de la pompe. Les temps de chantier pour chaque voyage peuvent se décomposer de la façon suivante :

- remplissage de la citerne : 15 mn ;
- transport sur route : 15 mn ;
- épandage : 25 min.

Le total du temps passé est de 55 minutes pour 23 m³ épandus. Si le chauffeur réalise huit voyages dans la journée, il aura épandu environ 180 m³ dans la journée. Le respect de la dose à épandre est facile à vérifier. Les boues étant très sombres, la zone épandue est parfaitement délimitée. Pour un dosage de 80 m³/ha, le volume de 23 m³ doit être épandu sur 0,287 ha soit sur une longueur de 60 m pour une rampe de 48 m de large.

La répartition longitudinale est liée à la vitesse d'avancement qui est facilement contrôlable. L'opérateur doit toutefois veiller à ne pas retarder la mise en déplacement après l'alimentation de la rampe, sinon une accumulation se produit après chaque redémarrage.

La répartition latérale est fortement liée à l'état des buses. Sur une rampe où les buses sont souvent démontées et débouchées et approximativement repositionnées, la répartition peut s'avérer insuffisamment régulière. Après un ajustement des buses, nous avons obtenu la courbe de répartition présentée à la figure 3.1.

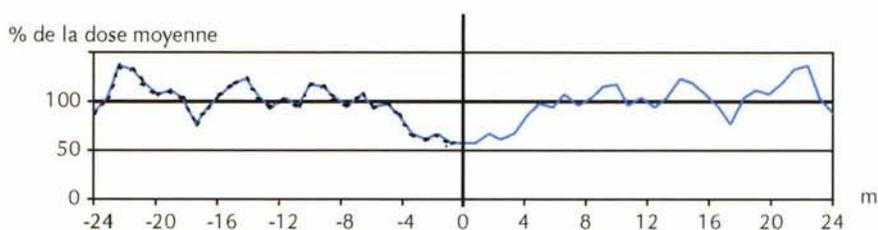


Fig. 3.1 – Répartition de la rampe (La mesure a été effectuée sur une demi-rampe uniquement)

Les mesures de répartition ont été effectuées avec l'aide de la *Sesaer*, sur une demi-rampe. Nous avons représenté (figure 3.1) la courbe mesurée et sa courbe symétrique. On observe un manque de produit au centre de la rampe. Pour la *Sesaer* cet écart de dose n'est pas décisif car il concerne les passages de traitement, zones moins productives. Cependant, on peut le combler en remplaçant les deux buses centrales. La répartition est satisfaisante, correspondant à un coefficient de variation de 20 % (13 % si l'on ne tient pas compte de la zone centrale).

1.4 L'intérêt de cette technique

L'avantage principal de cette technique est de pouvoir augmenter de façon importante le nombre de jours possibles d'épandage. Le chantier est très propre, la route n'est pas salie.

Les inconvénients sont plutôt liés à l'utilisation de buses. Pour les épandages en végétation, les feuilles sont salies par la boue. Il faut aussi signaler quelques embruns en cas de vent.

Il existe d'autres marques commercialisant des matériels similaires avec, entre autres, un produit distribué par la coopérative agricole «Terre du Sud».

Il se distingue du précédent par l'utilisation d'une rampe à pendillards (cf. photo 3.3). Les pendillards ont l'avantage de pouvoir réaliser un apport en végétation sans salir le feuillage. Ils diminuent également les embruns et les odeurs.

La difficulté technique consiste à alimenter la rampe à pendillards sans broyeurs répartiteurs. Leur utilisation nécessiterait une source d'énergie conséquente qu'il est difficile de déporter jusqu'à la rampe. Un répartiteur fonctionnant en autonomie a été mis au point pour cet appareil. La maîtrise globale du débit est assurée par des buses calibrées. Ces buses sont en caoutchouc afin d'éviter les bouchages. Pour diviser le liquide de façon égale dans les divers tuyaux, on utilise un rotor à compartiments mis en rotation par le flux de liquide. Il peut tourner de 200 à 1000 tr/mn suivant les débits et alimente chaque descente de pendillard. Ce système, moins efficace qu'un broyeur-répartiteur, a l'avantage de fonctionner en autonomie. Pour éviter les bouchages, il faut broyer le produit lors d'épandage de lisiers chargés. Concernant les boues de stations d'épuration, nous n'avons pas trouvé de référence d'épandage avec ce type d'appareil ; on peut penser que les précautions doivent être identiques.



Photo 3.3 – Rampe 24 m à trois répartiteurs [M. Plantié, Terres du Sud]

On peut remarquer sur cette photo que les descentes de pendillards sont plus espacées que sur une rampe classique (0,80 m au lieu de 0,30 m). Ce point doit aussi être pris en considération lors d'un choix entre ce type de rampe et le dispositif ombilical que nous allons présenter maintenant.

2 Épandage à tuyau ombilical

Il existe une technique assez similaire au procédé à rampe décrit précédemment : il s'agit du système appelé « épandage sans tonne », ou « épandage à tuyau ombilical ». Dans ce cas, une rampe à pendillards est portée par un tracteur tout en restant branchée à son tuyau d'alimentation. Ce tuyau est soit relié à un réseau, soit relié à une citerne ou un container placé en bordure

de parcelle. Dans les deux cas, on utilise une pompe pour mettre le liquide en pression. Cette technique, importée de Suisse, se développe actuellement pour l'épandage du lisier. Cela permet d'éviter la circulation d'épandeurs dans les champs (et sur la route dans le cas du réseau). Dans une parcelle plate, l'utilisation d'un tracteur de 50 kW peut suffire. Les performances sont également équivalentes aux précédentes en matière de débit qui, pour les pompes utilisées, est aussi de l'ordre de 60 m³/h. Cela signifie qu'avec une rampe de 12 m, il faut une vitesse de rampe quatre fois plus grande que dans le cas précédent, ce qui donne une vitesse de 1,7 km/h pour une dose de 30 m³/ha. La photo 3.4 montre ce matériel en position de travail.



Photo 3.4 – Épandage sans tonne [F. Thirion, Cemagref]

2.1 Le réseau d'approvisionnement

En matière d'épandage de lisier, le gain procuré par ce type d'installation est surtout apprécié lorsqu'on est équipé d'un réseau de canalisations enterrées. C'est donc pour pouvoir maîtriser cet investissement qu'une étude détaillée a été réalisée (Cottais, 2002) à laquelle nous emprunterons les renseignements qui suivent.

Le choix de la pompe est un point important pour le bon fonctionnement général. Il existe trois types principaux de pompes pour ce genre d'utilisation. La pompe colimaçon est une pompe auto-amorçante et volumétrique. Elle a un bon rendement, mais elle est très fragile. Elle ne peut pas être utilisée en irrigation. La pompe centrifuge a un débit et un rendement qui dépendent de la pression. Pour contrôler son débit, il est nécessaire de disposer d'une régulation performante commandée par un capteur de débit ou de pression. La régulation ouvre un retour en fosse lorsque la rampe n'est pas fonctionnelle. Ce matériel est robuste. Il est économique à l'achat mais peut exiger un fort besoin en puissance lorsque le rendement est mauvais. La pompe à lobes est une pompe volumétrique auto-amorçante. Elle convient

bien pour les produits chargés. Sa pression maximum est de 8 bars. Avec une pompe à double étage, on peut atteindre une pression de 12 bars.

Quelque soit le fonctionnement de la pompe que l'on utilise, une homogénéisation du produit est indispensable. Un tamis correctement dimensionné à l'aspiration évitera la remontée de corps étrangers. Il faudra cependant s'abstenir de pomper le fond de la fosse.

Pour éviter les problèmes de bouchage dans les canalisations (qui pourraient entraîner jusqu'à des éclatements de tuyaux avec des pompes colimaçons) il est possible d'utiliser au préalable un système de séparation de phases. La partie solide séparée est mise en tas et se composte naturellement. La partie liquide est épandue. Il existe trois principaux types de séparateurs.

- Le séparateur à vis (cf. photo 3.5) entraîne le lisier à travers une grille. Le produit solide forme un bouchon qui retient le lisier sous pression. En réglant cette pression, il est possible de moduler l'intensité de la séparation.
- Le séparateur centrifuge projette, par l'intermédiaire d'un tamis rotatif, le lisier à travers les fentes d'une grille. Le solide restant à l'intérieur est évacué à l'aide d'un rotor muni de palettes.
- Le séparateur à tamis vibrant trie une partie des éléments en suspension dans le lisier qui arrive sur une grille vibrante. Le liquide traverse la grille qui retient et évacue la fraction solide.

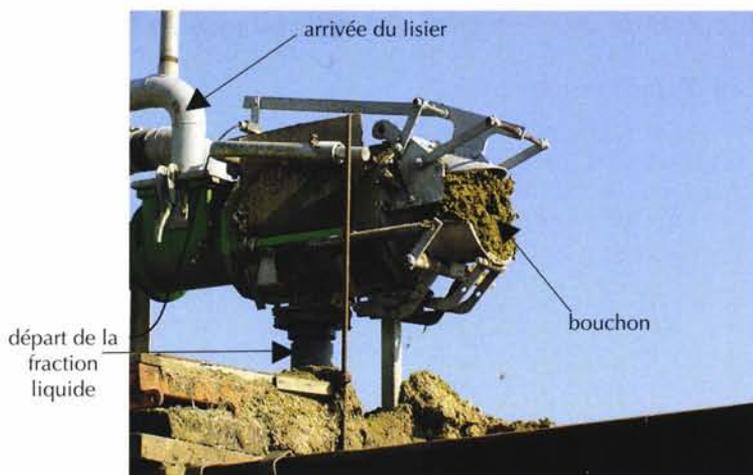


Photo 3.5 – Séparateur à vis en fonctionnement [F. Thirion, Cemagref]

Le séparateur à vis produit une fraction solide à un taux de matière sèche remarquable, de l'ordre de 35 %. Ce produit est inodore et se composte de lui-même. Le liquide possède encore près des deux tiers de la matière sèche

initiale, mais les éléments les plus grossiers ont été séparés, ce qui facilite les écoulements. La fraction liquide restant relativement chargée, il faut l'agiter au stockage comme tout autre lisier.

2.2 Le chantier d'épandage

On commence par dérouler le tuyau souple, et le raccorder des deux côtés. Une fois le système mis en route, il est possible de travailler de façon continue. Il faut éviter d'endommager le tuyau en l'arrachant ou en roulant dessus. À la fin du chantier, il est nécessaire de rincer les canalisations en faisant circuler de l'eau. Il faut compter au moins 10 m³ d'eau de rinçage, soit dix minutes de pompage complémentaire.

La régularité d'épandage avec ce type de matériel est assurée dans le sens longitudinal par la régulation de la pompe et la stabilité de la vitesse du tracteur. Concernant la répartition transversale, celle-ci est liée à la technologie de la rampe à pendillards qui présente généralement une régularité satisfaisante. Nous étudierons ce type de rampe par la suite.

L'un des inconvénients du système c'est le temps important nécessaire à la mise en place et au déroulement du tuyau. Cette opération est assez salissante, ce qui peut décourager des utilisateurs, car avec une tonne à lisier, il est aujourd'hui possible d'épandre du lisier confortablement, sans quitter le siège du tracteur.

3 Épandage par tonnes à lisier

Les épandeurs de lisier appelés aussi tonnes à lisier assurent à la fois le remplissage, le transport et l'épandage des lisiers ou des boues liquides. En France, 2 150 tonnes à lisier ont été vendues en 2001. Ces appareils sont conçus autour d'une citerne permettant l'approvisionnement de 3 à 24 m³ par voyage. La technologie a largement évolué dans les trois fonctions assurées. Au remplissage, des bras articulés permettent de déclencher le pompage sans quitter le siège du tracteur. Sur la route, des essieux suspendus procurent à la remorque de bonnes qualités routières. À l'épandage (cf. photo 3.6), un choix complet d'équipements est possible : buses, rampes et enfouisseurs.

La plupart des matériels sont dotés d'un compresseur d'air qui fonctionne en aspiration pour le remplissage de la citerne et en compression pour l'épandage. D'autres épandeurs sont munis d'une pompe acceptant les produits épais. Cette pompe peut servir au remplissage par aspiration et à l'épandage par refoulement.



Photo 3.6 – Épandage par tonne à lisier [F. Chabot, Cemagref]

3.1 Les épandeurs à dépression

Les fonctions assurées par cet appareil reposent sur l'action du compresseur qui assure la mise en pression ou en dépression de la citerne par inversion du flux.

3.1.1 Le remplissage

La dépression produite (de - 0,6 à - 0,8 bar) permet d'aspirer le liquide dans une fosse à l'aide d'un tuyau de remplissage de diamètre 150 ou 200 mm. Le débit de remplissage varie entre 1200 et 2200 kg/mn, selon la viscosité du liquide, la hauteur d'aspiration, la longueur et le diamètre de la conduite d'aspiration. Il n'est donc pas directement lié au débit du compresseur. Celui-ci a principalement pour rôle de créer, puis de maintenir le niveau de vide dans la citerne. Il suffit souvent de laisser la prise de force du tracteur tourner au ralenti pour assurer le remplissage.

Pour les citernes de grosse capacité, le temps de remplissage devient important. Les constructeurs ont prévu des accélérateurs de remplissage fixés sur le bras de pompage. Il s'agit de turbines accélérant la vitesse du liquide. Il est ainsi possible de remplir une citerne de 20 m³ en 6 à 8 minutes.

Un broyeur peut être intégré sur la ligne de remplissage. Il permet d'homogénéiser les produits afin d'éviter les bouchages à l'épandage. Un bac à pierres retient les éléments grossiers. Ce système ralentit fortement le remplissage. Il n'est donc utilisé que dans les cas les plus problématiques.

Une autre solution consiste à utiliser une pompe indépendante. On peut choisir une pompe hacheuse servant à la fois à l'agitation de la fosse par recyclage et au remplissage de la citerne de l'épandeur. Cette solution nécessite que chaque fosse ou lagune de stockage soit équipée.

Les jauges de remplissage à tube transparent sont particulièrement appréciées, car il est possible de distinguer le liquide proprement dit de l'écume formée. Il est alors facile de commander l'arrêt du remplissage au bon moment.

Une fois la citerne remplie, son contenu doit être brassé pour maintenir son homogénéisation et éviter des dépôts en fond de citerne. Il peut s'agir d'un brasseur pneumatique ou mécanique. Le brasseur pneumatique propulse de l'air qui maintient en suspension dans la citerne les particules grossières. Pour des trajets assez longs, il est conseillé de choisir un mélangeur mécanique qui permettra d'éviter tout dépôt.

3.1.2 L'épandage et la répartition longitudinale

Pour l'épandage, la citerne est mise sous pression, de 0,6 à 1,2 bar. Le compresseur refoule alors l'air dans la citerne et doit maintenir cette pression tout au long du temps d'épandage.

Le débit de la tonne est fonction de la pression. En simplifiant la loi de Bernoulli, on peut écrire que le débit q est proportionnel à la racine carrée de la pression p .

Pour une faible variation de la pression, on peut en déduire (par dérivation) que le débit variera, en proportion, de moitié. La répartition longitudinale (cf. fig. 3.2) d'une tonne à lisier peut être mesurée suivant les tests décrits précédemment.

Débit (kg/s)

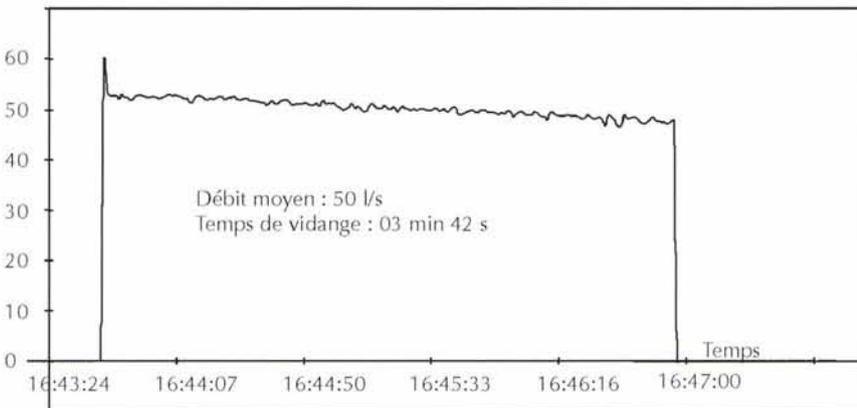


Figure 3.2 – Répartition longitudinale d'une tonne à lisier

Nous constatons que le débit de la tonne est régulier, si ce n'est qu'il subit une diminution progressive. Il faut remarquer que la pression du liquide en sortie de tonne est égale à la pression d'air en surface de liquide augmentée de la pression due à la hauteur de liquide surplombant. Pour une citerne d'un diamètre de 1,60 m, la variation de pression entre le début et la fin d'épandage sera de 0,16 bar. Elle est tout à fait indépendante du réglage du compresseur. Une compensation de cette perte de pression est possible par automatisme. Un flotteur placé dans la citerne est, dans ce cas, relié à un

mécanisme contrôlant la pression d'air. Quand le niveau de liquide baisse, le mécanisme va faire remonter progressivement la pression d'air pour compenser cette différence.

Le débit d'épandage est lié à la pression d'air dans la citerne, mais aussi à la viscosité du produit. Il dépend également de la section des orifices de sortie et des pertes de charge éventuelles dans le circuit.

En ce qui concerne la viscosité du produit, des mesures ont été effectuées en Suède (Malgreryd et Wetterberg, 1996). Ces chercheurs (ne disposant pas de rhéomètre) ont apprécié la viscosité par la mesure du temps d'écoulement d'un volume de 15,5 litres à travers un orifice de 40 mm de diamètre. Plus le temps d'écoulement est important, plus le produit est visqueux. La figure 3.3 montre que le débit de la tonne à lisier diminue quand la viscosité du liquide augmente (pour une même pression de réglage).

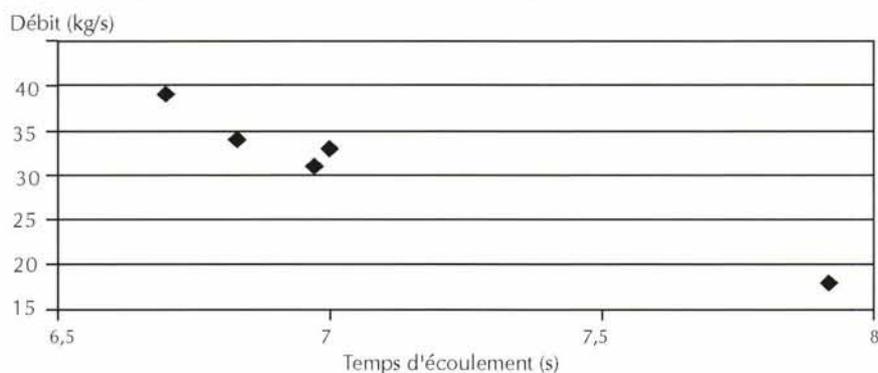


Figure 3. 3 – Débit de la tonne à lisier en fonction de la viscosité du liquide (d'après Malgreryd et Wetterberg)

3.2 Les épandeurs à pompe volumétrique

Les pompes volumétriques ont par définition une cylindrée constante (débit pour un tour). Le débit q (l/min) est donc proportionnel à la vitesse de rotation de la pompe N (tr/min). Avec la cylindrée C exprimée en litres, nous obtenons la relation suivante : $q = C \times N$

La pression d'utilisation dépend de la résistance à l'écoulement du liquide. Elle dépend donc de la section des buses d'épandage et de la viscosité du produit. Le raisonnement est inversé par rapport au cas du refoulement par pression d'air. Il faut choisir des buses d'épandage correspondant à une pression modérée (2 bars) car l'usure de la pompe et la puissance nécessaire à l'entraînement dépendent directement de la pression établie. Le tableau 3.1 récapitule ces caractéristiques pour le cas d'une pompe *Borger 1036*, qui a une cylindrée de 10,36 litres.

Vitesse de rotation de la pompe (tr/mn)	Débit (l/min)	Puissance consommée (kW) pour p=2 (bar)
100	1030	5,30
200	2060	10,56
300	3090	15,84
400	4120	21,30
500	5150	26,42
600	6180	31,68

Tableau 3.1 – Caractéristiques de fonctionnement de la pompe *Borger 1036*

Le débit étant facile à contrôler, il est donc aisé d'obtenir la dose recherchée lorsque la vitesse d'avancement et la largeur d'épandage sont stables. Lors des contrôles d'un épandeur muni d'une pompe volumétrique (Scottford *et al.*, 2001), les auteurs ont réussi à limiter les erreurs de réglage de dose à 1,5 %.

Les types de pompes utilisés sur les épandeurs sont les mêmes que ceux que nous avons décrits à propos des réseaux alimentant les épandages par tuyau ombilical. Elles équipent cette fois l'épandeur. La pompe colimaçon est largement utilisée dans certains pays d'Europe, mais peu en France. Nous avons par contre observé l'utilisation de pompes à lobes, en particulier sur le matériel *Terra Gator*. Avec cet équipement, il est possible de pomper des produits très visqueux, comme des vinasses ou des boues particulièrement épaisses. L'inconvénient principal des pompes volumétriques est lié à l'usure et aux dégâts que peuvent procurer la présence de corps étrangers dans les liquides pompés. Les graviers et autres corps étrangers rayent les surfaces des chemises et créent des fuites internes. Il faut donc toujours munir ces pompes d'un filtre (cf. photo 3.7).



Photo 3.7 – Pompe volumétrique et filtre [F. Chabot, Cemagref]

4 Les équipements d'épandage des tonnes à lisier

Divers équipements d'épandage peuvent être utilisés sur des tonnes à lisier. Ils sont responsables de la répartition transversale des liquides épandus. Ils ont aussi une influence sur l'émission d'odeurs et la volatilisation de l'ammoniac.

4.1 Les buses d'épandage

La buse d'épandage est l'équipement le moins cher. En projetant le liquide sous la forme d'une nappe, elle divise le produit qui tend à se vaporiser et à répandre de mauvaises odeurs. Les constructeurs ont proposé divers types de buse permettant de réduire le temps de séjour du liquide dans l'air : il s'agit des buses « ras du sol » ou des buses « de précision ». Certains spécialistes de l'épandage ont jugé lors de notre enquête que les performances de ces nouveaux équipements étaient satisfaisantes. Pour notre part, il nous apparaît que ces matériels sont tous inférieurs aux autres équipements d'épandage, ne serait-ce qu'aux rampes à buses.

Concernant la régularité d'épandage, la buse souffre de plusieurs défauts. Tout d'abord sa fixation présente l'inconvénient de ne pas permettre un calage précis dans le plan vertical et horizontal, ce qui fait que le jet d'épandage peut pencher sur un côté. La largeur de travail dépend de la pression de réglage et du bon positionnement initial. En outre, les buses ont souvent un profil de répartition en forme de M ce qui donne très peu de tolérance dans les recouvrements. Si les recouvrements sont trop serrés, les pics latéraux se cumulent. Dans le cas inverse, il s'établit un sous-dosage entre passages.

Pour cet ensemble de raisons, nous n'avons pas retenu de chantiers avec tonnes équipées de buse unique. Pour le lecteur désireux d'obtenir des informations sur ces équipements, nous le renvoyons à l'étude détaillée de la FAT (Frick, 1999). Il est néanmoins conseillé de posséder une buse à titre de secours. En effet, dans le cas d'un produit chargé, les rampes à pendillards ou les enfouisseurs peuvent s'avérer inefficaces. La buse permettra alors un dépannage occasionnel.

4.2 Les rampes à buses d'épandage

La rampe à buses (*cf.* photo 3.8) est un compromis entre la buse palette unique et la rampe à pendillards. Son intérêt majeur est de permettre la maîtrise de la largeur de travail, donc des recouvrements entre passages. Les jets sont beaucoup moins amples, plus près du sol que celui de la buse unique. Ceci réduit donc l'émission d'ammoniac et de mauvaises odeurs, mais de façon encore incomplète. Cette rampe est généralement préférée pour son prix très inférieur à celui d'une rampe à pendillards.



Photo 3.8 – Épandage avec rampe à buses [F. Chabot, Cemagref]

La répartition d'épandage de la rampe est déterminée par la combinaison des différentes buses. Le montage réalisé en usine doit permettre une bonne régularité d'épandage. Des tests ont été réalisés en août 2000 par la mission déchets de Seine et Marne (Delaporte, 2001). Il s'agit d'une rampe de 12 m, équipée de huit buses. Les résultats sont satisfaisants (cf. fig. 3.4) puisque le coefficient de variation obtenu est de 17 %.

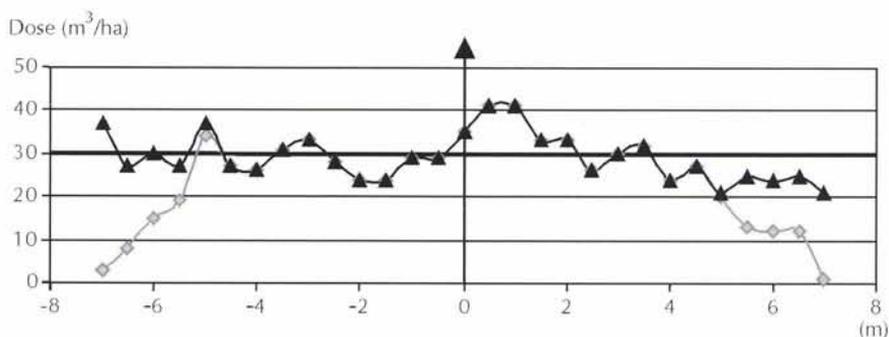


Figure 3.4 – Mesure de répartition avec une rampe à buses de 12 m, d'après F. Delaporte

Il ne faut cependant pas généraliser ces résultats favorables. Pour notre part, nous avons rencontré deux situations où la régularité s'est révélée décevante. Dans les deux cas, la cause du dysfonctionnement a pu être identifiée. L'expérience montre qu'il faut rester très vigilant sur le maintien en bon état de la rampe et des circuits hydrauliques.

Le premier cas concerne une rampe identique à celle testée en Seine et Marne. Le coefficient de variation obtenu est de 31,5 %, ce qui n'est pas

satisfaisant. En répétant ces mesures, les résultats se sont révélés encore plus défavorables. L'explication semble être liée au mauvais état du tuyau principal d'arrivée de la boue. Celui-ci a subi un choc et se pince d'autant plus qu'il se ramollit avec la température ambiante élevée. La rampe est donc mal alimentée et ne peut fonctionner correctement.

Dans un autre cas observé, l'irrégularité vient de ce que les jets se heurtent les uns les autres. La cause est imputable, ici, au montage réalisé à la construction qui engendre des surdosages aux divers points de collision. La figure 3.5 montre la courbe de répartition obtenue où les pics enregistrés coïncident avec les zones de rencontre des jets. Le coefficient de variation est de 36 %.

% de la dose moyenne

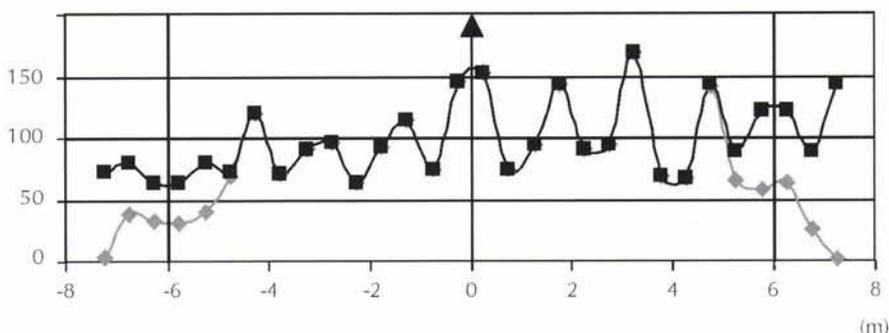


Figure 3.5 – Exemple de mauvaise répartition due aux collisions entre jets.

Nous signalerons un cas particulier de rampe à buses. Il s'agit de la rampe à « diodes hydrauliques » mise au point par le centre de recherches de Silsoe en Angleterre (Scotford *et al.*, 2001). Cette diode hydraulique (cf. fig. 3.6) est très semblable dans son principe à la buse utilisée par la Sesaer sur les rampes d'épandage. Une perte de charge est créée par un vortex, ce qui permet de calibrer le débit d'épandage en fonction de la pression. Ces buses sont placées tous les 38 cm et effectuent un épandage en bandes. Un coefficient de variation inférieur à 9 % a pu être enregistré dans les essais de régularité transversale.

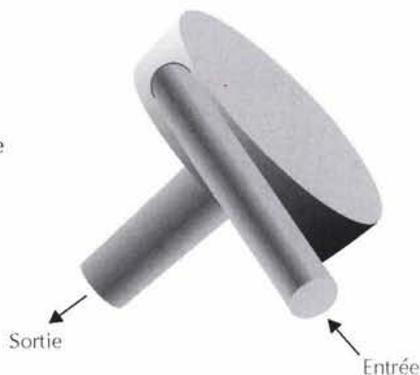


Figure 3.6 – Principe de la diode hydraulique

4.3 Les rampes à pendillards

La rampe à pendillards (cf. photo 3.9) s'appelle dans les autres pays la rampe à « tuyaux traînés ». Il faut, en effet, laisser l'extrémité des tuyaux reposer au sol pour que le liquide épandu ne salisse pas les feuilles de la végétation. Pour alimenter correctement chaque descente, il est nécessaire de disposer d'un ou deux broyeurs répartiteurs. L'ensemble reste cependant sensible aux bouchages avec des produits chargés. Une étude réalisée dans le Morbihan (Laisney et Verger, 2001) recense les problèmes liés aux différents produits. Le lisier de porc est fluide et procure peu de difficultés à l'exception du lisier de truies gestantes. Leur alimentation contient beaucoup de son qui se retrouve dans les déjections. En élevage de poules pondeuses, on peut rencontrer des colmatages provenant de coquilles d'œufs qui se prennent en masse et forment des blocs de calcaire. Quant au lisier de bovins, il est collant, donc le rinçage du broyeur répartiteur doit être réalisé quotidiennement. La paille et les plumes sont également des sources d'obstruction potentielles.

Le produit étant déposé au sol, l'épandage émet moins d'odeurs que lors de l'utilisation d'une rampe à buses. Sur le plan réglementaire, cet équipement est cependant assimilé à une rampe à buses, ce qui limite son expansion car il est nettement plus coûteux à l'achat. L'intérêt principal recherché est la possibilité de pouvoir réaliser des épandages réguliers en végétation. Ceci permet par exemple de valoriser utilement les lisiers par un épandage sur blé au printemps. À ce titre l'achat d'une rampe à pendillards peut être subventionné en fonction d'orientations définies régionalement ou sur l'ensemble d'un bassin versant.



Photo 3.9 – Rampe à pendillards [P. Lépée, Chambre d'agriculture de la Creuse]

La répartition dans la rampe à pendillards est assurée par la partie « répartiteur » du broyeur répartiteur. Sur le dispositif le plus diffusé actuellement, le système est constitué d'un rotor horizontal muni de deux bras équipés d'un couteau. Ils passent sur une grille et répartissent le lisier dans les orifices de sortie. Ce n'est donc pas un dosage volumétrique. C'est un compromis entre une bonne répartition du produit et sa bonne évacuation. En cas de blocage, l'inversion du rotor est pilotée par la montée en pression du circuit alimentant le moteur hydraulique d'entraînement. Les corps étrangers sont éjectés dans le carter supérieur qui fait office de bac à pierres. Notons l'existence d'un broyeur répartiteur vertical où le bac à pierres se situe dans la partie basse, ce qui procure une vidange aisée des corps étrangers recueillis.

La répartition est généralement jugée satisfaisante avec une rampe à pendillards. Nous avons mesuré la régularité transversale (cf. fig. 3.7) sur une rampe de 12 m, à 40 pendillards.

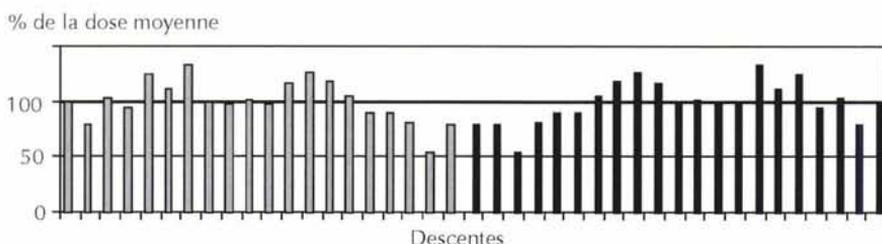


Figure 3.7 – Répartition de la rampe à pendillards (la mesure a été effectuée sur une demi-rampe uniquement).

Les mesures de répartition ont été effectuées sur une demi-rampe. La figure représente la courbe mesurée et sa courbe symétrique. Le coefficient de variation est de 19 %, ce qui est satisfaisant.

En observant la courbe, il semble que les pendillards les plus éloignés du broyeur répartiteur soient moins alimentés que les pendillards les plus proches. En effet sur cette rampe, nous avons deux broyeurs-répartiteurs, chacun placé au centre de la demi-rampe correspondante. Cette différence, assez peu perceptible dans ce cas, devient flagrante si nous nous référons à un essai effectué au Cemagref en 1999. Dans cet essai, nous comparons les résultats de deux rampes identiques, mais équipant deux tonnes différentes. Ici, nous avons un seul répartiteur à 40 sorties pour 12 m de rampe. La différence entre les deux résultats provient surtout du tuyau principal d'alimentation qui, dans un cas, est de 150 mm de diamètre et dans l'autre de 100 mm de diamètre.

Avec une alimentation en diamètre 150 mm, nous obtenons une répartition très satisfaisante (cf. fig. 3.8) pour laquelle le coefficient de variation est de 8,5 %.

% de la dose moyenne

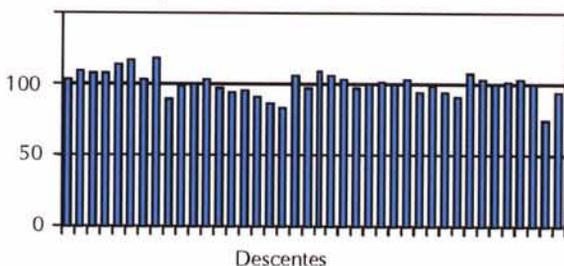


Figure 3.8 – Répartition satisfaisante d'une rampe à pendillards avec alimentation 150 mm.

Il apparaît qu'avec le tuyau de 100 mm, l'alimentation du répartiteur est insuffisante et qu'en conséquence les pendillards les plus éloignés de ce répartiteur ont un débit insuffisant (cf. fig. 3.9).

% de la dose moyenne

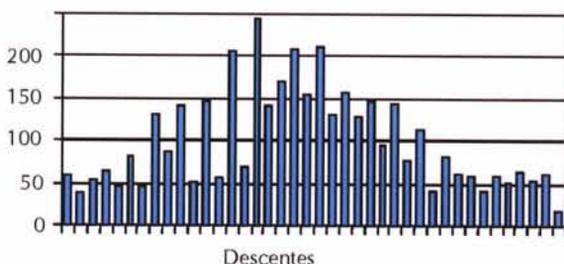


Figure 3.9 – Répartition non satisfaisante d'une rampe à pendillards avec alimentation 100 mm.

Toutes les rampes à pendillards sont munies d'un système anti-gouttes. Lorsqu'on replie la rampe, celle-ci est pincée ou retournée vers le haut. On peut ainsi circuler sur la route sans répandre de lisier. Ce support sert également à maintenir les tuyaux espacés d'une distance égale.

Un autre inconvénient des rampes à pendillards est de laisser le lisier en surface du sol, donc d'occasionner un risque sanitaire en cas de pâturage rapproché. Seul l'enfouissement isolera les germes pathogènes de la surface pâturée.

4.4 Les enfouisseurs

Il existe de nombreux types d'enfouisseurs parmi lesquels nous avons retenu trois catégories principales :

- l'enfouisseur-prairie à coutres circulaires ou patins ;
- l'enfouisseur-culture à socs ou à disques ;
- l'enfouisseur polyvalent à coutres circulaires et à socs.

Les **enfouisseurs pour prairies** doivent incorporer le produit liquide sans détruire l'implantation de l'herbe. Les enfouissements qui ont été réalisés à l'aide de dents à socs incorporent le produit en profondeur mais le passage de la dent et du soc détériore l'enracinement. Le chevelu racinaire est soulevé. L'herbe sera arrachée lorsque la prairie sera pâturée. Pour éviter cette dégradation, on préfère les enfouisseurs à coutres circulaires (disques plats) qui cisailent verticalement le sol sans détériorer le gazon. Le lisier est introduit par un soc injecteur étroit placé dans le sillage du coudre circulaire. Les éléments sont rapprochés, d'une distance de l'ordre de 20 cm. La profondeur de sillon doit être suffisante pour contenir le lisier apporté, en particulier pour les forts dosages par hectare.

Un dispositif plus superficiel est constitué de patins traînants, assez semblables à des sabots de semoir. Le sol est simplement griffé et le produit est déposé au pied des plantes. Le travail est propre, mais nous n'avons plus l'enfouissement qui apportait une garantie vis-à-vis des risques sanitaires.

Les enfouisseurs pour sol cultivé sont aussi de plusieurs types. Les enfouisseurs à dents (cf. photo 3.10) ouvrent le sol comme un cultivateur à dents. Il peut s'agir de dents rigides permettant un bon mélange terre-lisier ou de dents flexibles vibrantes qui procurent un bon affinement de la terre. Les enfouisseurs à disques optimisent le recouvrement. Le produit est déposé dans un sillon ouvert par un premier élément. L'ensemble est recouvert de terre par le travail d'un disque cannelé et est peu sensible aux bourrages dus aux résidus de récolte.



Photo 3.10 – Enfouisseur culture, chantier Épandage 2000 [F. Thirion, Cemagref]

Les enfouisseurs polyvalents (cf. photo 3.11) comportent des coutres circulaires (disques plats) de grand diamètre. Dans le sillon formé par le coudre circulaire, une dent munie d'un soc en forme de patte d'oie ouvre une cavité

qui va recueillir le lisier déversé. Ces matériels peuvent fonctionner sur prairie ou sur culture. Ils ont surtout l'avantage pour les entreprises d'éviter l'achat de deux enfouisseurs différents. Cependant en prairie, les lignes d'enfouissement sont beaucoup trop espacées (par exemple 75 cm au lieu de 20 cm) pour une fertilisation régulière.



Photo 3.11 – Enfouisseur polyvalent [F. Chabot, Cemagref]

La régularité de répartition que l'on peut constater entre les différents éléments est liée au fonctionnement du broyeur répartiteur similaire à ceux qui équipent les rampes à pendillards. Pour vérifier cette répartition de façon pratique, il faut effectuer la mesure des débits de chaque descente, ce qui se révèle une opération délicate. Dans un cas, nous avons fait débiter les différents tuyaux dans des réservoirs de 100 litres. Pour cela, il faut maintenir l'enfouisseur en position haute. Ceci n'est pas toujours possible car une sécurité peut débrayer le distributeur quand l'enfouisseur est relevé. Dans un autre cas, nous avons travaillé avec les enfouisseurs relevés de façon à passer juste au-dessus des bacs de mesure. Cette fois, le tracteur avance. Les bacs placés dans les passages de roues ont été enterrés pour permettre le passage de l'engin. La figure 3.10 représente le résultat des mesures de répartition sur un enfouisseur polyvalent.

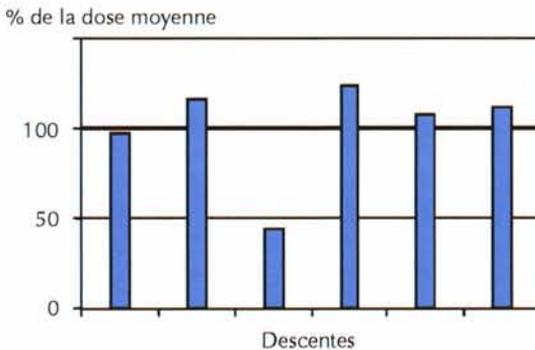


Figure 3.10 – Répartition avec un enfouisseur polyvalent

Le coefficient de variation est de 28,8 %. En fait, la répartition serait très régulière (9%) si le tuyau central gauche avait un débit similaire à celui des autres sorties. Cette sortie s'est avérée avoir un faible débit dans toutes les répétitions de mesure effectuées. Un examen du tuyau n'a pas montré d'obstruction particulière.

L'ensemble disque plat et soc crée un sillon bien marqué dans lequel le lisier s'écoule facilement. Cet avantage peut devenir un inconvénient en cas de pente où le liquide s'écoule et se concentre vers le bas du champ.

La figure 3.11 représente le résultat des mesures de répartition sur un enfouisseur culture.

% de la dose moyenne

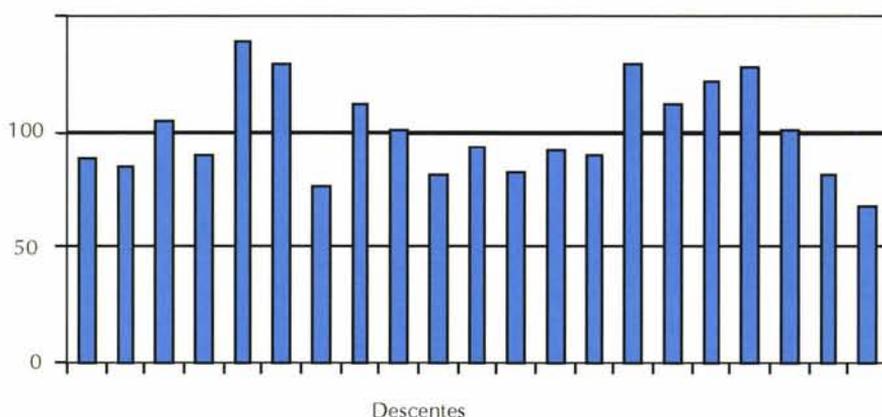


Fig. 3.11 – Répartition avec un enfouisseur culture

Le coefficient de variation est de 20%. La répartition est donc satisfaisante. Il faut rester vigilant vis-à-vis du bouchage des tuyaux. Les chauffeurs vérifient à chaque remplissage l'absence d'obstruction. Si un tuyau est bouché, il est plus foncé car la boue est restée à l'intérieur. En outre, le tube de sortie sera sec et propre après les frottements sur le sol.

5 Synthèse sur les épandages de produits liquides

L'inventaire des solutions existantes pour l'épandage des boues liquides et des lisiers montre la diversité des solutions. Dans la plupart des cas, il est possible d'obtenir une régularité de répartition satisfaisante. Cependant, il faut accorder une grande attention au maintien des équipements en parfait état.

Une déformation des équipements d'épandage, suite à un choc, va se répercuter sur la forme des jets qui en sont issus. Toute perturbation des écoulements va avoir des répercussions sur la répartition des débits dans les organes d'épandage. La présence de bouchage total ou de bouchage partiel va avoir des conséquences directes sur la régularité.

Pour éviter ces problèmes, il faut préparer sérieusement le produit à épandre par un bon brassage complété si nécessaire par un broyage. Les installations de pompage doivent être soignées avec la présence de crépines justement dimensionnées. Les systèmes de filtres et de bacs à pierres sont recommandés lorsqu'ils s'accordent bien avec le fonctionnement général de l'installation. Des rinçages et des nettoyages internes doivent être prévus. En outre, les chauffeurs doivent repérer les situations à risques (fonds de cuve, fosses de vidange, installations mal entretenues...) et vérifier le matériel après chaque épandage de ce type.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Cottais A., 2002, *Les différentes étapes de l'épandage du lisier sans tonne*. Dossier technique de la chambre d'agriculture du Morbihan, 9 p.
- Delaporte F., 2001, *Test de régularité d'épandage des boues produites par la station d'épuration de Château Landon*, Rapport Satese - MVAB77, 17 p.
- Frick R., 1994, *Techniques d'épandage du lisier – résumé des différents procédés*, Rapport FAT (Suisse) n°441, 12 p.
- Frick R., 1999, *Répartiteurs pour citernes à lisier*, Rapport FAT (Suisse), n°531, 38 p.
- Laisney D., Verger M., 2001, *Pour un bon épandage des lisiers*. Matériel agricole n°54, p. 41 à 46.
- Lejas I., 2000, *Épandre du lisier sans tonne*, La France Agricole, 10 mars 2000, p. 40.
- Malgeryd J., Wetterberg C., 1996, *Physical properties of solid and liquid manure and their effects on the performance of spreading machines*, Journal of Agricultural Engineering Research n°64, p. 289 à 298.
- Nosal D., 1987, *Étude comparative de pompes à piston tournant, de pompes à vis et de pompes centrifuges*, Rapport FAT (Suisse), n°308, 38 p.
- Parent E., Vidal G., 2001, *Épandage par rampe basse pression*, Actes du colloque «Logistique des épandages», Vichy 8 et 9 oct. 2001, p. 259 à 261.
- Scottford I.M., Cumby T.R., Inskip P.F., 2001, *Improving the control and accuracy of slurry spreaders*, Journal of Agricultural Engineering Research n°79 (2), p. 139 à 149.

L'ÉPANDAGE DES BOUES PÂTEUSES

L'épandage de boues pâteuses a toujours été perçu comme une pratique à problèmes. Des épandeurs spécifiques ont été conçus pour résoudre ces difficultés. Nous étudierons leur fonctionnement de façon détaillée afin de pouvoir évaluer leurs performances effectives vis-à-vis des produits pâteux qui correspondent à une vaste gamme de boues ni liquides ni solides.

1 Principe de fonctionnement des épandeurs spécialisés

Plusieurs types d'épandeurs ont été utilisés dans le passé pour épandre les boues pâteuses. À l'heure actuelle, nous avons pu recenser en France cinq marques différentes d'épandeurs spécifiques : *Duchesne*, *Gilibert*, *Hill*, *Le Bollan* (cf. photo 4.1), *Orange*. Ces matériels font tous partie de la même catégorie.



Photo 4.1 – Épandeur spécifique de boues pâteuses [F. Thirion, Cemagref]

Ces appareils fonctionnent, en effet, sur le même principe de projection à l'arrière de la remorque épandeuse. D'autres systèmes utilisés antérieurement fonctionnaient sur le principe d'une projection latérale répartie, soit sur toute la longueur de la caisse, soit localisée à l'avant de l'épandeur. Nos

observations portent sur le type d'appareil utilisé aujourd'hui dont le principe de fonctionnement est simple (cf. fig. 4.1).

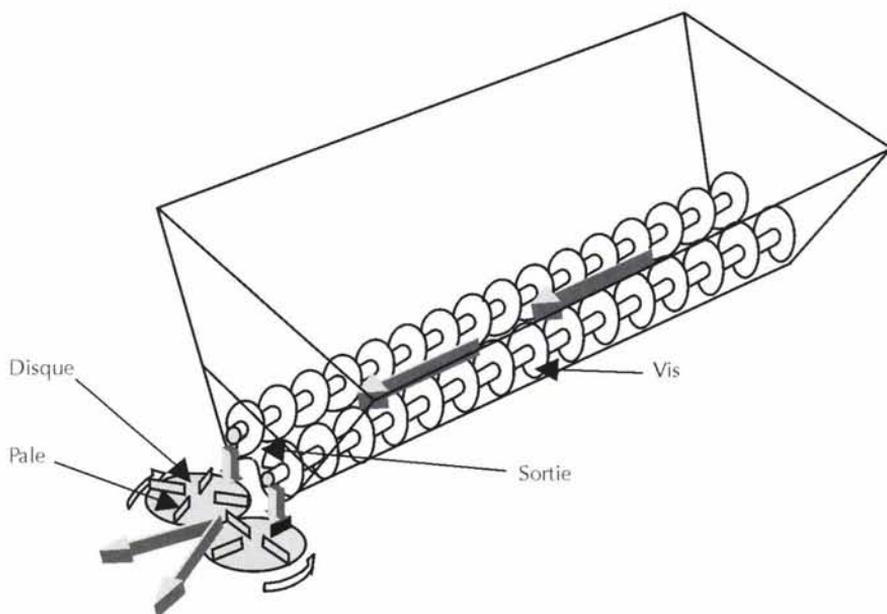


Figure 4.1 – Principe de fonctionnement des épandeurs à boues pâteuses

La boue est stockée dans une trémie (ou caisse) étanche. Sa forme en V permet d'éviter les angles morts et de centrer le produit sur les vis situées en fond de trémie. Une ou deux vis entraînent la boue vers la sortie dont l'ouverture est réglée par une trappe. À cet endroit, elle tombe sur deux disques en rotation. Elle est projetée sous la forme de nappe qui va recouvrir le sol à l'arrière de l'épandeur.

Les appareils proposés par les différentes marques se distinguent par quelques caractéristiques :

- nombre de vis (une ou deux) ;
- diamètre des vis (étagé ou non) ;
- vitesse de rotation des vis (ajustable ou non) ;
- vitesse de rotation des disques ;
- réglage de la table (support des disques) en position longitudinale, en inclinaison.

Il faut rajouter également divers éléments facilitant le travail d'épandage tels qu'un indicateur d'ouverture de la trappe arrière, une fermeture de la caisse par un couvercle, une grille de séparation des corps étrangers, un agitateur.

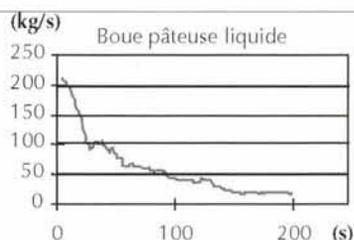
2 La distribution longitudinale

La distribution longitudinale est contrôlée par le travail des vis et l'ouverture de la trappe arrière. L'efficacité du dispositif est liée à la consistance du produit.

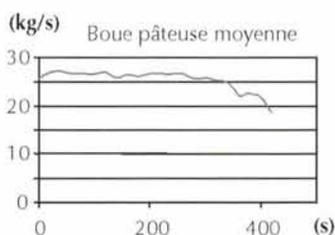
2.1 Les caractéristiques du débit

Nous avons tracé les courbes de répartition longitudinale pour un même appareil et un même réglage, mais épandant trois boues pâteuses de consistance différente. La figure 4.2 permet de comparer les trois résultats obtenus.

Avec cette boue fluide, le niveau du liquide s'égalise au chargement. Lorsqu'on ouvre la trappe pour commencer l'épandage, le débit est très important. Il diminue rapidement dans un premier temps, baissant de moitié en 30 secondes. Il continue ensuite à s'affaiblir progressivement. La répartition longitudinale est très mauvaise.



Avec cette boue pâteuse de consistance moyenne, le niveau dans l'épandeur est inégal mais présente des formes aplaties. Le débit de l'appareil est très régulier, sauf en fin de vidange où il faiblit partiellement.



La boue utilisée n'est pas solide car elle ne tient pas en tas de 1 m de haut. Par contre, le niveau dans l'épandeur garde les irrégularités produites par le chargement. Le produit s'écoule par à-coups. Des effets de voûte se produisent au dessus des vis. On constate de grosses augmentations de débit lors de l'effondrement de ces voûtes.

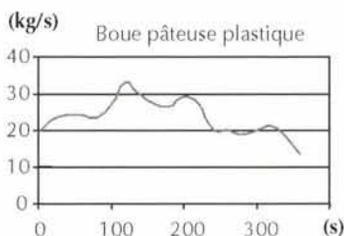


Figure 4.2 – Influence de la consistance de la boue sur la régularité longitudinale

Ces graphiques montrent la grande influence de la consistance de la boue (tout en restant dans la catégorie des boues pâteuses) sur la régularité longitudinale de l'appareil. Pour comprendre les raisons de ces variations, nous avons procédé à une simulation des écoulements dans un épandeur.

2.2 L'écoulement du produit dans la trémie

Il est possible de calculer les composantes de l'écoulement de la trémie à l'aide d'un logiciel de mécanique des fluides (Thirion, 2002). Le principe consiste à définir le volume de fluide concerné puis à le diviser en un ensemble de petits cubes ou mailles élémentaires. Le calcul effectue le bilan des actions appliquées sur chacune des six faces du cube, puis poursuit la résolution mathématique de proche en proche sur l'ensemble des mailles. La géométrie définie a été simplifiée en remplaçant les vis par un tapis qui entraîne la boue sans glissement. La figure 4.3 schématise le résultat obtenu pour trois boues différentes.

Les lignes de courant se dirigent directement vers l'ouverture de sortie. L'écoulement par gravité est prépondérant par rapport à l'écoulement forcé. Quand le niveau baisse l'influence de la pression due à la hauteur de fluide diminue et le débit se stabilise en partie. Le niveau de boue baisse en premier à l'arrière de la trémie. Les écoulements seront également très sensibles aux montées ou aux descentes dans la parcelle en cours d'épandage.

Avec une boue pâteuse moyenne les écoulements sont presque verticaux, si bien que le niveau reste pratiquement horizontal. La boue descend régulièrement dans la trémie et va progressivement remplacer celle évacuée par les vis (ici le fond mouvant).

Avec une boue pâteuse plastique, les écoulements sont concentrés vers l'avant de l'appareil. Le niveau baisse en premier à l'avant. Les faibles vitesses de circulation de la boue au milieu de la trémie peuvent expliquer les phénomènes de voûte.

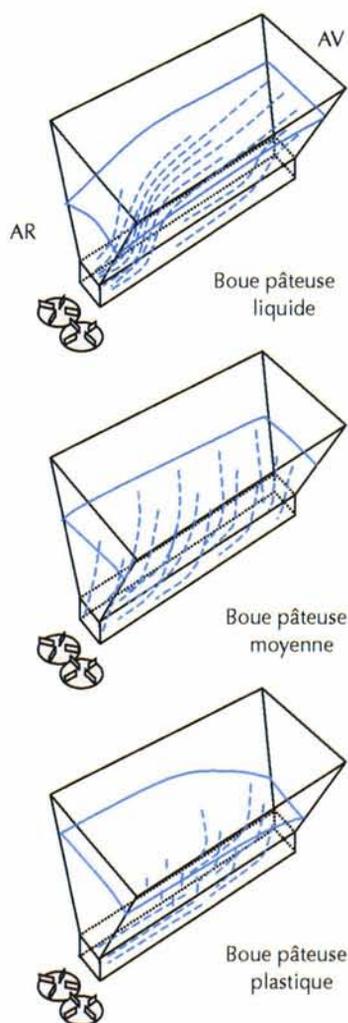


Figure 4.3 – Schéma des écoulements simulés de trois boues différentes

2.3 Contrôle du débit et de la dose

Les procédés de contrôle de débit mentionnés au chapitre 2 ne sont pas disponibles sur les épandeurs spécifiques des boues pâteuses. Le débitmètre ne peut évidemment pas convenir. La pesée pourrait être utilisée, mais n'a pas encore été installée sur l'un de ces appareils à notre connaissance. En fait, la densité des boues pâteuses est relativement constante et proche de 1. De ce fait, le recours à la pesée n'est pas impératif d'autant que le volume de boues chargé est connu (de 8 à 15 m³ suivant les appareils). Si le tracteur est muni d'un compteur de surface, on peut aisément vérifier que la dose épandue est correcte.

La difficulté vient plutôt de la variation de fluidité des boues. En effet, la qualité physique de la boue peut se modifier d'un jour à l'autre à la sortie de la station d'épuration. Des évolutions peuvent aussi survenir au stockage. Ceci va modifier le débit de la machine et l'erreur ne sera constatée qu'en fin de vidange de l'épandeur.

Un procédé de contrôle en cours de vidange a été élaboré par le Cemagref (Feurprier, 1996) et (Blanc, 1997). Il est basé sur l'utilisation de capteurs à ultra-sons. Ces capteurs mesurent la distance qui les séparent de l'objet visé (ici, la surface des boues dans la trémie de l'épandeur) en fonction du temps d'aller-retour des ondes émises. Il est ainsi possible de calculer le volume épandu en un temps donné. La figure 4.4 montre le montage réalisé.

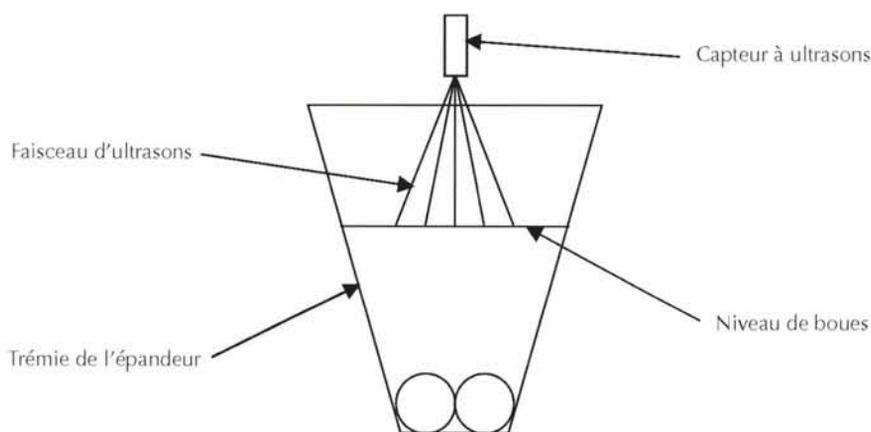


Figure 4.4 – Schéma de principe de mesure de débit par capteur.

Les essais ont montré qu'il faut installer trois capteurs sur la longueur de l'appareil car, comme nous l'avons vu dans la simulation précédente, le niveau ne descend pas de façon uniforme. Les mesures de niveau sont suffisamment précises pour indiquer correctement le volume épandu. En revanche, la pré-

cision n'est pas suffisante pour pouvoir ajuster automatiquement le réglage de l'appareil. Il est donc envisageable d'utiliser ce système comme une aide au réglage. Il permettra de disposer au cours de l'épandage de repères de contrôle échelonnés dans le temps. Ce procédé n'est pas commercialisé actuellement.

3 La distribution transversale

La distribution transversale est liée au travail des disques et aussi à leur alimentation. Il faut donc, au départ, un débit régulier pour obtenir une répartition transversale satisfaisante.

3.1 Les caractéristiques de la répartition transversale

Nous prendrons comme exemple une courbe de répartition, (cf. fig. 4.5) correspondant à un épandage de boues pâteuses avec une dose relativement faible de 12 t/ha. Nous obtenons un coefficient de variation de 18,7 % pour des passages espacés de 10 m. C'est donc une régularité satisfaisante.

% de la dose moyenne

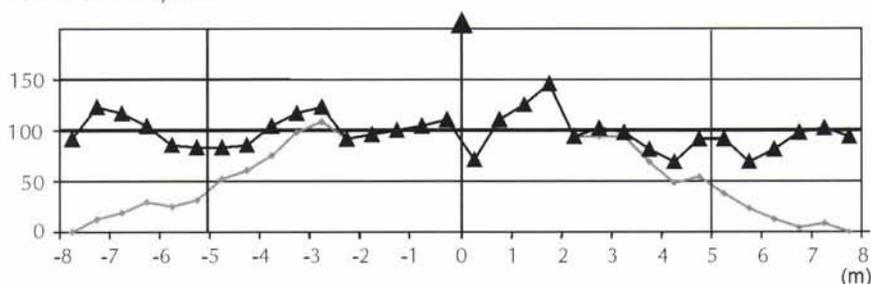


Figure 4.5 – Courbe de répartition transversale d'un épandeur de boues pâteuses

L'essai a été renouvelé avec une dose plus importante, soit 27 t/ha. Dans ce cas (courbe non représentée), la répartition était très mauvaise avec un coefficient de variation de 65 %. On constate un fort surdosage dans l'axe de passage et la présence de grosses mottes. Le défaut constaté semble dû au débit élevé. La boue déborde par-dessus les disques et tombe sans être projetée. Il conviendrait, dans ce cas, de réduire le débit instantané de l'appareil. Pour obtenir la dose voulue, il faudra aussi diminuer la vitesse d'avancement de la machine.

Des adaptations visant à améliorer la répartition transversale ont été proposées (Malgeryd et Petterson, 2001). Ces chercheurs ont travaillé sur du fumier semi-liquide et ont rencontré des problèmes similaires à ceux de l'épandage

de boues pâteuses. Le principe développé consiste à intercaler des hérissons démêleurs régularisant l'approvisionnement des disques.

La répartition dépend aussi de la viscosité de la boue. Une boue fluide engendre un épandage dense dans l'axe d'avancement. Avec une boue épaisse, l'épandage est plus fort sur les côtés. Pour analyser ce phénomène, nous avons procédé à une simulation numérique de l'écoulement.

3.2 L'écoulement de la boue sur le disque

Le Cemagref a réalisé une maquette à disque unique pour étudier les écoulements d'un produit pâteux sur les disques. Les prises de vues réalisées avec une caméra vidéo rapide montrent que la boue est saisie par la pale sans être véritablement recueillie par le disque. Elle est plaquée sur cette pale et s'écoule le long de celle-ci au fur et à mesure de la rotation (cf. fig. 4.6). La majorité du produit est projetée après une rotation de l'ordre de 180° (1/2 tour). À la sortie du disque, la nappe est continue, elle se déchire en mottes près de la périphérie.

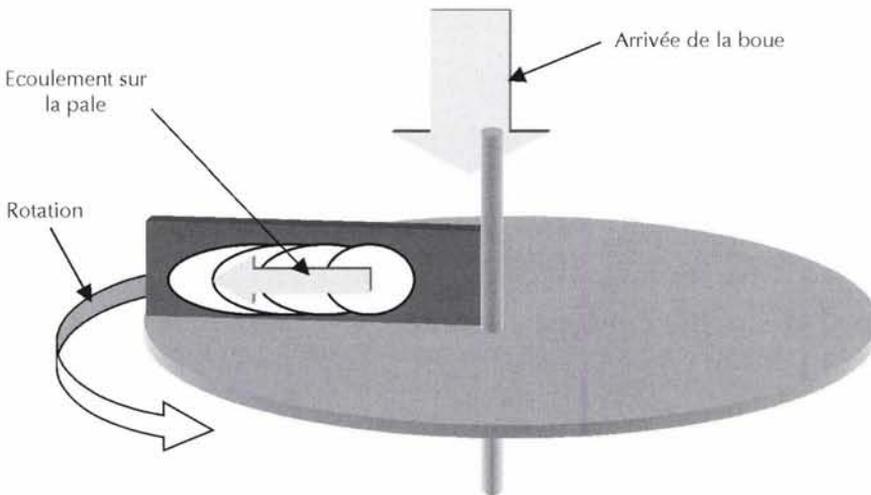


Figure 4.6 – Schéma de principe du fonctionnement du disque d'épandage.

Des photographies de la nappe projetée (cf. fig. 4.7) montrent que le jet est constitué de gerbes en forme de croissant. La direction de projection varie selon la fluidité du produit.

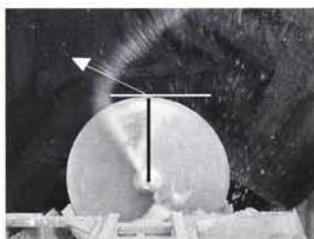
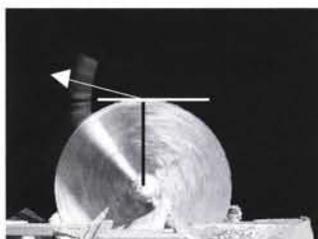


Figure 4.7 – Projection de boue fluide



Projection de boue épaisse

Les photographies ayant été prises avec un temps d'ouverture de $1/500^{\circ}$ de seconde, nous pouvons connaître les distances parcourues par les particules durant ce temps. Ces distances sont corrélées à la vitesse de déplacement par la formule : $d = v \cdot t = 0,002 v$. Nous pouvons en déduire les vitesses de projection présentées au tableau 4.1.

	Boue pâteuse fluide	Boue pâteuse épaisse
Angle avec la tangente	25°	10°
V tangentielle	16,65 m.s ⁻¹	16,65 m.s ⁻¹
V radiale	7,76 m.s ⁻¹	2,94 m.s ⁻¹
V totale	18,37 m.s ⁻¹	16,91 m.s ⁻¹

Tableau 4.1 – Vitesses de projection pour deux types de boues

Nous constatons qu'avec une boue visqueuse la vitesse radiale est faible. Cela signifie que la vitesse de déplacement sur la pale est également faible donc que la projection sera retardée. Dans ces conditions, la projection d'une boue pâteuse est déportée sur le côté pour deux raisons :

- la nappe sort plus tard du disque ;
- la nappe sort presque tangentiellement par rapport au disque.

Ces observations sont corroborées par l'analyse de la nappe au sol provenant d'un seul disque d'épandage (cf. fig. 4.8).

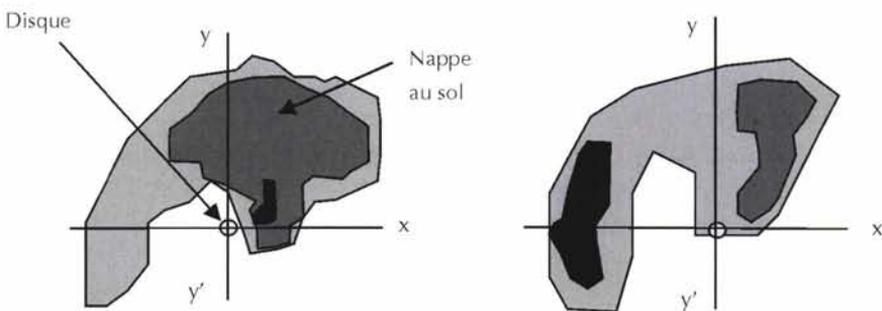


Figure 4.8 – Nappe au sol (boue fluide)

Nappe au sol (boue épaisse)

Avec une boue fluide, l'observation de la nappe au sol montre que la boue est majoritairement expulsée vers l'arrière, dans l'axe de l'appareil, soit après une rotation de l'ordre de 180° sur le disque. Une zone d'accumulation sur le coté droit, à proximité du disque provient de la chute de projections incontrôlées ou du freinage causé par le déflecteur.

Une observation comparable a été réalisée avec une boue pâteuse épaisse, l'observation montre une nappe décalée de façon angulaire et latérale. Ce constat confirme les hypothèses émises précédemment concernant les vitesses et directions de projection du produit en fonction de sa viscosité.

La conclusion à tirer de cette analyse c'est qu'il faut adapter le réglage des disques au produit à épandre. Pour un produit fluide il faut éviter qu'il sorte trop tôt de la pale et s'accumule dans l'axe d'épandage. Il faut donc que le produit chute assez près du centre des disques. Il aura ainsi le maximum de distance à parcourir avant d'être éjecté. Ce réglage est possible lorsqu'on peut avancer ou reculer la table d'épandage. À l'inverse, pour un produit épais, il sera préférable de reculer la table d'épandage pour que le produit tombe près de la périphérie du disque.

La simulation informatique montre aussi que l'augmentation de la vitesse de rotation des disques influe peu sur les directions de projection. Cependant, en augmentant la vitesse de rotation, on augmentera aussi la largeur de projection et surtout la finesse d'émiettement nécessaire à un bon épandage.

4 Synthèse sur l'épandage des boues pâteuses

4.1 L'épandage des boues pâteuses liquides

Les épandeurs de boues pâteuses étant étanches, il sera toujours possible d'épandre des boues pâteuses liquides, mais avec un très mauvais résultat. La photo 4.2 montre le chargement d'une boue pâteuse très liquide. Nous ne considérerons pas cette boue comme liquide car l'entrepreneur n'avait pas réussi à la pomper avec une tonne à lisier.



Photo 4.2 – Boue pâteuse liquide
[F. Thirion, Cemagref]

Dans ce cas extrême, les défauts mentionnés précédemment sont très accentués. Nous considérons, pour notre part, qu'il ne faudrait jamais arriver à de telles situations. Plusieurs raisons peuvent expliquer cet état :

- une pluie abondante peut diluer et fluidifier la boue stockée en plein air ;
- une fermentation anaérobie dans le tas entraîne une fluidification de la boue ;
- un produit chaulé peut se déstructurer lors de contraintes mécaniques si le mélange chaux – boue n'a pas été réalisé de façon suffisamment intime.

Il est donc important que le producteur de boues soit vigilant sur la tenue des boues produites. En cas de problème, il conviendra d'essayer des solutions alternatives avant de se résoudre à une pratique non satisfaisante. Il faut, par exemple, tester la possibilité d'utiliser un épandeur muni d'une pompe volumétrique. On peut aussi tenter de diluer le produit en injectant de l'eau au niveau du pompage. Une autre solution pourrait être l'utilisation d'une installation de déshydratation mobile pour reconditionner le produit.

D'une façon générale, il faut rechercher à éviter ces situations en revoyant la gestion de la filière.

4.2 L'épandage des boues pâteuses moyennes

Nous avons vu que, dans ce cas, il était possible d'obtenir de bons résultats concernant la régularité d'épandage. Un inconvénient trop fréquent avec ce type de produit est l'émission de mauvaises odeurs. Il n'existe pas de solution simple pour résoudre ce problème, si ce n'est un enfouissement immédiat.

Les soumissionnaires à ce type d'épandage peuvent aussi craindre l'instabilité de la production. On peut redouter des variations importantes dans la consistance au-delà des limites tolérables. La solution semble se situer dans une charte qualité entre producteur de boue et entrepreneur. Afin de pouvoir statuer sur l'état réel de la boue, et éviter les jugements subjectifs, on pourra recourir au test d'effondrement. En réalisant un test pour chaque lot de boue livrée, il sera possible de chiffrer la variation effective de consistance. On peut alors évaluer la proportion de boues non conformes livrées. Si la boue est trop fluide, l'entrepreneur ne sera plus tenu d'assurer le niveau promis de qualité. On pourra même aller jusqu'à l'attribution d'une prime complémentaire pour travaux difficiles.

4.3 L'épandage des boues pâteuses plastiques

Il s'agit généralement de boues chaulées, moins odorantes que les précédentes et souvent moins collantes. Leur épandage avec un épandeur spécifique des boues pâteuses peut se traduire par une mauvaise répartition et une forte

sollicitation de l'appareil. Il sera généralement possible d'utiliser un épandeur classique à fond mouvant à tapis et à table d'épandage. Il conviendra de s'assurer de sa bonne étanchéité.

Il existe une gamme d'appareils bien adaptés à ce type de produit, comme l'épandeur figurant sur la photo 4.3. Cet appareil est muni d'une caisse évasée et d'un tapis à barrettes en fond de caisse.



Photo 4.3 – Épandeur évasé (ancien modèle) convenant à l'épandage des boues pâteuses plastiques [J. Mazoyer, Cemagref]

Il faut donc éviter de globaliser la situation concernant les boues pâteuses. Il existe des situations où l'on peut réaliser un épandage correct. Cependant, les chantiers seront toujours délicats au niveau de la reprise des tas et de la circulation des engins si l'on veut réaliser un travail propre.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Blanc L., 1997, *Étude d'un capteur de débit et exploitation des données GPS lors des opérations d'épandage de boues de stations d'épuration*. Mémoire de fin d'études CUST- Clermont Ferrand, 106 p.
- Feurprier B., 1996, *Le recyclage des boues de stations d'épuration en agriculture, optimisation de la qualité et de la gestion des épandages*. Mémoire de fin d'études ITA – Dijon, 61 p.
- Thirion F., 2002, *Flow simulation in a sludge spreader*, Communication PM027 au colloque AgEng 2002, Budapest, 8 p.
- Malgeryd J., Petterson O., 2001, *Improved spreading technology for semi-solid organic fertilisers*, Seminar "Sustainable handling and utilisation of livestock manure from animal to plants", Horsens Denmark, Paper NJF 320, 6 p.

L'ÉPANDAGE DES BOUES SOLIDES ET AUTRES PRODUITS ORGANIQUES SOLIDES OU SECS

Les épandeurs de boues solides et de composts dérivent des épandeurs de fumier. Ils sont basés sur le même principe au niveau du dosage du produit. À la base de la caisse, un tapis à barrettes entraîne le chargement vers l'arrière de la machine où le produit sera déchiqueté et expulsé. L'entraînement de ce tapis par un moteur hydraulique permet une modulation continue de sa vitesse d'avancement. Cette vitesse conjuguée au réglage de la hauteur de la porte détermine le débit de l'appareil.

Les différences principales se situent au niveau du système d'épandage. Nous avons écarté le cas des épandeurs traditionnels à hérissons horizontaux dont les performances sont insuffisantes. Actuellement, il est en effet nécessaire, de disposer d'appareils pouvant disloquer des produits compacts, réaliser des épandages à faible dose comme à forte dose et atteindre des largeurs d'épandage d'au moins 6 mètres. Nous retiendrons donc deux types principaux d'épandeur (cf. photo 5.1) : les épandeurs à hérissons verticaux et les épandeurs à table d'épandage.



Photo 5.1 – Les deux types principaux d'épandeurs de produits solides [F. Gaillard, Cemagref]

1 Les épandeurs à hérissons verticaux

Sur les 3 900 épandeurs vendus en France en 2001, 2 680 étaient des épandeurs à hérissons verticaux : ceux-ci représentent donc la majeure partie du marché actuel. Les hérissons de ces épandeurs sont constitués de vis dont l'axe de rotation est vertical ou légèrement incliné vers l'avant de l'appareil. **Les couteaux** montés en périphérie de la spire découpent la masse du produit à épandre. Le produit est soit directement éjecté, soit recueilli par la vis. **La spire** joue alors le rôle d'une pale : le produit tend à remonter par l'action de la vis, tout en étant écarté de l'axe sous l'effet de la force centrifuge. En complément, la vis est munie à sa base de **plateaux** dotés de pales : ils récupèrent le produit qui chute du tapis et l'expulsent à la manière d'un disque d'épandage.

Il existe trois systèmes principaux d'épandeurs à hérissons verticaux.

- Les épandeurs à deux hérissons verticaux et caisse étroite sont munis de roues de grand diamètre, placées de chaque côté de la caisse. Ce montage permet une bonne stabilité de l'appareil dont le centre de gravité est bas, tout en limitant l'effort de traction. Les caisses de grand volume présentent une longueur importante qui engendre des frottements internes pouvant perturber la vidange. Leur efficacité est principalement reconnue pour l'épandage du fumier.
- Les épandeurs à deux hérissons verticaux et caisse large ont les roues placées sous la caisse. Ils peuvent présenter des volumes de caisse importants et être équipés de plusieurs essieux. Ces appareils intéressent les entrepreneurs réalisant de gros chantiers en zone de plaine.
- Les épandeurs à quatre hérissons verticaux utilisent une technologie plus ancienne. Ce procédé, moins coûteux à l'achat, est aussi moins performant en largeur de travail. Les axes des hérissons étant strictement verticaux, des à-coups importants se produisent lors de passage de blocs compacts.

Si l'on tient compte des différentes marques présentes sur le marché et des trois catégories d'épandeurs que nous venons de définir, on obtient alors un nombre très important de matériels que nous n'avons pas pu tous observer. Nous proposons donc les résultats détaillés d'**un essai réalisé au banc**, pour lequel nous avons choisi un appareil représentatif de la tendance actuelle. Il possède deux hérissons de grand diamètre, qui représentent une largeur totale supérieure à la largeur utile de la caisse. Ce procédé, mis au point par la société *Rock* permet d'augmenter les largeurs de projection. Il faut également remarquer que les spires composant les hérissons sont formées de tronçons à la manière d'un escalier hélicoïdal. Ces ressauts renforcent l'effet de pale joué par la spire du hérisson. Nous examinerons donc les résultats obtenus pour les confronter ensuite à nos observations de terrain.

1.1 Les résultats d'essais au banc (hérissons verticaux)

L'appareil testé est un épandeur *Rock Silex 2*, d'une capacité de 10 m³. Les deux hérissons verticaux ont une hauteur de 1,85 m et un diamètre de 1 m. Le produit épandu est de la boue solide originaire de la station d'épuration de Riom. Cette boue déshydratée par filtre presse présente une résistance à l'enfoncement de la pointe du pénétromètre de 60 kPa (jusqu'à 80 kPa). La boue utilisée pour le test ayant été manipulée plusieurs fois et ayant servi pour un premier étalonnage de l'appareil, sa cohésion a diminué. Elle est alors de 30 kPa seulement. La densité du produit est de 1,10.

Le réglage du débit diffère de celui souhaité malgré plusieurs ajustements. Pour se conformer à une dose usuelle de 30 t/ha, il a été fixé un objectif de débit de 75 kg/s. Après un premier essai, basé sur le calcul théorique, le débit obtenu est de 45 kg/s. Avec ce même réglage, la valeur rechute lors de l'essai final car le produit est nettement plus fluide. La vitesse du tapis est de 1,49 m/min. La porte est ouverte totalement.

1.1.1 L'essai de régularité longitudinale

L'épandeur et le tracteur sont placés sur des pesons (cf. photo 5.2). L'épandage est réalisé à poste fixe. L'essai final a été précédé de deux épandages préliminaires.



Photo 5.2 – Réalisation de l'essai de régularité longitudinale. [F. Chabot, Cemagref]

Les résultats sont représentés à la figure 5.1.

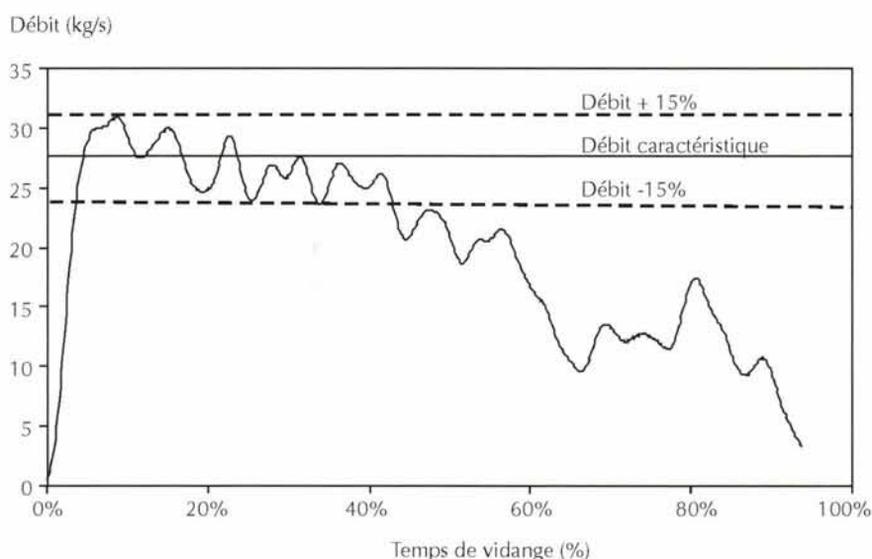


Figure 5.1 – Courbe de variation du débit durant le temps de déchargement (épandeur *Rock Silex 2*)

On peut d'abord remarquer que pour un débit calculé de 75 kg/s, le débit réellement atteint est de 27 kg/s. Il y a donc un cisaillement important qui réduit l'efficacité de l'entraînement de la masse de produit. La courbe obtenue possède une forme relativement classique bien que la phase médiane présente déjà une certaine décroissance. L'étendue dans la zone de tolérance est correcte. Le coefficient de variation est de 45 %, donc en excès de 5 % par rapport à la limite normalement admise (cf. tableau 5.1).

	Exigence de la norme	Résultat
Coefficient de variation	< 40 %	45 %
Étendue dans la zone de tolérance	> 35 %	39 %

Tableau 5.1 – Résultats de l'essai de régularité longitudinale

1.1.2 L'essai de régularité transversale

À partir des pesées effectuées après un passage unique de l'épandeur et en considérant différentes hypothèses de recoupement, nous obtenons les valeurs correspondantes des coefficients de variation (cf. fig. 5.2).

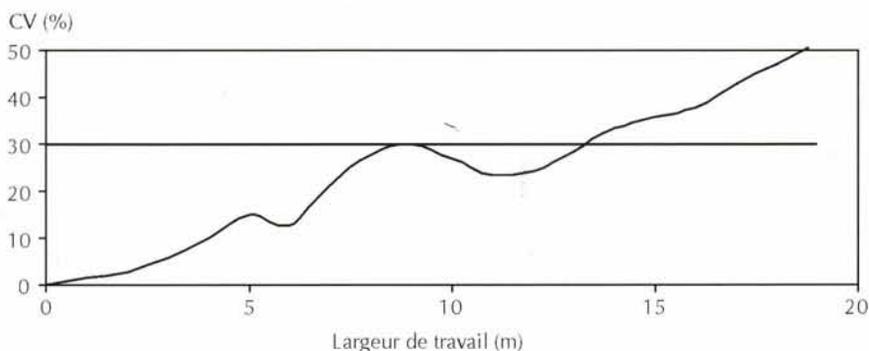


Figure 5.2 – Influence de la largeur de travail sur la valeur des coefficients de variation (épandeur Rock Silex 2).

Nous retiendrons une largeur de travail de 12 m qui est une distance usuelle de passages en culture. Il ne paraît pas utile de respecter la largeur optimale de 11 m car le gain de régularité serait très faible (1 %) et la distance d'écartement serait peu pratique à l'usage. La largeur de travail est donc très intéressante car exceptionnelle pour un appareil à hérissons verticaux. La courbe de répartition transversale correspondant à une largeur d'épandage de 12 m est représentée à la figure 5.3.

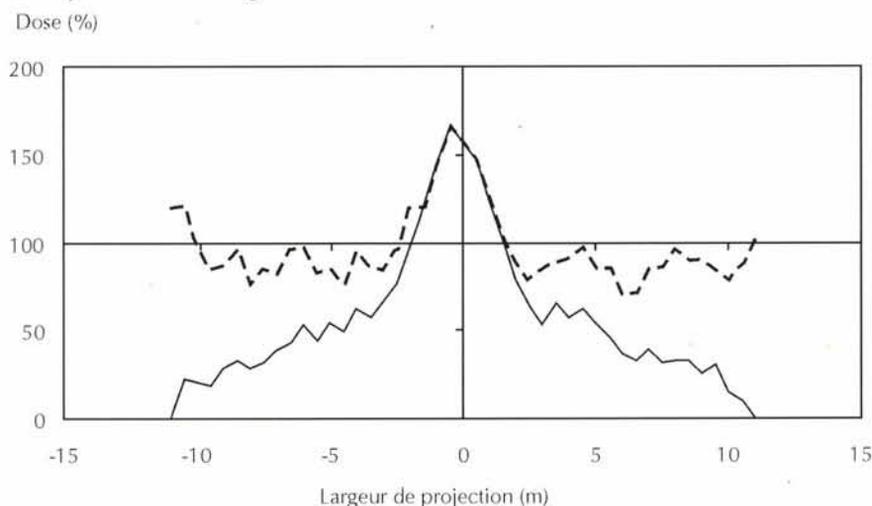


Figure 5.3 – Courbe de répartition transversale et simulation de passages tous les 12 m (épandeur Rock Silex 2)

La courbe de répartition montre une largeur totale de projection supérieure à 20 m. Après recouvrement, on constate le maintien d'un pic central sur la courbe des passages cumulés. Le coefficient de variation (24 %) est toutefois satisfaisant car inférieur à la limite de 30 %.

1.2 Les facteurs de régularité (hérissons verticaux)

Les résultats obtenus lors des essais au banc ne doivent pas être considérés comme représentatifs de l'ensemble des épandeurs à hérissons verticaux. Ils sont d'ailleurs influencés, pour un même appareil, par les caractéristiques physiques du produit, comme par la méthode de chargement ou le réglage adopté. L'effet de chaque paramètre d'épandage sur la régularité obtenue n'est pas connu aujourd'hui. Nous verrons les principaux facteurs de régularité qui ont pu être analysés à ce jour.

1.2.1 Paramètres influençant la régularité longitudinale

Les courbes de régularité longitudinale de tous les épandeurs présentent trois zones caractéristiques correspondant à trois phases successives de la vidange de la caisse. La première phase est liée à la mise en charge de l'appareil. Son temps est réduit par l'utilisation d'une porte. La deuxième phase, dite de débit caractéristique, correspond à une vidange relativement régulière. Dans la troisième phase, le débit va alors décroître progressivement lors d'une période plus ou moins longue. C'est la longueur de cette troisième phase qui est décisive pour la régularité longitudinale globale. L'influence de la cohésion du produit à épandre sur les courbes de débit peut être vérifiée en comparant l'épandage d'un fumier et d'un compost (Piron, 2001). Dans cet exemple, les courbes (non filtrées) sont données en fonction du temps théorique de vidange, c'est-à-dire correspondant à l'avancement du tapis sur une longueur de caisse. La figure 5.4 représente les courbes de répartition longitudinale d'un même appareil établies pour un fumier brut et un compost.

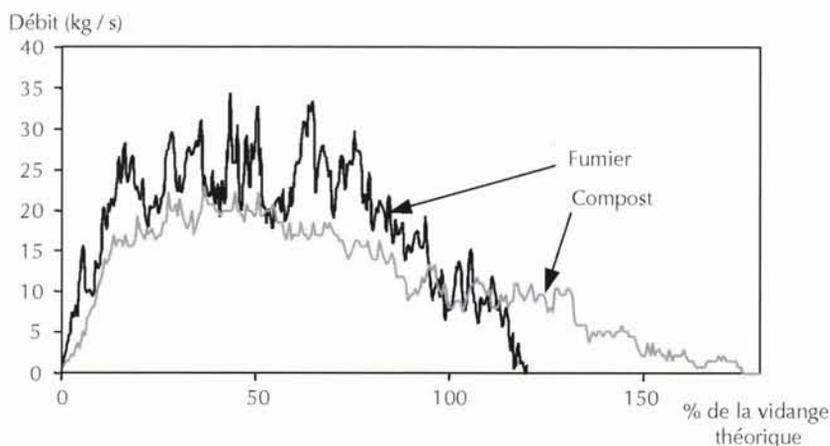


Figure 5.4 – Courbes de répartition longitudinale pour un fumier brut et un compost

Ces résultats montrent que pour un même réglage, le temps de vidange est plus important lors de l'épandage du compost. L'éboulement du tas

est accentué avec ce produit, donc la longueur à dérouler est augmentée. D'autre part, la masse de compost se cisaille, limitant le volume déplacé. Si ce glissement augmente en intensité au cours de la vidange (hypothèse proposée par E. Piron) le débit d'épandage diminuera d'autant. On observe généralement que les épandeurs à caisse longue et étroite offrent plus de résistance à l'avancement du fumier et devraient donc présenter des vidanges moins régulières. En réalité, les essais effectués ne permettent pas de fixer de loi générale reliant la géométrie de la caisse à la forme de la courbe de débit : d'où l'intérêt de se référer à des courbes d'essai longitudinal car elles seules peuvent rendre compte de la régularité de débit d'un épandeur au fur et à mesure du temps de vidange.

La diminution de débit au long du temps de vidange provient principalement de l'éboulement du tas dont la section diminue au niveau des hérissons. L'ensemble de la masse peut aussi s'affaisser régulièrement lorsque le produit est partiellement fluide. Il est donc difficile de maintenir un débit constant tout au long de l'épandage. Deux systèmes automatisés ont été proposés pour réguler le débit d'épandage. Le premier consiste à mesurer le couple aux hérissons et ajuster la vitesse du tapis lors des variations obtenues. Le second consiste à mesurer la masse indiquée par un « volet peseur » placé devant les hérissons et moduler la vitesse du tapis en conséquence. Ces systèmes restés à l'état de prototype ou de présérie ne peuvent être couramment utilisés aujourd'hui. En pratique, pour compenser cette baisse de débit, l'utilisateur peut accélérer le tapis en fin de vidange, mais cette manœuvre est peu précise car soumise à la seule appréciation du chauffeur. Le maintien de la porte en position semi-ouverte permet aussi de prolonger la phase de débit stabilisé. Cette pratique se développe pour l'épandage des composts où les efforts exercés sur la porte restent limités, donc ne risquent pas de la détériorer. Il faut évidemment étalonner à nouveau l'appareil chaque fois que l'on modifie cette hauteur de porte au travail.

L'importance des variations de débit durant la phase stabilisée d'épandage dépend également de l'homogénéité du produit épandu (Picaud, 2001). Avec le même épandeur, les pics observés sur la courbe de débit lors de l'épandage d'un fumier brut seront nettement atténués quand on épandra un fumier homogénéisé ou un compost. L'impact du type de produit sur la répartition apparaît cependant plus important au niveau transversal qu'au niveau longitudinal.

1.2.2 Paramètres influençant la régularité transversale

L'étude précédente (Picaud, 2001), qui porte principalement sur les épandeurs à hérissons verticaux, établit aussi des différences de régularité transversale entre différents produits épandus. Le tableau 5.2 présente les coefficients de variation pour des épandages réalisés avec le même épandeur à hérissons verticaux et différents produits.

	Fumier brut	Fumier homogénéisé	Compost
Élevage 1	c.v. = 30,65 %	c.v. = 21,20 %	
Élevage 2	c.v. = 40,21 %	c.v. = 34,76 %	c.v. = 34,69 %

Tableau 5.2 – Régularité transversale en fonction du produit épandu (d'après D. Picaud)

Le compost et le fumier homogénéisé s'épandent donc de façon plus régulière que le fumier brut. Avec celui-ci les mottes expulsées sont de dimensions irrégulières. Des paquets peuvent surcharger certains bacs de réception et contribuer à une augmentation de l'hétérogénéité. Les produits déjà émiétés ne présentent plus ce type de paquets et sont épandus de façon plus homogène.

Lors de cette même étude, des analyses ont été effectuées sur des échantillons prélevés à différentes distances de l'axe de l'épandage. Il s'agissait de vérifier si le tri des particules engendré par la projection ne causait pas une séparation des différents constituants donc une irrégularité transversale de la composition chimique. Avec du fumier de bovins, ces résultats ont montré que la composition du produit ne varie pas sur la largeur de travail de l'appareil. Ainsi, quelles que soient la dose et la position sur la largeur d'épandage, les pourcentages respectifs des constituants N, P, K, CaO, MgO et matière organique restent-ils identiques.

Une étude (Hansen, 2000) réalisée avec un constructeur danois a permis de mesurer l'effet de la conception de diverses pièces travaillantes sur la largeur de travail et la régularité obtenue. Il est apparu que la forme et la taille des couteaux fixés sur les hérissons jouent un rôle sur la largeur d'épandage. La figure 5.5 montre l'effet de deux couteaux différents sur la régularité transversale. En modifiant la forme des couteaux, il a été pratiquement possible d'augmenter la largeur optimale d'épandage de 2 m : elle passe de 10 à 12 m.

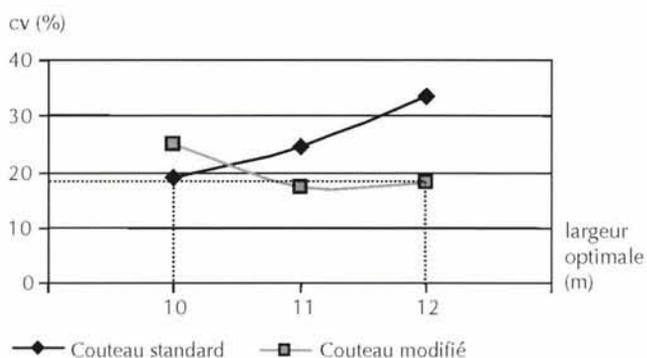


Figure 5.5 – Influence du type de couteaux sur la largeur optimale d'épandage (d'après M.N. Hansen)

Une analyse comparable a été rapportée concernant cette fois l'usure des couteaux (Hammelrath, 2001). Les observations effectuées sur deux campagnes d'essais réalisées dans l'ouest de la France ont montré que les épandeurs dont les hérissons sont équipés des couteaux les plus longs ont généralement une plus grande finesse d'épandage.

Les travaux de Hansen ont également montré l'influence des hérissons (position, vitesse de rotation, inclinaison) sur la projection. Les résultats obtenus ont servi de base à l'optimisation de l'épandeur testé par son constructeur.

1.3 Les résultats d'essais de terrain (hérissons verticaux)

Lors de notre enquête de terrain nous avons pu tester différents épandeurs à hérissons verticaux. Si ces chantiers ont concerné des boues solides, ces matériels sont aussi largement utilisés pour l'épandage de fumier (cf. photo 5.3).



Photo 5.3 – Épandage de fumier avec un épandeur à hérissons verticaux
[J. Mazoyer, Cemagref]

Dans les deux chantiers que nous avons pu observer avec des épandeurs à deux hérissons verticaux, les résultats obtenus sont juste satisfaisants, voire insuffisants. Dans le premier chantier, on obtient un coefficient de variation de 30 % sur la répartition transversale lorsque l'on choisit des distances entre passages inférieures ou égales à 7 mètres. Dans le second cas, les coefficients de variation restent toujours supérieurs à 30 % quelle que soit la distance entre passages. En réalité, cette irrégularité observée lors de nos mesures est liée à un bloc de 250 g tombé dans l'un des bacs. Si nous ne tenons pas compte de ce bloc, nous aboutissons à des passages tous les 8 mètres avec un coefficient de variation de 35 %. Dans les deux cas, l'hétérogénéité est due en grande partie à un émiettement insuffisant. On trouve dans certains bacs des blocs qui perturbent la régularité globale de la courbe obtenue.

Nous avons également observé un appareil muni de quatre hérissos verticaux. Dans ce cas, les mesures mettent en évidence une largeur d'épandage assez faible. La largeur optimum est de 6 m pour un coefficient de variation de 24 %. Avec le même produit, des boues de papeteries et un épandeur à table d'épandage, nous pouvons espacer les passages de plus de 15 mètres tout en gardant un coefficient de variation inférieur à 20 %.

1.4 Conclusion sur les épandeurs à hérissos verticaux

D'une façon générale, nous avons pu remarquer que les épandeurs à hérissos verticaux peuvent épandre des boues, mais dans des conditions souvent juste satisfaisantes. Le produit est peu émiétté et des mottes subsistent venant perturber la régularité. La largeur optimale d'épandage s'avère souvent plus faible que celle prévue par l'utilisateur. Ces largeurs de travail se situent généralement entre 6 et 8 mètres. La vidange des caisses étroites est gênée par d'importants efforts sur les parois, voire même des effets de voûte se produisant dans la caisse.

Toutefois, ce serait une erreur de vouloir exclure ce type d'appareil de l'épandage des boues solides. Le résultat obtenu, lors de nos essais au banc, est en effet fort intéressant avec une largeur d'épandage de 12 mètres qui dépasse les valeurs habituelles. Ceci montre l'intérêt des essais normalisés et devrait inciter les constructeurs à développer cette pratique. Il est, en effet, difficile aujourd'hui de se baser sur de simples témoignages lorsque la largeur d'épandage est fréquemment confondue avec la largeur de projection. De même en ce qui concerne la régularité longitudinale, les courbes obtenues par essai au banc conservent tout leur intérêt tant que nous ne pourrons pas relier les performances de régularité à la géométrie de la caisse.

2 Les épandeurs à table d'épandage

Les épandeurs à table d'épandage que nous avons pu observer sont tous des épandeurs à caisse large et hérissos horizontaux. Le montage de table d'épandage sur des caisses étroites à hérissos verticaux est fort récent et nous n'avons pu obtenir un appareil de ce type à tester. Les différents types de table d'épandage se distinguent surtout au niveau des rotors d'épandage. Il existe des tables à deux rotors qui mesurent chacun de l'ordre d'un mètre de diamètre et il existe des tables à quatre rotors dont le diamètre est moitié moindre. Les rotors actuels sont généralement constitués d'un disque muni de plusieurs pales. Il peut aussi s'agir de turbines où les pales en rotation raclent le produit sur une surface plane qui a donné son nom à la table d'épandage.

Comme pour les épandeurs à hérissos verticaux, nous avons effectué l'essai au banc d'un épandeur très utilisé pour l'épandage des boues solides et des

composts. Celui-ci est équipé de deux disques d'épandage comme le montre la tendance actuelle.

2.1 Les résultats d'essais au banc (table d'épandage)

L'appareil testé est un épandeur Tebbe HKS 100, d'une capacité de 10 m^3 . Les deux disques de la table d'épandage ont un diamètre de 1 m (cf. photo 5.4). Le produit épandu est de la boue solide originaire de la station d'épuration de Riom. La boue utilisée pour le test a été manipulée plusieurs fois et a servi pour un premier étalonnage de l'appareil, sa cohésion a diminué. Elle est alors de 30 kPa seulement. Cette boue est devenue particulièrement collante. La densité du produit est de 1,10. La vitesse du tapis est de 1 m/min. La porte est ouverte totalement. Le débit obtenu est conforme au débit théorique calculé.



Photo 5.4 – La table d'épandage à deux disques de l'épandeur *Tebbe HKS 100*
[F. Chabot, Cemagref]

2.1.1 L'essai de régularité longitudinale

La figure 5.6 indique le résultat de l'essai de régularité longitudinale réalisé au banc.

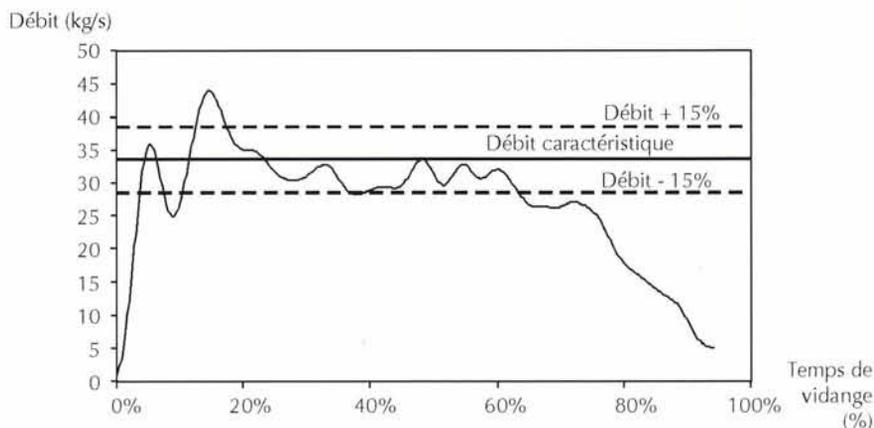


Figure 5.6 – Courbe de variation du débit durant le temps de déchargement

Les résultats obtenus sont conformes aux normes. L'étendue dans la zone de tolérance est de 48 % c'est-à-dire supérieure au seuil plancher (35 %). Le coefficient de variation est de 39 % donc juste inférieur à la limite de 40 % à ne pas dépasser. La courbe obtenue présente une forme relativement favorable bien que l'essai ait été entaché par un mauvais fonctionnement au niveau des hérissons et de la hotte. Le produit a tendance à coller dans la hotte en formant des amas importants. La rotation des hérissons est alors soumise à une forte contrainte qui provoque le ralentissement du moteur du tracteur. Lorsque cette masse se détache de la hotte, l'épandeur reprend son fonctionnement normal. On peut donc conclure que le résultat est satisfaisant, même si le produit utilisé a entraîné des perturbations par rapport au fonctionnement normal.

2.1.2 L'essai de régularité transversale

À partir des pesées effectuées après un passage unique de l'épandeur et en considérant différentes valeurs de recouvrement, nous obtenons les valeurs correspondantes des coefficients de variation (cf. fig. 5.7).

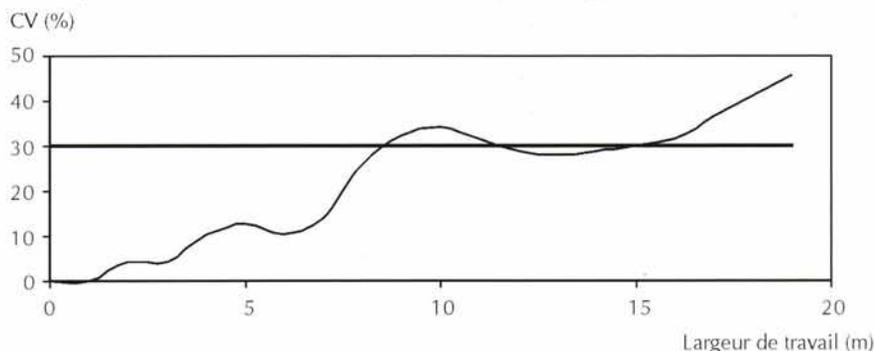


Figure 5.7 – Influence de la largeur de travail sur la valeur des coefficients de variation

Nous retiendrons une largeur de travail de 14 m qui est aussi une distance usuelle d'écartement de passages en culture. La courbe de répartition transversale correspondant à une largeur d'épandage de 14 m est représentée à la figure 5.8.

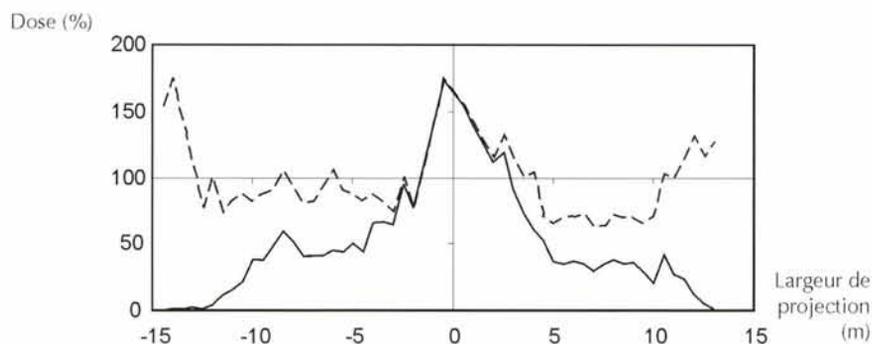


Figure 5.8 – Courbe de répartition transversale et simulation de passages tous les 14 m (épandeur *Tebbe HKS 100*)

La courbe de répartition transversale est marquée par un pic central provenant de la chute de blocs près de la table. Des masses importantes, collées dans la hotte, chutent par à-coups sur les disques d'épandage. À chaque fois, une partie de la boue déborde sur les côtés de la table. Le résultat est cependant correct puisqu'on peut utiliser une largeur de travail de 14 m avec un coefficient de variation égal à 29 %.

2.2 Les facteurs de régularité (table d'épandage)

Les facteurs de régularité longitudinale sont similaires à ceux observés pour les épandeurs à hérissons verticaux. On peut noter cependant que les caisses utilisées sont des caisses larges où les glissements du produit par rapport au tapis d'entraînement sont modérés. Les épandages sont en outre très souvent réalisés avec la porte partiellement fermée de façon à limiter le débit et la dose à obtenir. Ces facteurs sont donc favorables, mais ne peuvent constituer une garantie de régularité. Il est important de réaliser des essais longitudinaux pour chaque type d'épandeur, avec les principaux produits à épandre. Nous détaillerons les principes de projection de la table d'épandage qui se répercutent essentiellement au niveau de la répartition transversale.

2.2.1 Principe de fonctionnement de la table d'épandage

Le principe de fonctionnement d'un disque d'épandage de boue solide ou de compost est similaire à celui observé sur les disques d'épandage des boues pâteuses. Il faut remarquer deux différences significatives : le produit tombe sur une surface importante, généralement égale à la moitié du disque et non dans une zone concentrée parfois assimilée à un point de chute, d'autre part, le produit ne s'écoule pas sur la pale, mais glisse avec plus ou moins de frot-

tement selon la matière épanchée. L'observation des gerbes émises à l'épandage montre toutefois des phénomènes comparables à ceux observés pour des boues pâteuses au point de vue des vitesses et des directions de projections. En partant de ces considérations, nous pouvons tracer une **projection théorique** (cf. fig. 5.9) pour une table d'épandage. Nous analyserons ensuite les variations que l'on peut observer sur des appareils en fonctionnement.

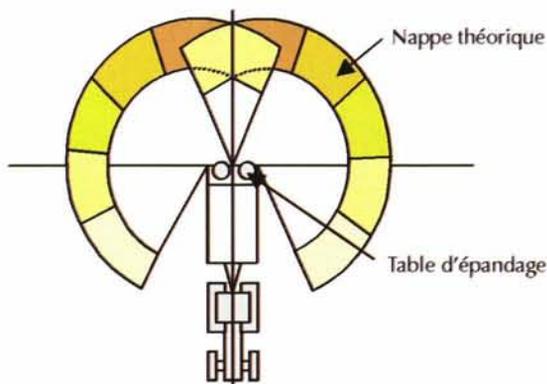


Figure 5.9 – Principe de projection d'une table d'épandage

Les nappes que nous pouvons observer dans la réalité (cf. photo 5.5) diffèrent plus ou moins de cette construction théorique.



Photo 5.5 – Photographie d'une nappe réelle épanchée à poste fixe
[F. Chabot, Cemagref]

Sur cette photographie la nappe réelle est proche de la nappe calculée. Il s'agit, dans ce cas, d'un compost calibré. Les particules projetées ont des dimensions voisines, ce qui procure une nappe relativement concentrée.

La largeur de la nappe dépend directement de la vitesse d'éjection et de la hauteur d'éjection. En effet, les particules suivent leur trajectoire à une vitesse horizontale constante et chutent en même temps. Elles suivent donc une parabole (cf. fig. 5.10). Dans ce raisonnement, on ne tient pas compte de la résistance de l'air qui peut cependant être décisive pour des produits de faible densité.

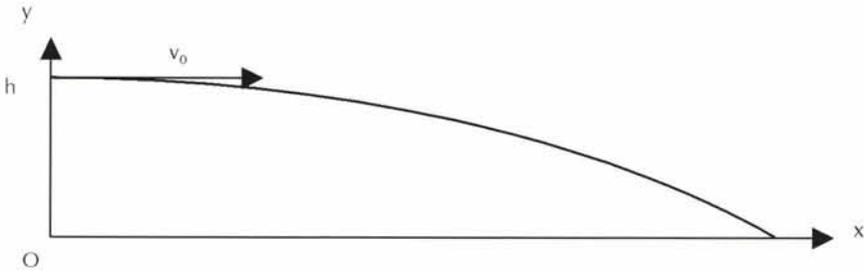


Figure 5.10 – Trajectoire du produit éjecté par la table d'épandage

Nous avons donc les deux équations :

$$y = h - \frac{1}{2} g t^2 \text{ et } x = v_0 \cdot t$$

Ceci permet de déterminer la distance théorique de projection.

si $y = 0$, on obtient $x = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}$

En réalité, la distance calculée correspond à l'éjection des mottes les plus compactes. Sur sol lisse, ces mottes glissent ou ricochent. On peut donc observer des nappes plus ou moins larges suivant la nature de la surface du terrain. D'autre part, les mottes fines sont freinées par la résistance de l'air et sont éjectées moins loin que la couronne de bordure. Il y a donc un tri par taille de mottes qui s'effectue.

Si nous reprenons le schéma de principe de projection d'une table d'épandage, en traçant des bandes longitudinales et en affectant des coefficients à chaque zone de débit, on peut simuler une courbe de répartition (cf. fig. 5.11).

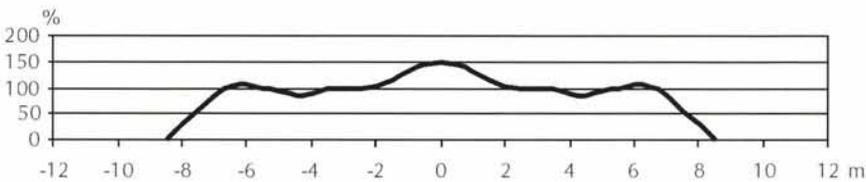


Figure 5.11 – Courbe de répartition déduite de la nappe théorique

La courbe de répartition réelle de l'épandeur observé précédemment (cf. fig 5.12) est assez proche du résultat théorique car les écarts locaux sont en fait statistiquement annulés lors d'une projection à poste fixe.

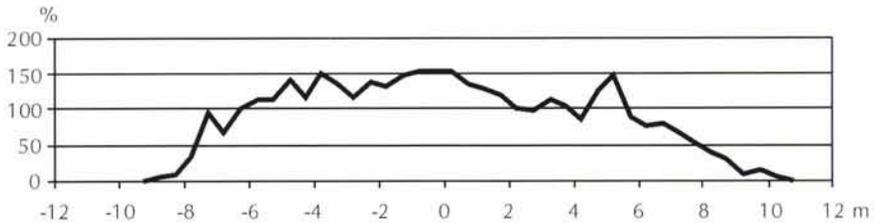


Figure 5.12 – Courbe de répartition réelle de l'épandeur présenté sur la photo 5.5

Étant donné la convergence entre l'analyse théorique de l'épandage à poste fixe et les résultats des mesures de répartition transversale, nous pensons que cette approche possède un intérêt indéniable pour la compréhension du fonctionnement de la table. En effet, l'analyse d'une irrégularité de répartition est peu aisée lorsque l'on dispose uniquement de la courbe de répartition transversale. Cela devient moins incertain quand on peut observer la répartition cumulée au sol lors d'un épandage statique. Nous avons donc poursuivi cette approche afin d'identifier les principaux phénomènes qui régissent le fonctionnement effectif des tables d'épandage.

2.3.2 Analyse du fonctionnement effectif de la table d'épandage

1 – Cas d'une faible accumulation dans l'axe de passage

Nous avons réalisé des photographies d'une table d'épandage en fonctionnement avec du compost. Elles nous renseignent sur l'éjection réelle du produit. Ces photographies n'ont pas une netteté suffisante pour être reproduites ici, mais elles permettent de déterminer les caractéristiques des gerbes projetées : vitesse d'éjection, angle de projection, distance entre gerbes...

La différence entre la projection effective et la projection théorique provient principalement des perturbations imposées à chaque gerbe. Ces perturbations peuvent apparaître sur les photographies lorsque, par exemple, des mottes de compost, restant au milieu de la table d'épandage, obstruent le passage. Une partie des mottes est soit stoppée, soit ralentie par cet obstacle. On observe sur les photographies des mottes présentant des vitesses lentes et projetées à faible distance. Elles vont créer un surplus d'épandage le long de l'axe de la machine. La nappe observée au sol (cf. fig. 5.13) montre donc une zone d'accumulation dans l'axe d'épandage.

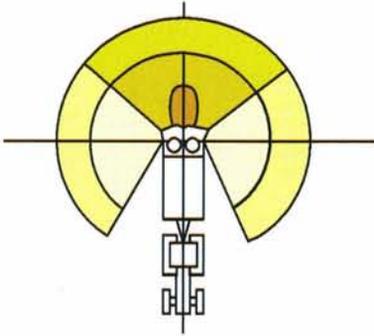


Figure 5.13 – Nappe observée après un épandage à poste fixe

À partir de ce schéma, en traçant des bandes longitudinales et en affectant des coefficients à chaque zone de débit, on peut simuler une courbe de répartition (cf. figure 5.14).

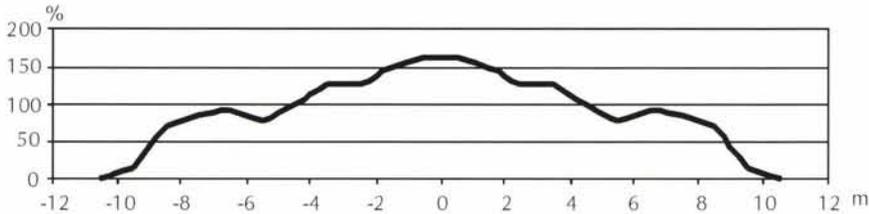


Figure 5.14 – Courbe de répartition déduite de l'observation de la nappe (cas d'une faible accumulation dans l'axe de passage)

Des mesures de répartition effectuées à l'aide de bacs lors de l'avancement de l'épandeur confirment cette forme générale de la courbe. La quantité de produit recueillie est renforcée au centre. La répartition reste satisfaisante, puisque pour des passages éloignés de 14 m, le coefficient de variation est de 16%.

L'hypothèse de perturbation des projections par des dépôts obstruant le passage du produit projeté est confirmée par l'observation d'une projection de fumier pailleux non collant. La table est alors beaucoup plus propre qu'avec du compost collant. Les gerbes ont une forme régulière et débutent nettement avant l'axe de symétrie. Sur la plate-forme d'essais, après un épandage prolongé à poste fixe, on ne remarque plus d'accumulation dans l'axe d'épandage.

2) Cas d'une forte accumulation dans l'axe de passage

Il s'agit également d'une table à deux rotors ayant chacun trois pales racleuses. La table (cf. fig. 5.15) présente deux différences principales par rapport à celles observées précédemment :

- le front de la table est droit, sans échancrure ;
- la vitesse de rotation est inférieure (5,4 tr/s).

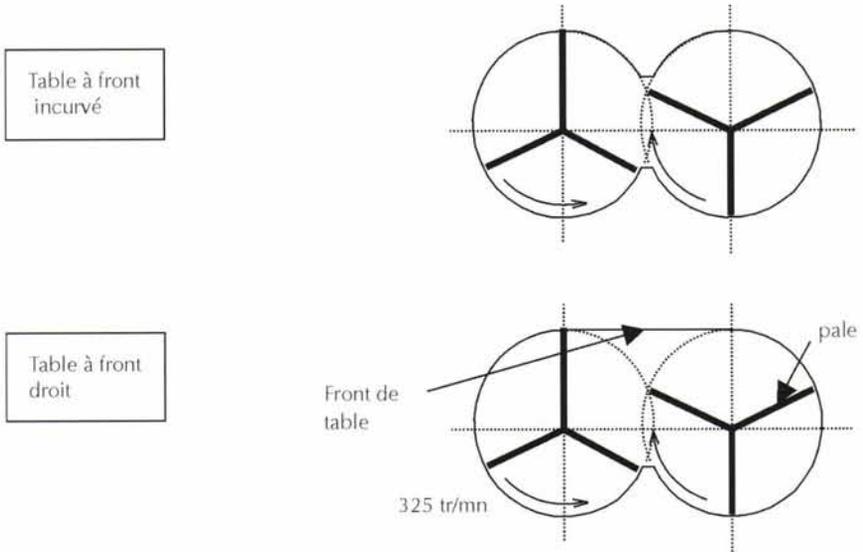


Figure 5.15 – Schéma des deux types de tables d'épandage utilisés

Il se produit dans ce cas une accumulation de produit au centre du front de table. En effet, cet emplacement n'est pas raclé par les pales et du produit s'y accumule. Un petit amas de compost collant se crée à cet endroit et bloque les projections dont il barre la trajectoire. Par moments, ce tas est repoussé et chute à moins de 2 mètres de l'arrière de l'épandeur. Ces projections courtes de grosses mottes sont très visibles lorsque l'on observe l'appareil au travail. La nappe au sol montre une forte accumulation de produit dans l'axe de projection. Si l'on épand à poste fixe, on peut observer en fin d'épandage (cf. fig. 5.16) une accumulation de produit de plus de 60 cm de haut à environ 2 m derrière l'appareil.

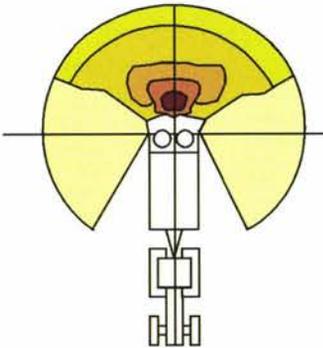


Figure 5.16 – Schéma d'une nappe au sol observée avec la table à front droit

À partir de ce schéma, en traçant des bandes longitudinales et en affectant des coefficients à chaque zone de débit, on peut simuler une courbe de répartition (cf. fig. 5.17)

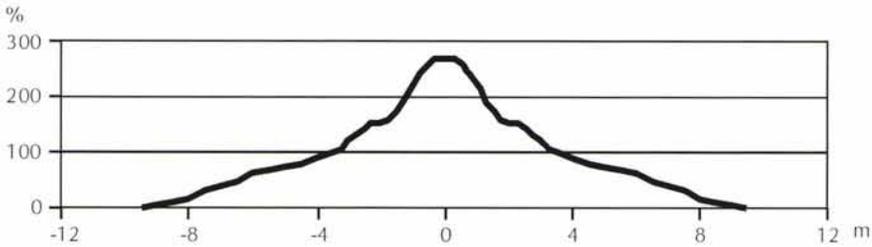


Figure 5.17 – Courbe de répartition déduite de l’observation de la nappe (cas d’une table à front droit)

Des mesures de répartition avec pesée de bacs confirment l’existence d’un pic central. Ce pic détériore la régularité puisque nous obtenons un coefficient de variation de 45 % pour des passages espacés tous les 10 m.

3) Le cas des tables à quatre rotors

Les tables à quatre rotors sont équivalentes à deux tables à deux rotors juxtaposées. Les diamètres sont deux fois plus petits. Les rotations peuvent être convergentes ou divergentes (cf. fig. 5.18).



Figure 5.18 – Les deux types de rotation des disques

Par rapport aux tables à 2 rotors, les rotors doivent tourner deux fois plus vite pour obtenir une vitesse d’éjection similaire.

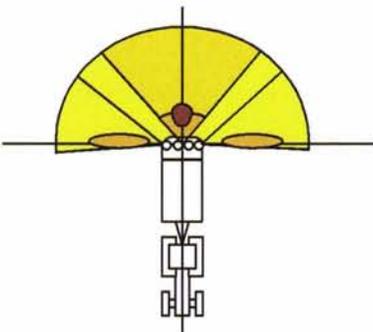


Figure 5.19 – Schéma d’une nappe au sol observée avec une table à 4 rotors convergents

La nappe au sol obtenue avec une table à 4 rotors (cf. fig 5.19) présente des zones d'accumulation caractéristiques. Celles-ci sont dues aux interférences entre jets. Les risques de perturbation de la nappe sont plus importants qu'avec 2 rotors.

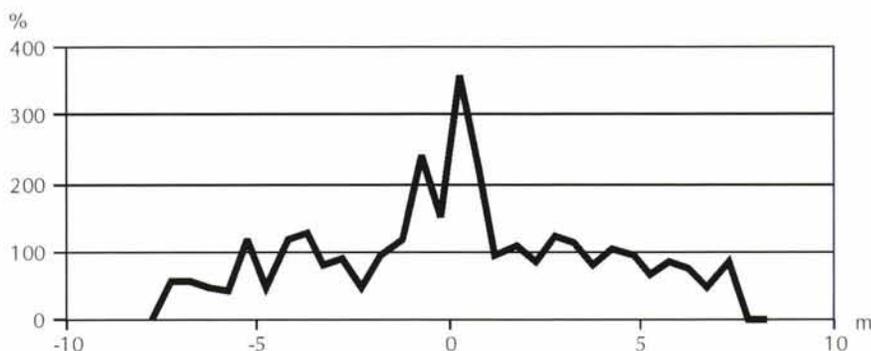


Figure 5.20 – Courbe de répartition mesurée avec une table à 4 rotors

Lors du test d'un autre appareil de ce type, la courbe de répartition mesurée (cf. fig. 5.20) montrait un fort pic central. Deux légers pics s'observent à 4 m environ de l'axe d'épandage. Il convient de préciser qu'avec la même table d'épandage et un produit plus délité, nous avons obtenu la même forme de courbe, mais très atténuée.

2.2.3 La conception des tables d'épandage

Des informations complémentaires nous sont données par une étude sur la conception d'une table d'épandage en vue d'optimiser l'homogénéité de la répartition (Lambot, 1999). L'analyse montre la difficulté à établir des lois de correspondance entre la géométrie de la table et les courbes de répartition obtenues. L'auteur compare divers résultats de tests d'épandage (fientes sur copeaux) qui font apparaître quelques tendances énoncées avec beaucoup de réserves :

- les tables à quatre disques favoriseraient la présence d'un pic central sur la courbe de répartition ;
- la largeur optimale d'épandage pour les tables à deux disques serait plus grande que pour les tables à quatre disques ;
- un plus grand nombre de pales favoriserait une meilleure répartition ;
- une tôle latérale courte favoriserait la qualité d'épandage ;
- une zone de point de chute orientée davantage vers la caisse de l'épandeur favoriserait également la qualité d'épandage.

Cette première analyse est complétée par une étude expérimentale sur l'orientation des pales. Les pales ne sont généralement pas radiales. Elles possèdent un angle de retard de quelques degrés. Sur la table d'épandage

étudiée cet angle était réglable, ce qui a permis d'examiner le rôle de cet angle de retard. Lorsque les pales sont en position radiale, l'on favorise l'épulsion latérale en freinant l'avancement du produit sur la pale. On peut alors observer des pics latéraux sur la courbe de répartition transversale. Ces pics risquent de se cumuler avec ceux des passages adjacents provoquant alors une hétérogénéité notable. Par contre, lorsque les pales sont réglées avec un retard important, la projection dans l'axe d'avancement de l'épandeur augmente car le produit s'échappe facilement. L'auteur recommande donc une position intermédiaire correspondant à un angle de retard de 15° .

Les deux types de rotors existants (turbine à pales raclées ou disques) ne sont pas comparés dans l'étude précitée. (cf. figure 5.21)

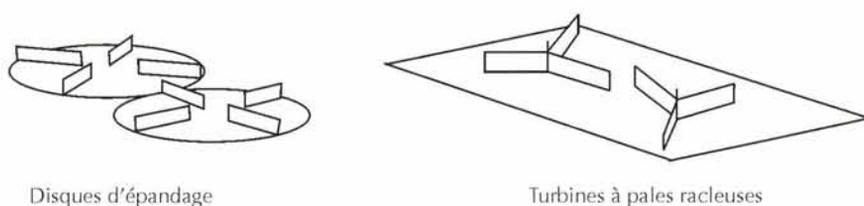


Figure 5.21 : Schéma des deux types de rotors pour table d'épandage.

Nous pouvons considérer qu'avec une pale raclée, le produit frotte sur la table. Il est freiné dans son déplacement. Ce système requiert une puissance supplémentaire d'entraînement due à ces frottements. La table s'use. Les dépôts s'agglomèrent facilement.

Le disque d'épandage est par contre plus fragile. Du produit peut se coincer entre la table et le disque. Ce système permet le réglage de l'angle des pales. Il est moins soumis aux perturbations dans les projections de produit. Avec ce dispositif, des particules peuvent être éjectées du bord du disque avant d'avoir rejoint la pale. Dans ce cas, la vitesse tangentielle est plus faible, donc la nappe se déforme. Pour éviter ce phénomène, il faut un nombre suffisant de pales et une bonne alimentation de la table.

2.3 Les résultats d'essai de terrain (table d'épandage)

Les épandeurs à table d'épandage forment la catégorie de matériel la plus représentée dans notre échantillonnage. Ce type de matériel est, en effet, très apprécié pour l'épandage des boues et des composts qui constituent la partie la plus rémunératrice de l'activité d'épandage. Nous avons ainsi pu observer treize chantiers différents sur lesquels ce type d'appareil était utilisé. Sur ces treize chantiers, neuf marques différentes d'épandeurs étaient employées. En outre, il faut observer la présence de trois automoteurs (cf. photo. 5.6).



Photo 5.6 – Épandeur automoteur à table d'épandage [F. Thirion, Cemagref]

L'ensemble des mesures effectuées aboutit à des **résultats satisfaisants** sauf dans un cas expliqué par un mauvais réglage de l'appareil. Le tableau 5.3 récapitule les résultats obtenus.

Résultat (c.v.)	Produit épandu	Dose
28 % pour 12 m	Compost de déchets verts	10 t/ha
15 % pour 10 m	Boues solides urbaines	15 t/ha
68 % pour 8 m	Boues solides urbaines	30 t/ha
14 % pour 10 m	Fumier de poules	15 t/ha
22 % pour 8 m	Compost de fumier de bovins	15 t/ha
30 % pour 12 m	Boues solides urbaines	30 t/ha
22 % pour 8 m	Écumes de sucrerie	15 t/ha
30 % pour 8 m	Compost de boues et déchets verts	15 t/ha
30 % pour 10 m	Boues de papeterie	20 t/ha
20 % pour 16 m	Compost de boues et déchets verts	15 t/ha
30 % pour 18 m	Mélange à base de fientes	5 t/ha
30 % pour 12 m	Suint potassique	25 t/ha
22 % pour 12 m	Boues de papeterie	20 t/ha

Tableau 5.3 – Résultat des observations de terrain

Les largeurs de travail que nous indiquons ici sont les largeurs optimales calculées pour une précision satisfaisante et un espacement assez large. Dans la pratique, l'entrepreneur n'a pas toujours choisi cette largeur optimale. On peut estimer que jusqu'à 30 % de coefficient de variation, la répartition paraît satisfaisante à l'observation visuelle. Il sera donc difficile de différen-

cier un épandage à 15 % d'hétérogénéité d'un autre à 25 % d'hétérogénéité sans effectuer de mesure. Ceci sera d'autant plus vrai que les doses appliquées sont faibles. Toutefois, des hétérogénéités supérieures à 50 % sont normalement bien visibles et doivent alerter l'entrepreneur.

Il faut également considérer la **tolérance admissible sur la largeur de travail**. Dans le cas où l'on obtient des pics latéraux dans la courbe de répartition transversale, la présence de ces pics est dangereuse, car elle peut fortement réduire la tolérance de largeur pour les distances entre passages. Pour un recoupement mal choisi, les pics s'additionnent et provoquent une irrégularité importante. Ainsi, dans l'unique essai que nous avons réalisé avec du compost de fumier, nous avons obtenu, pour ce compost, les coefficients de variations suivants :

- 20 % pour une largeur de travail de 8 m ;
- 30 % pour une largeur de travail de 12 m ;
- 22 % pour une largeur de travail de 16 m.

Dans ce cas, la largeur usuelle de 12 m est donc déconseillée.

L'influence du produit épandu sur les résultats apparaît nettement. Dans les résultats obtenus, nous avons observé le même appareil en épandage de suint potassique et de boues de papeterie. Le premier produit est compact et résistant. À l'épandage, il forme des blocs de la taille d'une orange qui roulent et ricochent sur le sol. La présence d'un bloc en plus ou en moins dans un bac fait rapidement évoluer le niveau de régularité calculé. À l'opposé, les boues de papeterie utilisées dans le deuxième cas sont friables et non collantes. Tout le produit est finement divisé à l'épandage. Nous obtenons ainsi un coefficient de variation de 30 % pour le suint potassique contre 22 % pour les boues de papeterie.

Une observation similaire a été constatée avec des boues urbaines où nous avons obtenu un bon résultat avec 15 % de variation seulement. Ce produit, qui contient 40 % de chaux vive est solide, sans odeur et non collant. Pourtant, nous avons effectué une deuxième mesure avec des boues provenant d'un tas voisin qui, a priori, ne présentait pas de différence notable par rapport au tas précédent. Dans ce cas, le coefficient de variation est de 36 %, ce qui est trop élevé. L'observation du produit dans les bacs utilisés pour ces mesures a montré que les boues provenant du deuxième tas étaient plus humides et collaient aux parois de ces bacs. À l'épandage, des mottes ne sont pas disloquées et altèrent la régularité.

L'influence de la dose épandue sur la régularité d'épandage est moins directe. En revanche, elle complique l'observation de la régularité au champ. Si l'on effectue des tests pour un épandage à faible dose, par exemple 4 t/ha, les quantités recueillies dans chaque bac sont très faibles (100 g par bac en

moyenne pour 4 t/ha). Les irrégularités sont invisibles à l'œil nu. Les pesées doivent être très précises en respectant le tarage de chaque bac. Ces épandages sont effectués à vitesse importante, il en résulte que la quantité recueillie peut provenir de la vidange de trois ou quatre pales seulement. Dans ces conditions, il sera difficile d'obtenir de très bons résultats avec un produit qui n'est pas parfaitement homogène, calibré et dosé. Il faut réfléchir alors à d'autres possibilités d'épandage comme l'emploi de vis utilisées pour l'épandage de chaux. Une approche du même type a été proposée par l'université de Kassel (Stieg *et al.*, 1998) qui a conçu un système d'épandage dont les disques sont déportés latéralement. Ces disques sont alimentés par une vis doseuse transversale. Le montage s'est révélé particulièrement intéressant pour lutter contre les effets négatifs du vent latéral.

2.4 Conclusion sur les épandeurs à table d'épandage

Pour un bon fonctionnement de la table d'épandage, il faut un ensemble de conditions nécessaires qui dépendent soit du concepteur, soit de l'utilisateur. Ceci permet d'énoncer quelques règles principales.

- Le produit doit être broyé finement et amené régulièrement sur la table.
- Le produit doit tomber sur l'avant de la table (repéré selon le sens d'avancement).
- Le produit ne doit pas s'accumuler dans les zones de projection.
- La vitesse de rotation doit être rapide pour permettre une projection longue.
- La table doit être suffisamment haute.

Il faut également maintenir le matériel en bon état. Des pales trop usées conduisent et éjectent mal le produit. Nous avons aussi observé qu'un trou de 5 cm de diamètre dans la table laissait passer environ 250 kg de produit sur un chargement de 10 tonnes. Cette quantité peut paraître faible, mais le produit en chutant laisse une ligne surdosée au sol. Un rapide calcul montre que, lors d'un contrôle de régularité, le bac concerné recevra de l'ordre de 60% de supplément de produit. Ceci affectera donc largement la régularité globale.

Avec ces précautions, il est réaliste de prétendre à un épandage avec des coefficients de variation inférieurs à 30%. La distance entre passages (ou largeur d'épandage) variera généralement de 12 à 16 m (sauf en fumier de poules ou autres produits légers). Néanmoins, nous restons réservés sur des épandages réalisés à faible dose d'autant que leur contrôle est très délicat.

3 L'épandage des boues séchées

Les boues séchées ne font pas partie de la catégorie des boues solides car leur procédé d'obtention et la formulation obtenue sont spécifiques. Nous avons cependant réuni les deux types de produit dans un même chapitre afin de simplifier la présentation.

Au Cemagref de Clermont Ferrand, des essais ont été réalisés en 1992 sur des boues sèches granulées. Le principe de ces essais reposait sur le protocole appliqué aux engrais minéraux. Les caractéristiques physiques du produit sont les suivantes :

- densité : 0,662 ;
- D50 : 4,42 mm (50% des granules ont un diamètre inférieur à 4,42 mm. 50% des granules ont un diamètre supérieur à 4,42 mm) ;
- étalement granulométrique : 3,22 mm (c'est la différence D90 – D10) ;
- taux de casse 1,7% (Refus au tamis de 1,6 mm après un passage forcé dans un coude standardisé) ;
- sphéricité 57% (Mesure par roulement sur une surface standardisée) ;
- taux de matière sèche : 94,55%.

L'épandage est réalisé avec un distributeur d'engrais centrifuge porté. Le produit s'écoule régulièrement. Le résultat est très satisfaisant malgré une poussière assez abondante. Ces essais prouvent que le type de granulé étudié est **équivalent en qualité physique aux granulés d'engrais minéraux**. Il est en effet possible d'épandre ces boues granulées sur une largeur utile de travail comprise entre 20 et 25 m avec un coefficient de variation compris entre 8,5 et 13 % (cf. fig. 5.22).

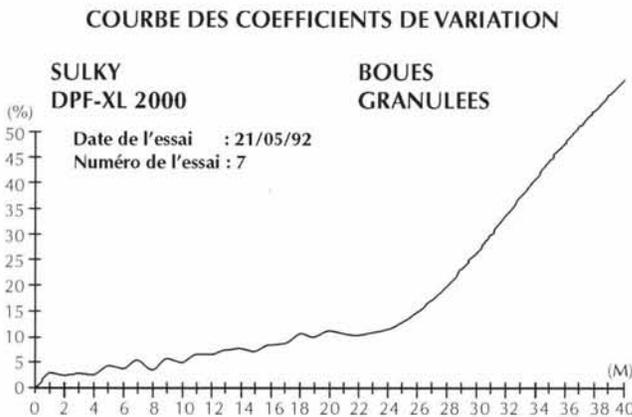


Figure 5.22 – Influence de la largeur de travail sur la valeur des coefficients de variation.

La courbe de répartition transversale correspondant à une largeur d'épandage de 24 m est représentée à la figure 5.23.

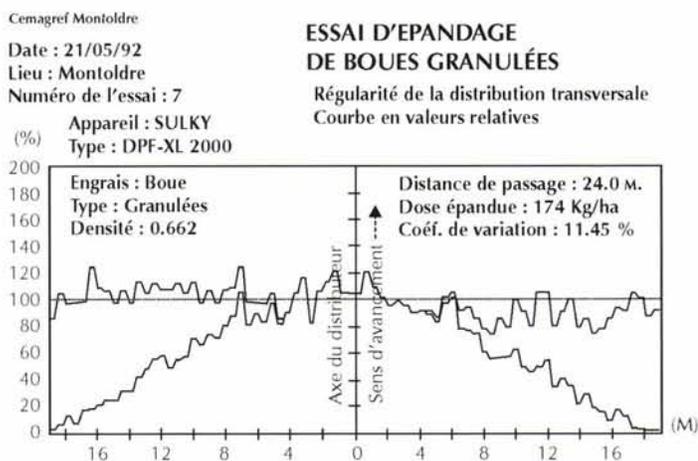


Figure 5.23 – Courbe de répartition transversale pour une largeur de travail de 24 m

Les conditions pratiques d'essais diffèrent des conditions habituelles de terrain car la dose était ici limitée à 200 kg/ha. Des essais de répartition ont été effectués en Suisse (Frick *et al*, 2001) avec une dose 10 fois plus importante, soit 2 t/ha. Il s'agit d'un produit issu d'un séchoir à tambour. Les caractéristiques granulométriques de la boue séchée sont les suivantes :

- densité 0,750 ;
- D50 : 2,9 mm ;
- étalement : 2,7 mm ;
- taux de matière sèche : 93 %.

Ces boues sèches ont une granulométrie plus fine que les précédentes, mais une densité légèrement supérieure. La régularité de projection transversale est satisfaisante. La largeur de projection totale est plus faible que précédemment. Cette différence peut provenir en partie du diamètre plus fin des particules épandues. Les résultats obtenus sont présentés au tableau 5.4.

	Dispositif d'épandage	largeur de projection	largeur d'épandage	Coefficient de variation
Vicon Duoflow DS751 (porté)	2 disques centrifuges	20 m	13 m	6,7 %
Amazonie ZGB 16001 TR (trainé)	2 disques centrifuges	22 m	12 m	15,4 %
Amazonie ZGB 16001 TR (trainé)	Rampe d'épandage	12m	12 m	6,3 %

Tableau 5.4 – Régularité d'épandage des boues granulées (d'après Frick *et al*.)

Les auteurs constatent donc que les distributeurs d'engrais centrifuges peuvent convenir à l'épandage de boues sèches granulées. Cependant, pour atteindre les doses recommandées, les trappes de dosage doivent être ouvertes au maximum et la machine ne doit pas avancer à plus de 5 km/h. L'utilisation d'un appareil porté d'une capacité inférieure à 1000 litres n'apparaît donc pas satisfaisante au point de vue des performances de chantier envisageables.

Des tests ont été conduits au Cemagref en vue de l'obtention de doses supérieures à 6 t/ha. Le produit concerné est une boue de papeterie séchée dont les caractéristiques granulométriques sont les suivantes :

- densité 0,510 ;
- D50 : 2,7mm ;
- étalement: 4,2 mm ;
- taux de matière sèche : 98 %.

Dans ce cas, avec une ouverture maximale de la trappe de sortie et une largeur d'épandage de 12 m, il faut limiter la vitesse d'avancement à 2 km/h et régler la vitesse du tapis à sa valeur maximale (avancement proportionnel déconnecté) pour obtenir une dose de 8 t/ha. Le débit est alors de 5,3 kg/s. Les essais de répartition longitudinale (cf. fig. 5.24) ont montré que la distribution était régulière avec ce type de réglage.

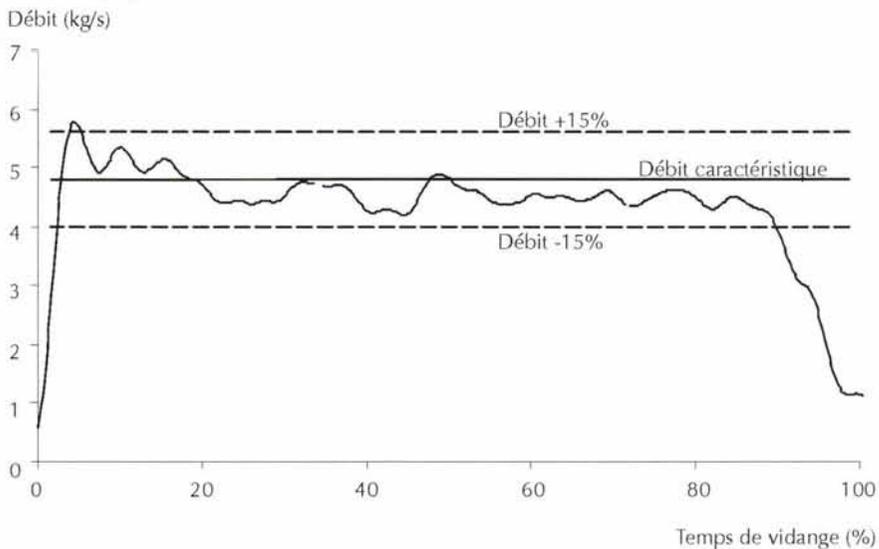


Figure 5.24 – Courbe de variation du débit durant le temps de déchargement (épandeur Rock GRP 75)

Le coefficient de variation est de 22 % et l'étendue dans la zone de tolérance est de 84 %, ce qui constitue un très bon résultat. L'entraînement du produit par tapis caoutchouté convient donc bien aux boues séchées.

En conclusion, sur l'épandage des boues séchées, nous pouvons voir qu'il est possible d'obtenir un **épandage régulier** lorsque les caractéristiques granulométriques sont similaires à celles des engrais. Par contre, la conception des distributeurs d'engrais n'est **pas adaptée aux débits nécessaires** à l'épandage de doses importantes. Il serait donc intéressant de prévoir, en relation avec les constructeurs concernés, des adaptations spécifiques pour les boues séchées.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- DLG (Allemagne) , 1995, *Prüfbericht DLG Kompost und stalldungstreuer*, n° 4426 – 4430 (essais de 5 épandeurs de fumier).
- Frick R., Heusser J., Schick M., 2001, *Technique d'épandage des engrais à base de déchets et du fumier de stabulation libre*, Rapport technique FAT (Suisse) n° 560, 32 p.
- Hammelrath A., 2001, *Des couteaux plus longs pour un meilleur émiettement*, article du guide technique « Choisir et utiliser une tonne à lisier, un épandeur à fumier ». p.33.
- Hansen M.N., 2000, *Development of solid manure spreaders with a view to spreading evenness*, Communication au 9th Ramiran Workshop, Gargnano, Italie, 6 p.
- Lambot S., 1999, *Conception d'une table d'épandage de matière organique et optimisation de l'homogénéité de la répartition*, Mémoire de fin d'études d'ingénieur agronome de l'université catholique de Louvain (Belgique), 135 p.
- Malgeryd J., Wetterberg C., 1996, *Physical properties of solid and liquid manure and their effects on the performance of spreading machines*, Journal of Agricultural Engineering Research n°64, p. 289 à 298.
- Picaud D., 2001, *Importance des caractéristiques des fumiers sur les performances d'épandage*, Mémoire de fin d'études ENITA Clermont-Ferrand, 40 p.
- Piron E., 2001, *Note sur la régularité longitudinale des épandeurs de fumier* (Document de travail non publié).
- Statens Maskinprovningar (Suède), 1994, *Stallgödselspridare Tests* n°s 3405 à 3411, (essais de 6 épandeurs fumier/boues).
- Stieg D., Wagner G., Krause R., 1998, *Exaktstreuer für bioabfallkompost*. Landtechnik, 53 –1, p.10-11.

LES CHANTIERS D'ÉPANDAGE

Nous avons jusqu'alors considéré la qualité de l'épandage sous l'aspect de la régularité de l'apport sur le sol et du respect de la dose à épandre. La réussite de cette opération doit s'accompagner d'un travail irréprochable qui ne cause ni nuisances ni préjudices à l'agriculteur et son environnement. Pour organiser les chantiers tout en assurant la rentabilité de l'opération, nous verrons que des équipements efficaces se développent. Nous examinerons aussi les cas de deux chantiers particuliers : l'épandage en zone de montagne et l'épandage des parcelles expérimentales.

1 Le bon déroulement des chantiers

1.1 La prise en compte des odeurs

La nuisance principale des chantiers d'épandage est très certainement l'émission de mauvaises odeurs. Il s'agit en tous cas de la cause principale de plaintes, voire de rejet de l'épandage. Sur le terrain, c'est souvent le chef de chantier ou le chauffeur de tracteur qui se voit incriminé, alors que les solutions contre ces mauvaises odeurs doivent être recherchées tout au long de la filière.

Les odeurs étant le résultat de fermentations dans la boue, il convient de la stabiliser pour éviter la dégradation des matières organiques. Cette stabilisation ne peut être totale et permanente. Des traitements complémentaires peuvent être effectués pour renforcer cette stabilisation : compostage, chaulage ou séchage. Le résultat de ces traitements sur l'émission d'odeurs dépend de la maîtrise des opérateurs. Lors de nos visites de chantier, nous avons pu remarquer des différences significatives pour des produits ayant suivi des filières similaires. Il est aujourd'hui possible de quantifier les odeurs émises lors de chantiers (Pourtier et Piet, 2001). Les études de ce type étant peu développées à l'heure actuelle, nous signalerons simplement que parmi les chantiers que nous avons visités, nous avons pu ressentir une forte odeur dans quelques cas extrêmes, mais une odeur plutôt modérée pour un bon

nombre d'entre eux. Certains produits nous ont même semblé quasiment sans odeur : il s'agissait des boues d'Achères et des boues de la SICAPG (cf. photo 6.1). Les premières ont subi un traitement thermique ; les secondes reçoivent une incorporation de 40 % de chaux vive.

Les odeurs se dégagent principalement au moment où les boues sont manutentionnées : chargement, transport et épandage. Les matières volatiles issues de la fermentation anaérobie se trouvent à l'air libre et se dégagent. L'émission d'odeurs peut aussi reprendre ou se poursuivre lorsque le produit reste en surface du champ. La diffusion de ces odeurs varie suivant les vents et les convections dans l'atmosphère.



Photo 6.1 – Ces boues chaulées avec 40 % de chaux vive dégagent une importante vapeur d'eau, mais aucune mauvaise odeur [F. Thirion, Cemagref]

Dans la logistique générale, les premières précautions concernent le transport. Le transport de boues pâteuses odorantes doit être réalisé dans des bennes bâchées (cf. photo 6.2).



Photo 6.2 – Transport de boues par camion bâché. [F. Chabot, Cemagref]

À l'épandage, la solution idéale est évidemment l'enfouissement simultané qui sera recommandé pour les produits liquides. L'étude déjà mentionnée (Pourtier et Piet, 2001) précise par des mesures olfactométriques l'intensité des odeurs émises lors de l'épandage de boues liquides. Les conclusions de leur expérimentation sont les suivantes :

- le canon provoque une forte gêne olfactive, même à 200 m de la zone d'épandage ;
- la rampe entraîne une forte gêne à une distance inférieure à 50 m de l'épandage et une faible nuisance à 200 m ;
- l'enfouisseur constitue la meilleure technique d'épandage d'un point de vue purement olfactif ;
- l'adjonction d'un agent physico-chimique et d'un masquant permet de réduire les nuisances olfactives lors de l'épandage avec la rampe.

L'enfouissement superficiel réalisé en prairie peut cependant s'avérer insuffisant pour un contrôle total des odeurs. Le volume dégagé par le sillon doit être suffisant pour contenir le produit. Ce sillon ne doit pas rester béant. De même, pour l'enfouissement après épandage, il faut choisir un outil qui enterre le produit et ne pas se contenter d'une simple couverture superficielle.

Pour les boues, la réglementation laisse un délai d'enfouissement de 48 heures lorsque les produits sont stabilisés. Il y a tout intérêt à ne pas attendre l'expiration de ce délai. Nous avons pu observer que certains agriculteurs débutaient l'enfouissement alors que l'épandage de la parcelle n'était pas encore terminé. Il est toujours préférable de prévenir les nuisances liées à l'épandage avant qu'un climat d'hostilité ne s'installe.

1.2 La propreté des chantiers

L'observation de chantiers permet aussi d'apercevoir des différences importantes au niveau de la propreté du travail effectué. On peut surtout le constater après le départ des divers engins : on ne devrait pas observer d'ornières, de dégâts ou d'amas épars de boue. Le **chargement** est une opération qui demande une bonne maîtrise de l'opérateur. Certains d'entre eux auront tendance à multiplier les manœuvres et dégrader localement le terrain. D'autres déverseront le produit de façon approximative, ce qui salit les épandeurs. Les dépôts qui s'accumulent sur les machines peuvent également provenir de projections au niveau des roues lorsqu'on a circulé sur des zones épandues. Ils viennent aussi de la conception plus ou moins réussie de l'épandeur : la projection ne devrait pas rejaillir sur lui-même ou sur le tracteur. Les amas formés se trouveront déversés tôt ou tard, salissant les voies de circulation. Pour éviter ces problèmes, on peut voir, par exemple, des tables d'épandage qui s'abaissent et peuvent être vidées avant de circuler sur la route. Il existe aussi des nettoyeurs haute pression pouvant être fixés sur le tracteur (Boddaert, 2001). Il est ainsi possible de dégager les accumulations de produit en

fin de chantier, à condition de disposer d'une réserve d'eau sur site. Il faut particulièrement veiller à la **propreté des routes** lorsque la position du tas oblige à traverser la chaussée à chaque chargement. Dans ce cas, des panneaux de signalisation doivent prévenir les usagers. Certains entrepreneurs prévoient un balai mécanique pour le nettoyage régulier des chaussées. Nous voyons que le transport sur route est un point important du chantier. C'est là, en effet que le chauffeur croise les riverains qui n'apprécient pas ses passages répétés. L'approvisionnement par camion citerne est cité comme un moyen très positif de diminuer ces frictions avec l'entourage. Les camions qui ne roulent pas dans les champs restent propres et finalement plus discrets que les tonnes à lisier (Serpantié, 2000). Il peut s'agir de camions citernes sans équipement spécifique. Dans ce cas, le remplissage de la citerne du camion est effectué par une pompe installée au stockage, le remplissage de la cuve de l'épandeur est assuré par sa propre pompe (cf. photo 6.3). Le transfert est propre, il s'écoule simplement un peu de liquide au débranchement du tuyau.



Photo 6.3 – Remplissage de la cuve de l'épandeur par sa pompe. Le camion et l'épandeur restent propres [F. Thirion, Cemagref]

Lorsque le camion est muni d'une pompe (cf. photo 6.4) de remplissage, il est possible d'envoyer, à la fin du transvasement, un peu d'air pour vider le tuyau. Ainsi, pourra-t-on éviter tout déversement lors de son débranchement.



Photo 6.4 – Remplissage de la cuve de l'épandeur par la pompe du camion
[F. Chabot, Cemagref]

Pour les produits solides, plusieurs sortes de chargeurs sont utilisés sur les chantiers. Le chargeur de type travaux publics est efficace sur des produits résistants comme les marnes ou les écumes, il permet un nivellement rapide de la zone de chargement en fin de chantier. Avec un chargeur articulé et un godet de 2 500 litres, les cadences de chargement sont très rapides, ce qui permet d'alimenter facilement quatre épandeurs. Avec une pelle hydraulique, on peut effectuer des travaux complémentaires comme l'accès aux lagunes. Le chargeur télescopique est, pour sa part, aisé d'utilisation, mais moins efficace en produits compacts et en capacité de chargement. Il permet aussi de niveler rapidement un terrain légèrement dégradé. Pour tous ces matériels, la taille du godet est le résultat d'un compromis. Avec un trop gros godet, le chargement ne sera pas homogène dans l'épandeur ; avec un trop petit godet, le chargement est trop lent.

Il va de soi que toutes les bonnes pratiques de chantier, communes à l'ensemble des opérations de travaux agricoles, doivent être respectées lors d'épandages. L'avis de l'agriculteur qui connaît les parcelles à épandre doit toujours être pris en compte. Toutefois, il se peut que l'entrepreneur soit obligé de refuser une tâche qu'il sait ne pas être conforme aux pratiques autorisées.

1.3 Une logistique rigoureuse

L'aspect logistique n'est souvent pas apparent lors des chantiers, mais il réclame un travail important qui conditionne la réussite de l'opération. Ceci va de la programmation des chantiers, à leur approvisionnement et leur coordination.

Pour l'épandage des déchets, le planning des chantiers est en grande partie conditionné par les programmes prévisionnels établis par les bureaux d'études : ils fixent les périodes d'épandage, les parcelles à épandre et les doses à apporter. L'approvisionnement en boues est souvent indépendant de l'épandage : les deux opérations concernent alors des entreprises différen-

tes. La synchronisation peut d'ailleurs poser des problèmes lorsque l'un des partenaires ne dispose pas de la souplesse d'intervention nécessaire. Pour l'épandage des effluents d'élevage et des produits normalisés, l'entreprise ou la CUMA ne reçoit pas ces informations complètes. Il est parfois nécessaire de se rendre sur place afin de repérer avec précision les parcelles concernées et les conditions de chantier. Les principales difficultés de suivi du planning sont dues aux pluies et aux pannes qui obligent à décaler les journées de travail et parfois à les réorganiser complètement.

Il est difficile de fixer un jour précis d'épandage pour chaque parcelle, étant donné les aléas liés à la récolte précédente et au climat. L'agriculteur est généralement avisé la semaine précédant le chantier, le chauffeur confirmant son arrivée par téléphone. Peu d'agriculteurs assistent à l'épandage de leurs parcelles ; cependant, ils viennent au début des travaux vérifier la bonne mise en route.

Il est nécessaire de repérer les zones d'exclusion sur les parcelles avant de commencer l'épandage. On procédera aussi au jalonnage des parcelles lorsqu'on ne dispose pas de repères appropriés. Outre **l'approvisionnement** en boues, il faut quotidiennement gérer l'approvisionnement en fuel pour les tracteurs. Par ailleurs, les repas étant souvent pris sur le chantier à midi, il convient de disposer d'eau propre pour respecter les règles d'hygiène. En effet, les risques sanitaires ne doivent pas être uniquement considérés pour le consommateur, mais aussi pour les opérateurs. D'autre part, il faut accorder un temps suffisant à la tenue des registres où doivent figurer les informations de chantier, en particulier celles qui seront nécessaires au suivi agronomique.

Nous verrons par la suite l'intérêt de mettre en œuvre une démarche qualité spécifique à l'épandage. L'aspect organisationnel est alors fortement impliqué. L'adhésion à cette démarche obligera l'entreprise à expliciter ses procédures usuelles, ce qui ne pourra que renforcer la qualité de ses interventions.

1.4 Le fonctionnement des équipes d'épandage

Les chantiers que nous avons pu observer mobilisaient de une à cinq personnes sur le terrain. Les chauffeurs qui participent aux travaux d'épandage doivent posséder une bonne compétence dans ce domaine. Pour un travail autonome, il faut pouvoir prendre en charge tous les aspects du métier : contacts, réglages de l'appareil, maintenance, organisation. Pour un travail en équipe il faut une bonne coordination des tâches, chacun devant assurer la part de travail qui lui est confiée. La présence d'un chef de chantier est aussi appréciable pour gérer l'organisation et l'administration du chantier. Ce rôle est souvent tenu par l'un des chauffeurs afin de limiter le personnel engagé.

Les **chantiers à un épandeur et une personne** sont fréquents en épandage de boues liquides ou de lisier. En épandage de fumier ou de boues solides, se pose le problème de l'acheminement du chargeur sur le chantier. Le chauffeur peut assurer les travaux d'épandage et les travaux de chargement, mais il faut une deuxième personne pour participer aux déplacements sur route. De ce fait, pour les chantiers où les trajets sont importants, il est plus simple de travailler à deux personnes : un chauffeur pour l'épandeur et un chauffeur pour le chargeur. Cette pratique procure des temps morts ; pour les éviter d'autres solutions ont été recherchées. Un entrepreneur de Haute Saône a mis au point le système suivant : pour les déplacements sur route, l'épandeur est attelé au tracteur et derrière l'épandeur, une deuxième remorque porte le chargeur. Il s'agit d'un chargeur compact, de façon à ce que le convoi formé soit conforme aux réglementations de la circulation routière. Une fois sur place, le chauffeur peut dételer la deuxième remorque et travailler en autonomie. Pour assurer cette autonomie, il y a aussi la solution de l'épandeur autochargeur. Ce type d'épandeur automoteur possède une vis frontale capable de découper le tas de boue et alimenter un tapis de chargement de la caisse. Les machines utilisées sont des débardeuses de betteraves adaptées pour l'épandage. Une partie du système de chargement est conservée. L'autonomie reste relative car pour les déplacements sur route, l'automoteur doit être précédé d'un véhicule d'accompagnement qui peut donc justifier la présence d'une deuxième personne sur le chantier.

Les **chantiers à deux épandeurs** ont les mêmes avantages et inconvénients que les précédents : soit chacun des chauffeurs utilise tour à tour le chargeur, il faut alors trouver une solution pour assurer le déplacement de l'engin, soit on mobilise trois personnes dont une à temps partiel. C'est sans doute ce qui pousse au développement de chantiers à trois ou quatre épandeurs. Dans ce cas, le chargeur possède son propre chauffeur. Suivant les équipes, on constate deux organisations différentes de l'épandage. Chaque épandeur travaille séparément sur une zone individualisée ou bien chaque épandeur travaille en parallèle avec les autres. Dans les deux situations, il faut faire très attention aux recoupements des surfaces épandues.

2 Des équipements pour un chantier de qualité

2.1 Le jalonnage par GPS

Les utilisations du GPS en agriculture s'étant multipliées, il existe une certaine confusion entre les différentes utilisations possibles de cette technologie. Nous en distinguerons quatre qui peuvent présenter un intérêt pour l'épandage :

- le guidage de l'épandeur sur des passages parallèles à écartement contrôlé, il peut aussi être appelé jalonnage par GPS ;

- la traçabilité des opérations d'épandage par enregistrement cartographique des zones épandues (voir chapitre 7) ;
- l'arpentage de la parcelle pour en dresser le plan ;
- la modulation des doses d'épandage suivant une carte de préconisation, dans une perspective d'agriculture de précision.

Nous ne considérerons que les deux premières applications. L'arpentage est de préférence confié à des sociétés spécialisées qui disposent d'équipements spécifiques. Quant à la modulation des doses, nous considérons que la régularité des épandeurs est aujourd'hui insuffisante pour prendre le risque d'une addition d'imprécisions.

Lors de notre enquête réalisée en 2000 sur les épandages, il n'existait que deux marques fabriquant des dispositifs de guidage. Ces nouveaux systèmes ont été très favorablement accueillis par les utilisateurs (Seconda, 2000). Ceci explique leur rapide développement et l'on compte actuellement huit modèles disponibles sur le marché. Diverses présentations ont été adoptées pour un usage le plus aisé possible. Le système de barre de guidage à rangée de voyants de type LED est le plus répandu. Si l'appareil suit correctement la trace indiquée, c'est la LED centrale qui est éclairée. Par contre, si l'épandeur s'écarte de la voie préconisée la LED centrale s'éteint et une LED latérale s'allume, plus ou moins éloignée du centre suivant l'erreur détectée. Les autres dispositifs utilisent un écran graphique. On y voit la position du tracteur par rapport à la trace de guidage. L'écart latéral est indiqué. L'écran de marque RDS propose des lignes de guidage qui resituent la perspective du champ en convergeant vers l'horizon. Quelque soit le système utilisé, il est souhaitable lors de la conduite de viser un repère en bout de champ tout en se référant à l'indication du système GPS.

La revue Profi International a effectué des tests comparatifs de huit systèmes différents (Anonyme, 2002). La précision est jugée acceptable pour tous les modèles que l'on soit en pulvérisation ou en épandage. L'appareil le plus précis dispose d'une double correction différentielle acquise sur des signaux de fréquences différentes. Les erreurs relevées ne dépassent pas 50 cm dans ce cas. Néanmoins, il convient de souscrire les deux abonnements de corrections différentielles correspondants. L'appareil sans correction différentielle est moins précis. Les résultats obtenus par les divers systèmes dépendent des conditions locales de réception au jour de l'essai. Les transpositions d'un pays à l'autre sont donc hasardeuses.

Ces systèmes de guidage disposent d'un « jalon virtuel ». Ainsi lorsque l'épandeur est vide, il est possible de planter virtuellement un jalon au point de fin d'épandage. Après remplissage de l'épandeur, il sera facile de revenir à ce point précis dont les coordonnées ont été enregistrées pour continuer

le travail. La revue Profi a également testé l'utilisation du GPS de nuit. C'est, en effet, une pratique susceptible d'intéresser certaines entreprises. Pour notre part, nous émettons des réserves sur les épandages de nuit, surtout si l'agriculteur n'a pas donné son accord explicite. Il est apparu que l'usage du guidage est difficile par nuit noire. Il est préférable de disposer d'un point de repère réel pour se guider tout en s'aidant du GPS. L'intensité lumineuse de ces dispositifs doit aussi être modulable pour que l'on puisse bien voir les indications sans fatigue.

L'utilisation du guidage par GPS pourrait progressivement remplacer les anciens systèmes de jalonnage. Parmi ceux-ci, deux principes sont toujours utilisés régulièrement. Le traceur à mousse est apprécié pour les épandages de vinasses qui s'effectuent à grande vitesse. Le traceur mécanique à disque est apprécié pour sa simplicité et la facilité de sa mise en œuvre.

2.2 L'épandage de bordure

La largeur de travail est toujours inférieure à la largeur totale de projection. Le rapport des deux largeurs est de l'ordre de 50 %. Les doses de produit sont faibles aux extrémités de la projection (c'est pour cela que l'on procède à des recoupements entre les différents passages). Ceci entraîne des difficultés pour l'épandage des bordures de parcelle. Dans l'épandage des boues en particulier, il peut être impératif que la parcelle voisine ne reçoive aucune projection de produit. Si la culture de cette parcelle est, par exemple, destinée à une conserverie, la présence, même marginale, de boues pourrait remettre en question les contrats géant cette culture. Pour cela, il sera nécessaire de laisser une bande de sécurité réduisant de fait la surface à épandre. L'autre possibilité est d'utiliser un système d'épandage de bordure.

Des systèmes se sont développés sur les distributeurs d'engrais. Plusieurs principes permettent de réduire la projection sur un des côtés : modification du point de chute concerné, modification des pales d'un disque, inclinaison de l'appareil, utilisation d'un déflecteur. Seul le mécanisme d'inclinaison de la table a été transposé sur un épandeur danois. Les autres dispositifs ne sont pas directement applicables aux épandeurs pour lesquels le meilleur principe consiste à débrayer une demi-largeur du tapis d'entraînement ainsi que le disque d'épandage correspondant. Ce système, simple dans son principe, est coûteux dans son application ce qui a empêché sa diffusion actuelle. Le système d'épandage de bordure, en option sur les épandeurs Bergmann, consiste en un cadre déflecteur venant se relever derrière les disques et interceptant la projection. D'autres dispositifs à volets déflecteurs délimitent la zone épandue. Un test que nous avons effectué sur un épandeur muni d'un volet fabriqué par l'utilisateur a révélé une mauvaise distribution car le produit chutait en abondance sous ce déflecteur tout en créant une zone de surdosage.

Des systèmes de bordure fiables devront donc être développés par les constructeurs, car ces dispositifs deviendront rapidement obligatoires vu la demande croissante en matière de sécurité alimentaire.

2.3 Le DPA (Débit proportionnel à la vitesse d'avancement)

Comme le GPS, le DPA bénéficie d'une image de « technique avancée » qui peut constituer un atout commercial pour des entrepreneurs de travaux agricoles. Nous avons déjà évoqué les avantages (et leurs limites) qu'il apporte sur le plan de la précision. Sa simplicité d'utilisation peut apporter un gain au niveau de la gestion du chantier. Le bénéfice global dépendra des performances réelles du système, de l'usage qui en est fait et des conditions spécifiques de chantier.

En matière d'épandage de lisier ou de boues liquides, la technologie utilisée est très similaire à celle de la pulvérisation et bénéficie donc des progrès technologiques réalisés dans ce domaine. Des marges de progrès sont encore possibles, en particulier au niveau de la prise en compte et de la mesure des caractéristiques chimiques des produits. L'intérêt de ce dispositif pour une CUMA ou une ETA est certain. Il facilite et sécurise les réglages. Ceci est particulièrement intéressant lorsqu'on change d'équipement, en passant par exemple d'une rampe à un enfouisseur. Il suffit de modifier la donnée « largeur de travail » pour mettre à jour le réglage de l'appareil.

Pour les épandages de fumier ou de produits solides, les systèmes DPA se développent (*Debroize et Grégoire, 2000*). L'avantage est cependant discutable car le contrôle opéré est incomplet. Pour pallier ces lacunes, l'opérateur doit saisir la densité du produit, ce qui signifie qu'il doit avoir à sa disposition un moyen simple de la mesurer. En outre, pour être efficace, le système doit détecter la hauteur de la porte, sinon il faudra rentrer manuellement cette variable supplémentaire. Les évolutions du système DPA devront maintenant porter sur le contrôle du débit en cours d'épandage. Il faudra développer et fiabiliser des procédés tels que le volet peseur ou la mesure de couple. Dans les conditions actuelles, nous serons donc réservés sur l'intérêt du DPA lorsqu'il est utilisé pour des produits solides. Il ne faut en aucun cas compter sur cet appareil pour combler un manque de compétence du chauffeur. Tout au contraire, il faut une bonne expérience pour valoriser ce dispositif en tenant compte de ses limites. Dans ces conditions, son usage se révélera positif pour la gestion du chantier. Il est ainsi possible en fin de vidange de descendre progressivement la porte pour la maintenir au niveau de la boue. Le contrôle DPA accélère alors le tapis de façon proportionnée et maintient le respect de la dose.

Nous retiendrons donc que pour les produits liquides, l'utilisation du DPA est un atout pour le chantier car il facilite et sécurise les réglages. Pour les

produits solides, il faut un chauffeur scrupuleux et attentif pour valoriser le système sans se laisser abuser par sa capacité supposée. Il est finalement préférable, lorsqu'on peut supporter cet investissement, d'investir dans un système de pesée.

2.4 Des pneumatiques adaptés

L'utilisation de pneumatiques adaptés est indispensable pour éviter les dégâts sur les sols, consécutifs aux fortes contraintes exercées par les remorques épanduses. Le risque de tassement ou d'ornières dépend directement de la pression interne des pneumatiques fortement corrélée à la pression sur le sol. Il dépend aussi de l'état mécanique du terrain et notamment de son humidité. En cas de pluie, les risques augmentent rapidement et il conviendra souvent de suspendre le chantier. En terrains secs et durs ainsi qu'en utilisation intensive sur route, ce n'est plus le problème de tassement qui prévaut, mais c'est l'usure que l'on cherche à limiter. Cette contradiction entre les **diverses exigences** ne tend qu'à s'accroître. Le développement des techniques culturales simplifiées met en exergue l'importance de minimiser les traces laissées par les divers attelages utilisés sur les parcelles culturales. Les ornières posent un problème pour les façons culturales ultérieures et déstructurent le sol. En même temps, la mise en commun des parcs de matériels, les agrandissements des exploitations et l'élargissement des secteurs parcourus par les entreprises spécialisées allongent les distances de parcours sur chemin et sur route.

Toutes ces conditions ont poussé les manufacturiers à progresser dans la conception des pneus basse pression en augmentant les indices de charges de leurs pneumatiques tout en garantissant des structures de pneus plus respectueuses des sols.

2.4.1 Les caractéristiques des pneumatiques

Un pneu 600/60 R 30,5 125 A8 a une largeur de section de 600 mm et son rapport hauteur/section correspond à la série 60. C'est un pneu radial monté sur une jante de 30,5 pouces de diamètre. Le chiffre 125 correspond à l'indice de charge à 40 km/h (1650 kg) et A8 correspond au code vitesse (pneu homologué à 40 km/h).

Sur un pneu 24.5 R 32, la largeur de section est exprimée en pouces, le diamètre de la jante étant de 32 pouces. Enfin, pour les pneumatiques conventionnels, un tiret entre la largeur et le diamètre renseigne sur le type de construction du pneu : 18.4-38 indique un pneumatique à structure diagonale. Pour pouvoir connaître les correspondances entre différents types de pneus, un tableau d'équivalence (cf. tableau 6.1) a été édité (Boddaert, 2001) dans la revue *La France Agricole*.

Dimension des pneumatiques radiaux grand volume		Charge admissible à 1 bar à 30 km/h, en kg	Dimensions standards de circonférence équivalente	
En pouces	Millimétriques		Mini/Maxi	En pouces Millimétriques
	580/70 R26	2480/2750	16.9 R28 18.4 R26	420/85 R28 460/65 R26
	600/65 R28	2600/2760	16.9 R30	420/85 R30
	620/70 R26	2680/3090		
	710/55 R30	3090		
	600/70 R28	3100	16.9 R34 13.6 R38	420/85 R34 340/85 R38
23.1 R 26	620/75 R26	3105/3280		
	600/65 R32	2755		
	600/70 R30	2995/3040		
	750//65R26	3585/3600	18.4 R34	460/85R34
	1000/50 R25	4140		
23.1 R 30	620/75R30	3000/3290	16.9 R38	420/85 R38
24.5 R 32	650/75 R32	3580/3850	18.4 R38	460/85 R38
23.1 R 34	620/75R34	3470/3480	20.8 R38 18.4 R 42	520/85 R38 460/85 R38
30.5 LR 32	800/65 R 32	4280/4680		
	680/75 R 32	4230		
	900/75 R 32	5350	20.8 R42	520/85 R42
	1050/50 R 32	5370		
	650/75 R 34	4015/4140		
	900/60 R 32	5670		
	650/75 R 38	4510	Pas d'équivalence	
	710/70 R 38	4380/4550		
	710/75 R 34	4570/4815		
	900/50 R 42	4410/4740		
	650/85 R 38	4750/4800		
	710/70 R 42	4280/4750		

Tableau 6.1 – Équivalence des dimensions de pneumatiques (d'après Vincent Boddaert).

Les entreprises et CUMA spécialisées dans l'épandage s'équipent de plus en plus de **pneumatiques de grand volume** appelés aussi « **pneus basse pression** ». Il s'agit de pneumatiques de diamètre intérieur plus faible que celui des pneus standards ou larges. Ils nécessitent des jantes spécifiques. La catégorie des pneumatiques grand volume rassemble des pneumatiques de 580 mm à 1050 mm de large pour des diamètres de 1,45 m à 2,05 m et des jantes de 26 à 42 pouces. Si leur efficacité au niveau de la réduction des tassements est reconnue, il leur est souvent reproché une usure très rapide dès qu'ils sont utilisés sur la route. Les manufacturiers ont réalisé des efforts conséquents et annoncent aujourd'hui des structures aux bandes de roulement résistantes sur route avec des performances accrues en terme de charge, de pression et de vitesse.

2.4.2 La pression à adopter

La pression de gonflage d'un pneumatique doit être adaptée à la charge supportée par la roue et à la vitesse de travail de l'engin. En règle générale, plus la charge s'exerce sur un pneumatique est élevée, plus la pression de gonflage de ce pneumatique doit être forte. Elle dépend aussi de la vitesse de déplacement. Le suivi des consignes doit être spécialement strict pour des pneus de grand volume. Pour des déplacements sur route, la pression doit être suffisante pour limiter l'usure.

Il est parfois constaté que les utilisateurs maintiennent des pressions trop fortes (de l'ordre de 3 à 4 bars) dans des pneus dits basse pression. Il est techniquement possible de descendre à 0,8 bar pour optimiser l'usage en terrain sensible. Les utilisateurs conservent souvent une marge de sécurité. Un entrepreneur nous a relaté que pour une utilisation à moins d'un bar, correspondant aux préconisations du fabricant, son épandeur s'était renversé dans un dévers. Le pneumatique qui n'était plus suffisamment tenu par la jante a déjanté et fait basculer la remorque. Vu cette marge de sécurité, la pression appliquée (sur champ et sur route) est souvent de **1,5 à 2 bars**. Pour gérer finement la pression des pneumatiques, la solution passe par le **télégonflage** qui facilite ces modifications de pression répétées, principalement entre les champs et la route. Certains épandeurs en sont maintenant équipés. Ce dispositif se trouvera de plus en plus justifié pour l'épandage en agriculture. Le coût de l'équipement pour un ensemble tracteur-épandeur est de l'ordre de 2300 € hors compresseur.

2.4.3 Influence des pneumatiques sur la traction demandée

Les capacités des épandeurs en constante évolution, couplées avec des systèmes d'épandage de plus en plus demandeurs de puissance, contraignent les utilisateurs à étudier au plus juste la puissance demandée pour tractier l'épandeur. Les pneus grand diamètre permettent de limiter l'effort de traction au champ. Pour ces raisons, certaines cuves d'épandeurs de lisiers sont désormais galbées pour libérer le passage des roues de grande dimension. Seuls les épandeurs de fumier à caisse étroite acceptent des montes de pneumatiques de grand diamètre. Dans tous les cas, on ne peut dépasser 16 tonnes en charge (PTAC), au-delà, il est obligatoire d'opter pour un train roulant à deux ou trois essieux.

2.4.4 L'effet des pneumatiques du tracteur

Il est évidemment nécessaire que les tracteurs n'imposent pas de contraintes supérieures à celles des épandeurs. La question se pose donc du montage de pneumatiques grand volume au niveau du tracteur. Les pneus normaux de tracteur acceptent des pressions relativement basses. Par exemple, un pneu 18.4 R 30 (diamètre 1545 mm) supporte une charge de 3 000 kg sous une pression de 1,6 bar. Le pneu équivalent en grand volume 620/75 R 30

(diamètre 1692 mm) accepte la même charge sous la pression de 0,8 bar. Ceci signifie que généralement les pneus classiques de tracteur pourront être utilisés en association avec des pneus d'épandeur basse pression pour des gonflages entre 1,5 et 2 bars. L'utilisation de pneus grand volume sur des tracteurs paraît intéressante dans le cas du télégonflage où l'on peut optimiser en permanence la pression. Nous retrouvons alors une solution proche de l'automoteur d'épandage. Un atout important des automoteurs spécifiques, tel le *Terra Gator*, est de disposer d'une conception basée sur l'optimisation des pressions au sol. Ces appareils utilisent des pneus 1050/50 R 32. De tels pneumatiques peuvent supporter une charge de 7 350 kg à 10 km/h sous une pression de 0,8 bar.

3 Les épandages en zone de montagne

La caractéristique spécifique des épandages en montagne est de devoir épandre le produit sur des terrains en pente. Si la pente est modérée, on pourra utiliser des engins spéciaux dont la stabilité a été particulièrement étudiée. Lorsque la pente est trop forte, on procède par projection à partir de chemins d'accès. Une enquête sur les matériels utilisés a été réalisée en 2000 par les étudiants en BTS « Génie des équipements agricoles » de La Motte Servolex (73). Les épandeurs observés s'avèrent souvent être des prototypes conçus ou adaptés par les utilisateurs eux-mêmes.

En zone de montagne, les besoins en produits organiques se sont accrus avec les chantiers de « végétalisation » (Dinger *et al.*, 1999). La technique a été récemment développée et a fortement progressé au niveau de l'engazonnement des pistes de ski. La réussite et la durabilité de ces opérations sont largement améliorées par l'apport d'une quantité importante de matières organiques. La législation actuelle impose les mêmes limites de dose aux apports de végétalisation qu'aux apports agricoles classiques. Il est attendu une évolution de cette réglementation qui puisse tenir compte du caractère ponctuel et durable des épandages destinés à la végétalisation.

3.1 Les épandages de produit liquide

Les constructeurs spécialistes du matériel agricole de montagne sont principalement installés en Suisse et en Autriche. Les tracteurs traditionnels ne sont pas adaptés à la montagne. Ceux-ci sont remplacés par des autofaucheuses et des transporteurs. Les autofaucheuses ont, comme leur nom l'indique, un rôle au niveau de la fenaison. Les transporteurs sont destinés au ramassage et au transport du foin. Les caisses ont un volume de 10 à 20 m³. Pour l'épandage du lisier, ces mêmes transporteurs peuvent être équipés de cuves dont la capacité reste modeste, de l'ordre de 1,5 à 2,5 m³.

3.1.1 Les tonnes à lisier sur transporteurs

La limite de capacité des cuves montées sur transporteurs est principalement liée aux problèmes de stabilité. Toute augmentation de volume de la cuve va se répercuter par une augmentation de hauteur du centre de gravité, c'est-à-dire une augmentation des risques de renversement. En outre, le liquide en mouvement dans la cuve accroît les risques dynamiques de retournement. L'épandeur est similaire dans son principe aux tonnes à lisier usuelles. Le remplissage est effectué par mise en dépression de la cuve. L'épandage est obtenu par mise sous pression de l'air de la cuve. Le lisier est dispersé par une buse palette. Il existe aussi des tonnes à pompe volumétrique. Dans ce cas, la cuve n'a pas besoin d'être aussi rigide. On peut donc utiliser une cuve en polyester qui sera légère et donc limitera la hauteur du centre de gravité.

3.1.2 L'épandage par aspersion

Normalement, l'aspersion n'est pas préconisée pour les épandages de lisier ou de boues liquides. Cependant, si l'on veut travailler en toute sécurité, ce sera la seule solution possible. L'utilisation classique consiste en un réseau simplifié : pompe, canalisations et canon (ou buse). La pompe doit convenir aux liquides chargés. Pour faciliter les déplacements, on utilisera des tuyaux souples sur enrouleurs : l'opérateur oriente le jet pour répartir la projection ; il déplace le canon en tirant sur le tuyau à l'aide d'un tracteur.

Il existe aussi des systèmes de canons montés à l'arrière des tonnes à lisier. Ils ont un rôle complémentaire par rapport à la buse, permettant d'épandre sur des zones inaccessibles. Dans ce cas, le chauffeur doit orienter le canon tout en conduisant le transporteur.

Pour la végétalisation, le système d'aspersion s'est développé. L'appareil appelé alors *hydroseeder* dispose d'une lance qui projette un mélange graine, alginate, cellulose, engrais et amendement organique. Une pompe centrifuge propulse le liquide. La portée est de 30 à 40 m. Différents modèles d'*hydroseeders* existent pour terrains faciles ou difficiles (cf. photo 6.5).



Photo 6.5 – *Hydroseeder* léger (terrains difficiles) et *hydroseeder* lourd (terrains faciles)
[B. Mallet, LEGTA de Savoie]

Ces matériels peuvent aussi épandre des boues liquides. Les principales difficultés rencontrées sont dues au vent, aux lignes électriques et aux passages sur roche mouillée qui peuvent provoquer de dangereux dérapages. La régularité d'épandage dépend de la précision du maniement de la lance. La photo 6.6 montre ce matériel en épandage avec l'opérateur aux commandes de la lance.



Photo 6.6 – Épandage de boues avec un *hydroseeder* léger [B. Mallet, LEGTA de Savoie]

3.2 Les épandages de produits solides

3.2.1 Les épandeurs adaptés à la pente

Comme pour les produits liquides, il existe aussi des épandeurs de fumier sur transporteurs. Ces épandeurs ont également une capacité limitée. Avec ces matériels de faible encombrement, les hérissons verticaux sont utilisés depuis longtemps de façon à disposer d'une largeur de travail correcte.

Un épandeur spécialisé, d'une capacité de 8 m³, a été conçu par les établissements *Gilibert*. Il dispose d'un essieu moteur relié à la transmission hydrostatique du tracteur *SACMI*. Ce montage permet une bonne motricité dans les côtes et une bonne adhérence dans les descentes. L'épandeur est utilisé sur les pistes de ski, jusqu'à 50 % de déclivité. Pour les fortes pentes, l'épandeur n'est rempli qu'à moitié. Il travaille uniquement en descente car la puissance du tracteur n'est plus suffisante pour assurer un bon fonctionnement en montée.

3.2.2 L'épandage par projection

Une machine spécifique (cf. photo 6.7) a été conçue par les établissements *Millet de Drumettaz, Clarafond* (73). Cette machine permet de projeter des composts, de la terre végétale, des écorces, du sable ou des boues de stations d'épuration sur des zones à forte déclivité. Les chantiers concernent souvent des bordures d'autoroutes ou de voies ferrées. Il peut aussi s'agir de chantiers en montagne. Dans ce cas, la machine est placée sur un chemin d'où elle projette le produit. Elle est attelée à un tracteur dont la vitesse d'avancement est réglée de façon à respecter la dose recherchée.



Photo 6.7 – Machine destinée à épandre le compost par projection
[F. Dinger, Cemagref]

Le principe de fonctionnement de cet appareil est schématisé à la figure 6.1. Cette machine comporte une trémie qui contient le compost à épandre. La vidange de la trémie est réalisée au moyen d'un convoyeur. Le produit est ainsi déversé sur le tapis de projection. Ce tapis est réglable en vitesse et en inclinaison. L'inclinaison est choisie en fonction de la pente du terrain. La vitesse influence la longueur de projection qui dépend aussi du produit épandu. Le jet a une portée pouvant atteindre 40 m. Le tracteur utilisé a une puissance de 100 kW, il dispose d'une transmission continue afin de pouvoir facilement moduler la dose appliquée.

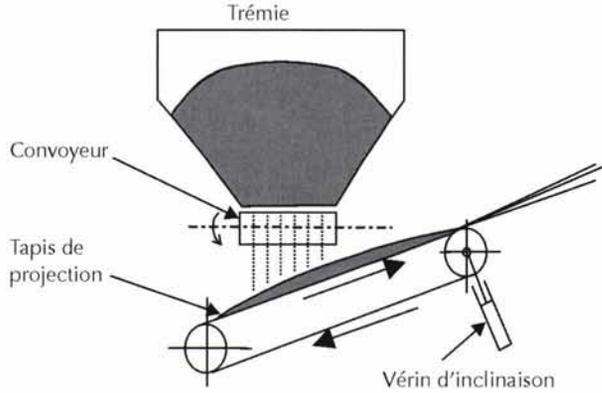


Figure 6.1 – Principe de fonctionnement de la machine d'épandage de compost par projection latérale

Les doses couramment épandues sont de 200 à 300 m³/ha de compost ou de boues. L'épandeur est capable d'épandre 400 m³ par jour. Le chantier mobilise un camion pour l'approvisionnement, un chargeur et l'épandeur attelé à son tracteur. Lors d'épandage de boues, des problèmes de glissement peuvent se poser au niveau du tapis de projection. En revanche, la boue s'étale et colle aux surfaces à recouvrir.

4 Les épandages de parcelles expérimentales

Une étude récente sur les essais agronomiques réalisés en France avec des matières organiques et minérales d'origine urbaine et industrielle (Ducasse-Cournac *et al.*, 2002) recense 123 essais concernant les boues de stations d'épuration, 40 sur les composts et 27 sur d'autres déchets organiques. Il faut aussi considérer les épandages de fumier et de lisier sur des parcelles expérimentales car ils posent les mêmes difficultés d'implantation.

Pour ces expérimentations, il faut être particulièrement vigilant sur le respect de la dose et sur la régularité de l'apport. En effet, c'est une condition indispensable à observer si l'on veut pouvoir obtenir des résultats d'essais significatifs. Les problèmes de réalisation des épandages dépendent directement de la dimension des parcelles unitaires. Pour des parcelles de quelques mètres carrés, il sera possible d'apporter le produit manuellement (un apport de 30 tonnes à l'hectare équivaut à une quantité de 3 kg/m²). La dose est alors facile à déterminer par pesée. Il faut soigner l'application pour obtenir une répartition régulière. Le travail devient trop important pour des parcelles de quelques ares. Il faut, dans ce cas, trouver un moyen adapté d'apport mécanique.

4.1 L'épandage des produits liquides sur parcelles d'essais

Le choix entre enfouissement et épandage doit être prévu dans le protocole expérimental et pouvoir être respecté lors de la mise en œuvre de cette expérimentation. Pour les lisiers et les boues liquides, il y a tout intérêt à éviter l'utilisation d'une buse palette. La répartition transversale avec cet équipement ne peut être satisfaisante que lorsqu'on effectue des recoupements latéraux, ce qui n'est pas possible sur ces parcelles d'essai. Il est donc préférable d'utiliser une **rampe** à buse ou de préférence à pendillards. Le cas le plus favorable sera celui où la largeur de la rampe correspond à la largeur de la parcelle. Sinon, il sera possible de condamner les sorties excédentaires. Il convient, dans ce cas, de vérifier la bonne régularité transversale de la rampe ainsi utilisée. Pour des largeurs d'épandage faibles, il est aussi possible d'utiliser des enfouisseurs en position relevée. Ce choix peut s'avérer ingénieux si l'enfouissement est prévu sur d'autres parcelles du même essai.

La difficulté proviendra surtout de la **mise en pression de la rampe**. Lorsque l'épandage est mis en route, on constate que le liquide sort d'abord au niveau des tuyaux les plus courts, puis est progressivement épandu sur toute la largeur de la rampe. Pour éviter ce phénomène, il faut disposer de systèmes « antigouttes ». Ceux-ci sont montés de série sur les pulvérisateurs. Pour les boues et lisiers où l'on craint les bouchages de tuyau, il existe plutôt des systèmes de fermeture destinés à éviter les écoulements hors épandage. Ils ne sont pas utilisables pour la mise en pression de la rampe. Il existe tout de même des systèmes antigouttes conçus pour des rampes à lisier et leur montage devra être envisagé si l'appareil doit être couramment utilisé en parcelles expérimentales. Lorsque l'appareil est équipé d'un dispositif DPA, il faut aussi tenir compte du temps nécessaire à l'ajustement de la dose. Si ce temps est important, il faut pouvoir bloquer le dispositif en fonctionnement manuel. Dans tous les cas, on veillera à disposer de plusieurs mètres hors parcelle au départ de l'épandage.

Un équipement spécifique a été conçu pour la station d'essais d'**Askov au Danemark** (Petersen, 1994). L'objectif du projet était de pouvoir disposer d'un appareil précis, facile d'utilisation et pouvant réaliser tant de l'enfouissement que de l'épandage. Les doses d'applications prévues vont de 10 à 100 t/ha. Le tracteur choisi pour cette application est de type *Deutz Intrac* 2004 ayant une puissance de 55 kW. Il possède une cabine avancée et une plateforme porte-outils à l'aplomb des roues motrices. La cuve de 1 500 litres est fixée à cet emplacement. L'agencement de ces différentes composantes est schématisé à la figure 6.2.

Une pompe centrifuge conduit le lisier au distributeur rotatif. Une sortie est prévue pour l'agitation de la cuve. Six sorties sont disponibles pour l'équipement d'application choisi. L'originalité du dispositif consiste en l'utilisation de pompes péristaltiques pour chaque descente (dans ces pompes, le liquide

est contenu dans un tube souple et progresse par contractions du tube dues aux compressions d'un rotor à rouleaux). Cette pompe sert d'organe de dosage. La vitesse de rotation des pompes péristaltiques est commandée par un moteur hydraulique et mesurée par un capteur de rotation. Ces éléments assurent la régularité de la distribution transversale. Il a effectivement été vérifié que la cylindrée des pompes (débit pour une rotation d'un tour) était indépendante de la vitesse de rotation.

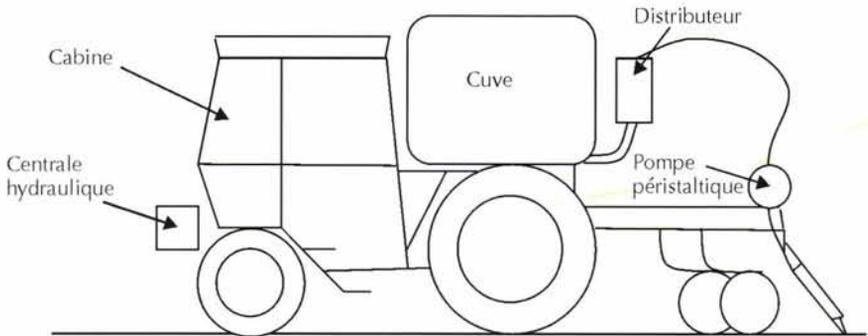


Figure 6.2 – Schéma général de l'épandeur danois pour parcelles expérimentales

Les pompes péristaltiques sont contrôlées par un ordinateur placé en cabine. Leur vitesse de rotation est asservie à la vitesse d'avancement de l'épandeur en fonction de la consigne de dose imposée. Des contrôles de doses d'application ont été réalisés. Les variations enregistrées sont inférieures à 2 %. Ce système DPA sophistiqué présente un temps de réponse plus rapide que celui des DPA classiques.

Un autre procédé a été mis au point en **Angleterre** (Basford *et al.*, 1996) par l'ADAS, service agricole britannique. Il repose sur le principe du tuyau ombilical (*cf.* photo 6.8). Ce type d'appareil, plus simple que le précédent, est conçu pour permettre l'enfouissement sur de petites parcelles. L'ensemble est constitué de deux parties distinctes. Une remorque attelée à un tracteur agricole assure la fonction d'approvisionnement avec la cuve à lisier (2 m³), la pompe et l'enrouleur du tuyau. L'autre partie, attelée à un petit tracteur (12 kW) assure la fonction d'épandage en se déplaçant selon une direction perpendiculaire à l'ensemble cuve-enrouleur.



Photo 6.8 – Enfouisseur anglais pour parcelles expérimentales [K. Smith, ADAS (GB)]

L'appareil utilise une pompe volumétrique réversible. Son débit est contrôlé par un débitmètre électronique. Par l'intermédiaire de vannes, la pompe peut fonctionner en épandage, en remplissage ou en recirculation pour le brassage du lisier. Le système d'application peut recevoir jusqu'à huit unités d'enfouissement pour une largeur maximale de travail de 2,40 m. La profondeur de travail est limitée à 7 cm. Le lisier peut aussi être épandu en nappe ou par bandes. La vitesse d'avancement du mini-tracteur est contrôlée électroniquement de façon à pouvoir atteindre la dose souhaitée. La régularité d'application a été vérifiée dans les directions latérales et longitudinales et jugée satisfaisante.

4.2 L'épandage des produits solides sur parcelles d'essais

Les problèmes rencontrés avec les produits solides lors de l'utilisation de matériels classiques sur des parcelles d'essai recoupent ceux observés avec les produits liquides. En ce qui concerne la **mise en charge** des organes d'épandage, il ne faut pas vouloir épandre le produit juste après son chargement. Il convient d'amorcer auparavant l'épandage pour que l'épandeur soit utilisé dans la phase de débit stabilisé. Cependant, on ne peut pas remettre brutalement la machine en fonctionnement. Il convient d'embrayer en premier les organes d'épandage, puis d'activer l'avancement du tapis. On veillera donc à réserver (comme pour un produit liquide) quelques mètres de mise en route avant le début de la parcelle proprement dite.

La difficulté est plus importante en ce qui concerne la **régularité transversale**. Le problème recoupe celui que nous avons pu évoquer à propos des épandages de bordure. La largeur de projection étant environ le double de la largeur de travail, il faudrait prévoir des allées entre parcelles équivalent à la moitié de la largeur de travail, de façon à ne pas envoyer de projections

sur les autres parcelles voisines. Même si cela peut être réalisé, il faut encore que la largeur d'épandage coïncide avec la largeur des parcelles. En outre, les cotés recevront peu de produit car les recouvrements ne sont pas possibles. Pour éviter ces phénomènes, il est toujours possible de faire appel à d'anciens systèmes à hérissons horizontaux. Dans ce cas, l'épandage ne nécessite qu'un recouvrement latéral très réduit car la largeur de projection n'excède pas 3 m. Les performances que l'on peut obtenir sont toutefois limitées par le caractère peu sophistiqué de ces anciens épandeurs. Il est difficile d'obtenir précisément le débit souhaité, une bonne régularité longitudinale et un épandage fin.

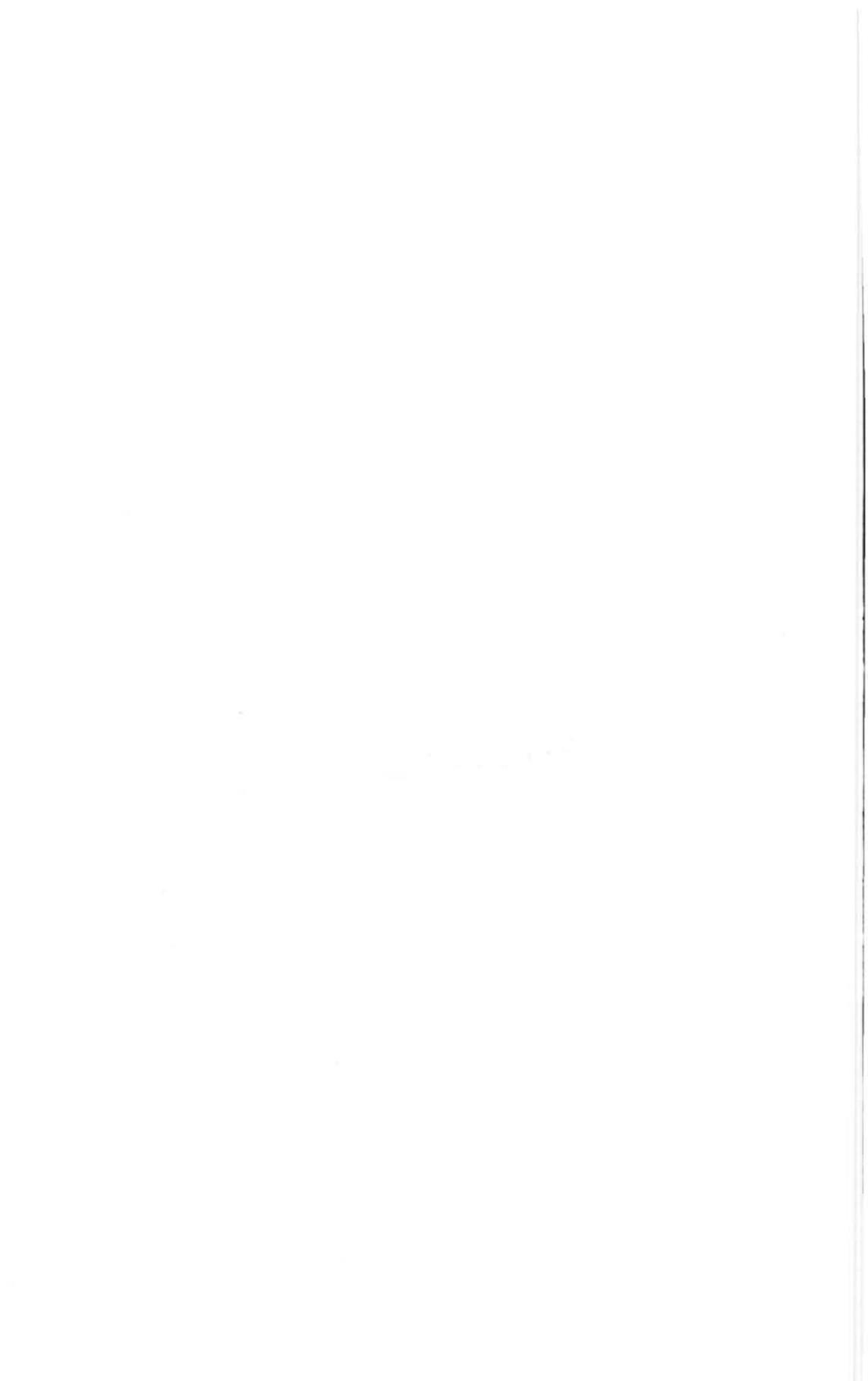
En partant de ces considérations, des chercheurs ont mis au point en Suède (ITI Uppsala) un épandeur spécialisé pour parcelles expérimentales (Malgeryd et Pettersson, 2000). L'épandeur de base est un modèle JF ST 9500 à deux hérissons horizontaux et tapis entraîné par moteur hydraulique. Les améliorations apportées à ce matériel sont les suivantes :

- une régulation électronique de la vitesse d'avancement du tapis en fonction du couple d'entraînement mesuré aux hérissons ;
- une grille (entraînée par le tapis), régularisant l'avancement du tas et interceptant les projections vers l'avant, classiques en fin d'épandage sur les épandeurs à hérissons horizontaux ;
- un capot enveloppant une partie du hérisson supérieur, afin de limiter les projections sur les parcelles voisines ;
- des dents plus agressives sur le hérisson supérieur.

L'appareil a montré une bonne régularité longitudinale avec une étendue de 76 % du temps de vidange inclus dans l'intervalle de tolérance. La largeur de travail est limitée à 2 mètres, ce qui est en adéquation avec le but recherché. En revanche, cette faible largeur de travail correspond à de faibles débits pour lesquels il est difficile d'obtenir un épandage fin. Ce problème devient particulièrement crucial en épandage de fumier de poules où la dose recherchée est faible.

Les matériels conçus pour l'épandage de parcelles expérimentales comme ceux adaptés à l'épandage en zone de montagne montrent l'ingéniosité de leur concepteur. Dans tous les chantiers, une machine adaptée est un élément indispensable à la réalisation d'un travail de qualité. En outre, il faudra que le chantier soit irréprochable et sans nuisances. Ceci dépend d'un facteur humain : le soin apporté à la réalisation du travail. L'épandage demande beaucoup d'attention, mais la tâche peut être facilitée par l'utilisation de nouvelles technologies. Une évolution progressive se fait jour : ce qui était une besogne malpropre et rebutante d'élimination de déchets se convertit en un travail minutieux et très technique.

- Anonyme, 2002, *Eight parallel tracking systems in comparison: Keep on the straight and narrow*, Profi international n° 5/02 p. 54 –59.
- Basford W.D., Briggs W., Jackson D.R. , Smith K.A., 1996, *Equipment for the improved precision application of animal waste slurries and liquid effluents to field plots*, Proceedings of the International Conference on Mechanisation of Field Experiments (IAMFE 96), Versailles, France, June 1996 p 161-166.
- Boddaert V. 2001, *Hydrokit nettoie le tracteur au champ*, La France Agricole, 11 mai 2002, p.49.
- Boddaert V. 2001, *Équivalences des pneumatiques radiaux grand volume*, La France Agricole, 16 mars 2001, p. 41.
- Debroize D, Gregoire J.L., 2000, *Les épandeurs de fumier adoptent le DPA*, Perspectives Agricoles n° 253, janvier 2000, p. 48 – 50.
- Delorme J.P. 1995, *Télégonflage des pneumatiques, adapter la pression en continu*, La France Agricole, 27 octobre 1995, p. 24.
- Dinger F., Aubry F., Wiart J. 1999, *Utilisation des déchets organiques en végétalisation*, Étude ADEME – Cemagref , 112 p.
- Ducasse-Cournac A.M., Leclerc B., Muller –David F., 2002, *Inventaire national des essais agronomiques réalisés avec des matières organiques et minérales d'origine urbaine et industrielle*, Éditions ADEME, 192 p.
- Malgeryd J., Pettersson O., 2000, *A spreader for application of solid manure in field trials*, Proceedings of the 11th International Conference on Mechanisation of Field Experiments (IAMFE/AAB UK 2000), p.145-149.
- Petersen J. 1994, *Equipment for application of animal slurry in field experiments*. Journal of Agricultural Engineering Research n° 59, p. 97 – 109.
- Pourtier L., Piet H., 2001, *Étude des odeurs liées à l'épandage de boues biologiques*, Actes du colloque ADEME Cemagref « Logistique des épandages », Vichy, p. 265 – 267.
- Seconda L., 2000, *Un entrepreneur de précision*, Décisions Machinisme, Juin 2000, p. 32-33
- Serpantié B., 2000, *L'épandage du lisier en ETA, la niche du transport*, Décisions Machinisme, Juin 2000 p. 27 –28.



LA GESTION DES ÉPANDAGES

Le respect des exigences de qualité nécessaires aux chantiers d'épandage réclame des investissements conséquents qu'il convient de savoir raisonner. Pour des attelages performants, la mise de fonds peut atteindre la somme importante de 150 000 € (ou 1 million de francs). Le choix du matériel doit être bien réfléchi pour qu'il puisse convenir aux épandages demandés. Ce matériel doit répondre aux réglementations et aux normes en vigueur concernant la sécurité d'utilisation. Pour rentabiliser ces investissements, il faut que chaque épandeur réalise un tonnage annuel suffisant. Pour cela, l'entreprise doit être à même de conserver les contrats acquis, voire d'en obtenir d'autres. Il s'agit donc de proposer des prestations ayant un rapport qualité-prix satisfaisant. Ce sont souvent les jeux de la concurrence qui influencent les tarifs. Il ne faut pas que la qualité du travail en pâtisse. Nous plaidons, pour notre part, pour des contrats détaillés ou des démarches qualité vigilantes. Dans ce domaine, les appels d'offres sont réalisés par les collectivités locales ou les bureaux d'études de recyclage. Il y a certainement une marge d'amélioration possible pour une définition stricte des prestations recherchées et une juste tarification correspondante. Nous tenterons d'apporter des éléments permettant de progresser dans cette voie.

1 Le choix du matériel

1.1 Le choix technique

1.1.1 Les choix adaptés aux produits à épandre

Le matériel choisi doit être adapté aux produits à épandre. Nous reprendrons ici les conclusions des chapitres précédents en examinant les choix possibles par type de produit.

Produits liquides

Le choix d'une rampe d'irrigation adaptée correspond à des structures munies de réseau d'irrigation pouvant aussi servir à l'épandage de lisier. Ce lisier doit être propre ou même avoir subi une séparation de phase. Nous

avons, dans ce cas, un système automatisé pouvant être utilisé sur des périodes importantes. Pour les boues liquides, un secteur géographique d'activités ne peut être totalement équipé en réseau. Le choix de cette orientation, au niveau d'une société d'épandage, demande la mise en place d'une organisation de travail cohérente avec la constitution d'une équipe compétente et l'investissement dans un parc logistique suffisant pour pouvoir assurer les emplois permanents correspondants.

Le choix de l'épandage avec tuyau ombilical procure des avantages équivalents, avec cependant plus de souplesse quant aux déplacements entre parcelles et à l'adaptation à de petites surfaces.

La tonne à lisier reste l'équipement le plus polyvalent. L'usage de pompes volumétriques est peu répandu en France ; il permettrait pourtant d'épandre des produits épais qui posent problème aujourd'hui. Nous sommes réservés quant à l'équipement des tonnes à lisier avec une buse palette, si ce n'est à titre de dépannage. La rampe à buse est une première amélioration du système en garantissant la régularité de la largeur de travail. La rampe à pendillards permet de ne pas salir la végétation tout en limitant la volatilisation d'ammoniac comme les mauvaises odeurs. Il convient de vérifier toutefois que le produit à épandre ne provoque pas de bouchage dans ce type de rampe. L'enfouissement est le seul à garantir une protection sanitaire, une absence de volatilisation et d'odeur. Les enfouisseurs polyvalents ne donnant pas totalement satisfaction dans toutes les conditions, il pourra être nécessaire de s'équiper d'un enfouisseur prairies et d'un enfouisseur culture.

Produits pâteux

L'épandage de produits pâteux reste le plus difficile, il convient donc de bien choisir l'épandeur. Pour les produits pâteux fluides (qui s'affaissent si l'on tente de constituer un cylindre de boue), il serait préférable de ne pas chercher à les épandre. On pourra, de préférence, les diluer et utiliser une tonne à pompe volumétrique. Pour les produits pâteux moyens (avec lesquels on pourra constituer un cylindre de boue mais subissant un affaissement partiel), il convient d'utiliser l'épandeur spécial boues pâteuses. Les matériels à vis et table d'épandage sont bien adaptés à l'épandage de ces produits. Pour les boues pâteuses plastiques, il convient de prendre un épandeur à tapis et table d'épandage. Une caisse à section en forme de V facilitera l'écoulement interne.

Produits solides

En général, les épandeurs à hérissons verticaux sont moins coûteux (à l'achat et en entretien) que les matériels à table d'épandage. Leur performances sont souvent modestes en termes de largeur et de finesse d'épandage, ce qui a cependant été démenti lors de notre essai au banc sur boues solides. Ces

appareils sont polyvalents et bien adaptés quand on a une forte proportion de fumier à épandre. Les appareils à table d'épandage sont appréciés pour les composts et pour les boues. Un broyeur peut s'avérer utile pour l'épandage de fumiers compacts ou de produits résistants.

Pour l'épandage des composts et des mélanges épandus à faible dose, il s'avère intéressant d'utiliser des automoteurs à avancement rapide. Nous souhaiterions voir proposer des dispositifs spéciaux d'épandage pour les fientes et autres produits légers afin de garantir une régularité satisfaisante.

1.1.2 Caractéristiques des matériels

Deux guides techniques ont été rédigés à l'intention des acheteurs d'épandeurs (CORPEN, 1997) (Hammelrath et Bourblanc, 2002). Ils leur permettront de connaître les différentes marques et modèles disponibles sur le marché. Des avis d'utilisateurs et de techniciens complètent les fiches documentaires. Pour notre part, nous avons listé un certain nombre d'options possibles pouvant intéresser les utilisateurs potentiels.

Tonnes à lisier

Transfert de charge pour un report de charge sur les roues du tracteur.

Pompe volumétrique pour une meilleure régularité de débit et une pression d'épandage supérieure.

Protection de la pompe par soupape anti-débordement grand diamètre.

Système de refroidissement des pompes avec radiateur ou injection d'air.

Pot d'échappement des pompes avec récupérateur d'huile servant de silencieux.

Système d'échantillonnage automatique pour prélèvement d'échantillons lors du remplissage.

Système d'agitation dans la cuve mécanique ou pneumatique.

Système accélérateur de remplissage.

Système de hacheur à l'entrée de cuve pour broyer le lisier.

Bac récupérateur de pierres.

Broyeur/répartiteur vertical ou à vis sans fin.

Bras de pompage : latéral droit ou gauche ou sur tourelle.

Indicateur de bouchage de tuyaux.

Système de comptage des cuves épandues.

Caméra de recul.

Débit proportionnel à la vitesse d'avancement (DPA) avec débitmètre, capteur de vitesse et ordinateur de bord.

Système de pesage relié à une imprimante.

Télégonflage des pneumatiques.

Radiocommande pour les équipements (bras, pendillards, enfouisseur).

Épandeurs à hérissons verticaux

Porte à lisier guillotine.
Fond mouvant avec tapis quatre chaînes.
Commande électrique du fond mouvant.
Couteaux supplémentaires pour compost sur hérissons verticaux.
Déflecteurs pour épandage en bordure.
Double fond de récupération des boues.
Débit proportionnel à la vitesse d'avancement (DPA).
Hotte ou volet hydraulique de compostage.
Système de pesage relié à une imprimante.
Télégonflage des pneumatiques.

Épandeurs à table d'épandage

Table d'épandage inclinable ou déflecteurs pour épandage en bordure.
Réglage longitudinal de la table d'épandage, localisation du point de chute du produit par rapport à la qualité de répartition.
Réglage de l'orientation des pales sur les disques.
Débit proportionnel à la vitesse d'avancement (DPA).
Broyeur à chaînes dans la hotte de table d'épandage.
Double fond de récupération des boues.
Système de pesage relié à une imprimante.
Télégonflage des pneumatiques.
Couvercle étanche de caisse.

1.2 Les performances de chantier

Les temps de travaux dépendent de nombreux facteurs parmi lesquels le nombre d'épandeurs utilisés, leur capacité, les moyens de chargement, la distance entre le tas et la parcelle, la dose à épandre, la largeur d'épandage et la vitesse d'avancement lors de l'épandage. Il n'est donc pas possible d'établir de règle simple permettant de prévoir les rendements de chantier. C'est pour cette raison que nous nous limiterons à quelques cas types inspirés de nos observations et pour lesquels nous avons tenté de dégager les composantes principales.

1.2.1 Chantiers d'épandage de boues liquides

Pour ces divers cas types, nous prendrons l'exemple d'une dose d'épandage de 35 m³/ha et une journée de travail de 8 heures (hors entretien, déplacement et préparations).

Rampe d'épandage sur tonne

Chantier à 100 m³ par jour (rampe 12 m).

Cuve 10 m³ (capacité utile 9 m³), rampe 12 m, distance fosse-parcelle 4 km.

Remplissage : 6 mn

Trajet : 18 mn aller + 15 mn retour.

Épandage : 5 mn (250 m à 5 km/h et 2 mn de temps morts).

Soit 44 mn pour 9 m³ ou 100 m³ pour 8 heures.

Ce chantier est très handicapé par la longueur du trajet à parcourir. Nous verrons dans l'exemple suivant que le rendement de chantier double en passant d'une distance de 4 km à une distance de 1 km.

Chantier à 200 m³ par jour (rampe 12 m).

Cuve 10 m³ (capacité utile 9 m³), rampe 12 m, distance fosse-parcelle 1 km.

Remplissage : 6 mn

Trajet : 6 mn aller + 5 mn retour.

Épandage : 5 mn (250 m à 5 km/h et 2 mn de temps morts).

Soit 22 mn pour 9 m³ ou 200 m³ pour 8 heures.

Chantier à 350 m³ par jour (rampe 12 m)

Cuve 22,5 m³ (capacité utile 21,5 m³), rampe 12 m, distance fosse – parcelle 1 km.

Remplissage : 9 mn

Trajet : 6 mn aller + 5 mn retour.

Épandage : 10 mn (600 m à 5 km/h et 3 mn de temps morts).

Soit 30 mn pour 21,5 m³ ou 350 m³ pour 8 heures.

Ici, l'utilisation d'une tonne de grande capacité permet de limiter le nombre de voyages à effectuer. La puissance du tracteur peut influencer les temps de travaux.

Chantier à 250 m³ par jour (rampe à tuyau ombilical)

Rampe 12 m, réseau d'approvisionnement.

Installation, rinçages, rangement 1,5 h.

Épandage : 50 m³/h, 25% de temps morts, 5 h d'épandage, soit 250 m³.

Le chantier est plus rapide en lui-même car la rampe sur tracteur est toujours alimentée, mais il faut compter avec le temps d'installation et de désinstallation qui est assez long. La vitesse de travail est lente. Les rendements de chantiers peuvent s'avérer semblables à ceux obtenus avec une tonne. Par contre, les périodes d'épandage seront augmentées chaque année.

Enfouisseurs

Chantier à 125 m³ par jour (enfouisseur 3 m)

Cuve 10 m³ (capacité utile 9 m³), enfouisseur 3 m, distance fosse-parcelle 1 km.

Remplissage : 6 mn

Trajet : 6 mn aller + 5 mn retour.

Épandage : 17 mn (1000 m à 4 km/h + 2 mn de temps morts).

Soit 34 mn pour 9 m³ ou 125 m³ pour 8 heures.

C'est surtout la faible largeur de travail qui handicape, ici, les rendements de chantiers. La vitesse d'avancement dépendra de la puissance du tracteur, de l'état du sol et de la profondeur d'enfouissement.

Chantier à 575 m³ par jour (automoteur avec approvisionnement par camion citerne, enfouisseur 4,70 m)

Cuve 16 m³, enfouisseur 4,70 m.

Remplissage : 6 mn

Épandage : 7,5 mn (1100 m à 12 km/h + 2 mn de temps morts).

Soit 13,5 mn pour 16 m³ ou 575 m³ pour 8 heures.

Dans cet exemple, nous avons à la fois une largeur d'enfouissement importante et une grande vitesse de travail. Dans cette configuration, le Terra Gator peut même enfouir à des vitesses supérieures (20 km/h). Le débit de chantier est également augmenté par l'approvisionnement continu assuré par deux camions.

1.2.2 Chantiers d'épandage de boues solides

Pour ces divers cas types, nous prendrons l'exemple d'une dose d'épandage de 30 t/ha et une journée de travail de 8 heures (hors entretien, déplacement et préparations). Le tas est placé en bout de champ.

Chantier à 320 t par jour (épandeur 10 t, largeur de travail 6 m)

Chargement : 6 mn

Épandage : 8 mn (555 m à 5 km/h + 2 mn).

Soit 15 mn pour 10 t ou 320 t pour 8 heures.

Il ne faut pas vouloir comparer ce débit de chantier à celui d'une vidange de stabulation et épandage simultané. Dans ce dernier cas, s'ajoutent les temps de transport et les temps de curage.

Chantier à 850 t par jour (deux épandeurs 12 t, largeur de travail 12 m)

Chargement : 6 mn

Épandage : 7 mn (333 m à 4 km/h + 2 mn).

Soit 13 mn pour 24 t ou 850 t pour 8 heures.

La largeur de travail choisie et la capacité sont plus importantes que dans le cas précédent, en référence aux chantiers que nous avons pu observer.

Ceci correspondra à **1275 t/jour pour 3 épandeurs**, à condition de disposer d'un chargeur assez performant pour charger ces 3 épandeurs.

Chantier à 750 t par jour (un épandeur automoteur 25 t avec une largeur de travail de 14 m)

Chargement : 5 mn

Épandage : 9 mn (600 m à 4 km/h + 2 mn).

Soit 16 mn pour 25 t ou 750 t pour 8 heures.

Il s'agit ici d'un épandeur automoteur muni d'une vis frontale de chargement. Le rendement de 100 tonnes par heure est fréquemment observé à

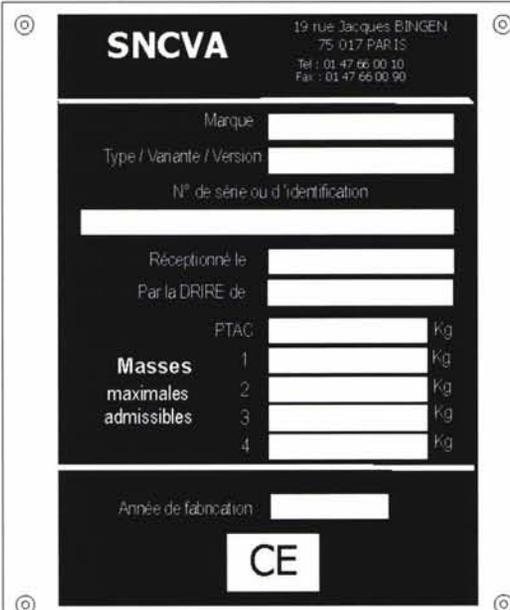
condition que le terrain soit plat et bien roulant. La largeur choisie de 14 m dépend en réalité de la nature de boues à épandre.

Dans les **cas de doses faibles**, le temps de chantier augmente rapidement. Pour une dose divisée par deux, la longueur à parcourir pour l'épandage d'un chargement est multipliée par deux, c'est-à-dire que le rendement d'épandage (au sens strict) est divisé par deux. Il y a donc intérêt pour ces basses quantités par hectare à disposer d'un appareil pouvant épandre avec une vitesse d'avancement rapide.

1.3 Les impératifs réglementaires

Il existe trois réglementations principales auxquelles sont soumis les matériels d'épandage : le code du travail, le Code de la route et pour les tonnes à lisier la directive Équipements sous pression (DESP). Pour utiliser un matériel et pour circuler sur les voies publiques dans des conditions optimales de sécurité, il est important que les préconisations du constructeur soient respectées et que le véhicule soit conforme aux réglementations qui lui sont applicables.

Le constructeur atteste de la conformité du matériel en remettant à l'acheteur les documents d'attestation suivants : la feuille des Mines, le certificat CE de conformité au code du travail, la notice d'instructions et le cas échéant, le certificat CE de conformité à la DESP. Le marquage de l'épandeur reprend ces composantes, souvent sur une plaque d'identification unique (cf. figure 7.1). Le sigle CE atteste la conformité au code du travail. La date et le lieu de réception attestent la conformité au Code de la route.



19 rue Jacques BINGEN
75 017 PARIS
Tel : 01 47 66 00 10
Fax : 01 47 66 00 90

Marque

Type / Variante / Version

N° de série ou d'identification

Réceptionné le

Par la DRIRE de

PTAC	<input type="text"/>	Kg	
Masses	1	<input type="text"/>	Kg
maximales	2	<input type="text"/>	Kg
admissibles	3	<input type="text"/>	Kg
	4	<input type="text"/>	Kg

Année de fabrication

CE

Figure 7.1 – Exemple de plaque d'identification répondant aux exigences du code du travail et du Code de la route

À proximité de la plaque, doit figurer le numéro de série frappé sur le châssis. Une plaque complémentaire dite « plaque de tare » doit indiquer le poids à vide et le poids total autorisé en charge.

Pour les tonnes à lisier, la conformité à la directive Équipements sous pression est attestée par une plaque supplémentaire (cf. figure 7.2). La DESP concerne les équipements dont la pression de service est supérieure à 0,5 bar. Le constructeur est tenu de respecter un ensemble de prescriptions lors de la conception et de la fabrication de la cuve. Un test final est également réalisé sur chaque tonne avant sa mise sur le marché. L'ensemble est réalisé sous le contrôle d'un organisme indépendant.

SNCVA 19, rue Jacques Bingen 75017 PARIS Tel : 01.47.66.00.10 Fax : 01.47.66.00.90		CE
	Organisme notifié n°	_____
Marque	_____	
Type	_____	
Numéro de série	_____	
Année de fabrication	_____	
Fluide et groupe	GAZ Groupe II	
Pression de service	_____	bar
° de service minimum	Ambiante	
T° de service maximum	_____	°C
Pression d'épreuve	_____	bar
Volume	_____	litres

Figure 7.2 – Plaque de conformité CE à la directive Équipements sous pression.

Vis-à-vis du Code de la route, la conformité du matériel est vérifiée par un organisme officiel (la DRIRE). On reconnaîtra la conformité d'un véhicule par les indications qu'il porte sur la plaque constructeur (date et lieu de réception en particulier) et par la feuille des Mines remise avec tout véhicule. Un seul véhicule, par type de matériel, est présenté à la DRIRE avec le dossier technique correspondant. Les autres véhicules produits selon le même type doivent avoir des caractéristiques similaires. En particulier, pour être autorisé sur chaque épandeur, le montage avec pneus larges entraînant un dépassement de la largeur maximum hors tout (2,55 m) doit avoir été réceptionné par la DRIRE. Les principaux points vérifiés concernent les dimensions, la répartition des charges à vide et en charge ainsi que le freinage. Les équipements utilisés (essieux, roues, anneaux d'attelage, ressorts de timon) doivent être accompagnés d'une attestation de conformité. Les charges autorisées sont indiquées dans le tableau 7.1.

	Charge maximale sur les essieux	Charge maximale sur l'anneau	PTAC
1 essieu	13 t	3 t	16 t
2 essieux	$2 \times 10,5 = 21$ t	3 t	24 t
3 essieux	cf. PTAC	3 t	32 t

Tableau 7.1 – Poids total autorisé en charge (PTAC), en fonction du nombre d'essieux.

Vis-à-vis du code du travail, le constructeur certifie lui-même (autocertification) que son matériel est conforme. En cas d'accident, sa responsabilité peut être engagée. La preuve de conformité visible sur le véhicule est l'apposition du logo CE. D'autre part, un certificat CE accompagnera le véhicule à l'arrivée de celui-ci chez l'utilisateur. Les points concernés correspondent à divers articles du code du travail. On peut noter ainsi les dégagements à respecter pour éviter l'écrasement d'une main par une pièce en mouvement ou les tubes de protection devant isoler les arbres en rotation. L'échelle d'accès doit avoir des dimensions répondant aux normes en vigueur... Il ne s'agit ici que de quelques indications. À titre d'exemple des guides techniques et réglementaires ont été élaborés (Clavel et Arconte, 2000) (Arconte *et al.*, 2002) afin de faciliter la consultation et la compréhension des articles du code du travail qui ne propose, de son côté, aucune solution technique.

Le Syndicat national des constructeurs de véhicules agricoles (SNCVA) attire l'attention des acheteurs de remorques agricoles sur les défauts de certification qu'il est toujours possible de constater à l'heure actuelle. Une vigilance s'impose donc, tant au niveau de la clientèle qu'à celui des organisateurs d'expositions agricoles ou de démonstrations d'épandeurs afin d'exiger le respect des réglementations en vigueur.

Pour que les efforts réalisés en matière de prévention soient efficaces, il faut que le manuel d'utilisation mette en garde les opérateurs sur les dangers encourus. Pour les épandeurs de fumier, les accidents les plus graves sont dus aux projections de pierres, aux interventions de nettoyage dans la caisse, aux arbres de transmission mal protégés. Les messages de prévention correspondants sont les suivants :

- éviter la présence de personnes dans la zone d'évolution de la machine ;
- interdire toute intervention dans la caisse (pour le nettoyage notamment) lorsque la transmission fonctionne, y compris au ralenti ;
- remplacer le protecteur de l'arbre de transmission à cardans endommagé.

Pour les tonnes à lisier, les accidents les plus graves sont dus à des chutes du haut de la tonne, à la projection de la porte sous l'effet de la pression, à l'entretien dans la cuve et aux arbres de transmission mal protégés. Les messages de prévention impératifs sont les suivants :

- vérifier régulièrement le bon fonctionnement de la soupape de sécurité du compresseur ;
- ne pas pénétrer dans la cuve (atmosphère toxique) ;
- remplacer le protecteur de l'arbre de transmission à cardans endommagé.

Comme on peut le voir, le rôle du manuel d'instructions est très important tant pour la bonne utilisation d'une machine que pour la sécurité de l'opérateur. Il est impératif que ce manuel d'utilisation soit toujours livré avec la machine, que le chauffeur de l'appareil en ait pris connaissance et que ce document reste en permanence consultable lors de l'utilisation de la machine. Des formations comme le CACES (Certificat d'aptitude à la conduite d'engins en sécurité) sont également recommandées pour tous les chauffeurs salariés ou non.

2 Les contrats-qualité

Les réglementations imposent des niveaux minima à respecter par l'ensemble des intervenants dans l'activité concernée. Les opérateurs souhaitent de plus en plus faire reconnaître la qualité de leurs prestations en établissant des niveaux de référence supérieurs aux normes obligatoires (Serpantié, 2001). Ceci s'est traduit par des opérations regroupant des volontaires dans des démarches concertées et pouvant prendre plusieurs formes : charte qualité, cahier des charges, codes de bonnes pratiques, Plan Environnement Entreprise, certification, labels. Parmi ces différentes configurations, la charte qualité de la FNETARF (Fédération Nationale des Entreprises de Travaux Agricoles Ruraux et Forestiers) propose une première application concrète, intéressante pour les chantiers d'épandage.

2.1 La charte professionnelle FNETARF

Nous reproduisons, en encadré, le texte de la charte professionnelle de la FNETARF concernant l'ensemble des activités d'entreprises de travaux où sont inclus les épandages.

Près de 500 entrepreneurs ont signé la charte FNETARF, mais tous les adhérents n'ont pas compris l'intérêt que peut représenter la signature de cette charte. Il est vrai que cette adhésion ne procure pas d'avantage immédiat à l'entreprise signataire. On peut également remarquer qu'il n'est pas prévu de vérification ou d'audit de l'application faite par les chartistes. Ceci constitue une faiblesse à long terme qui peut hypothéquer la portée de cette charte.

À notre avis, cette charte est un très bon moyen de sensibilisation, et peut s'avérer une étape décisive dans la constitution de référentiels spécialisés, en particulier dans le domaine des épandages.

Charte professionnelle de la FNETARF

(copie)

En qualité

d'entrepreneur de travaux agricoles ruraux et forestiers affilié à la FNETARF, responsable et conscient du rôle qui est le mien, et des enjeux liés à mes prestations, dans le cycle de la production agricole végétale et animale dans le cadre de l'aménagement et de la protection du territoire rural,

Je m'engage

À **écouter** les besoins exprimés par mes clients.

À **conseiller** ceux-ci en m'appuyant sur la diversité de mon savoir-faire et de mon expérience.

À **proposer** ainsi les prestations les mieux adaptées.

À **afficher** et à fournir les barèmes de prix que mon entreprise propose.

À **établir** systématiquement un devis gratuit pour toutes les prestations, stipulant les conditions générales et particulières du contrat, ainsi qu'une facture détaillée.

À **garantir** à mes clients le respect des engagements pris dès l'acceptation du devis, y compris si, le cas échéant, les prestations sont réalisées, à mes frais et charges, par un autre entrepreneur FNETARF.

À **maintenir** inchangées les conditions du contrat sauf accord explicite et écrit de mes clients.

À **contracter** une assurance responsabilité civile qui couvre les dommages subis par mes clients ou des tiers pendant mes prestations.

À **recourir** exclusivement à un personnel justifiant une qualification et une pratique professionnelle confirmées, répondant aux obligations du code du Travail.

À **prévenir** mes clients dans un délai suffisant du début des travaux, afin de faciliter leur présence et la mise en place des moyens complémentaires nécessaires au bon déroulement de ma prestation.

À **utiliser** uniquement du matériel révisé et en parfait état de fonctionnement.

À **vérifier** la propreté et le réglage des machines pour garantir le meilleur résultat à mes clients.

À **accomplir** ma prestation avec zèle, en déployant tous mes efforts et les soins nécessaires, pour préserver les intérêts de mes clients.

À **faire signer** à mes clients, à chaque fin de chantier, un Bon de Travail.

À **rechercher** avec la FNETARF un règlement à l'amiable avec mon client en cas de litige.

TEXTE DE LA CHARTE PROFESSIONNELLE FNETARF

2.2 Référentiel épandage

En matière d'épandage, il existe déjà un référentiel de certification des services établi par Qualicert pour le SYPREA (SYndicat des PROfessionnels du REcyclage en Agriculture). L'objectif est d'attribuer un label de qualité impliquant des filières complètes, du producteur de déchets aux différents prestataires engagés dans l'épandage. Le chantier d'épandage n'est donc qu'une composante parmi d'autres dans cette démarche.

Nous proposons, pour notre part, des éléments d'analyse de la qualité du travail exécuté lors du chantier d'épandage. Ces divers points pourront être repris, soit dans un référentiel global, soit dans un référentiel spécialisé. Ils pourront aussi être repris dans des cahiers techniques ou clauses d'appels d'offres, voire directement dans des contrats d'attribution de chantier. Il faut cependant considérer la différence effective entre les deux approches. Dans une démarche qualité, tout manquement constaté au référentiel fait l'objet d'une fiche de non-conformité. L'objectif est de réduire à chaque campagne les non-conformités constatées. Dans un contrat commercial, tout manquement constaté peut faire l'objet d'une rupture de contrat ou d'une pénalité. La formule est donc moins souple et le texte doit être adapté aux possibilités effectives pour présenter une viabilité suffisante. Un effort important doit, cependant, être fait à ce niveau, car il est fréquemment relaté que les attributaires des appels d'offres sont choisis en vertu de la règle du « moins-disant » et non en fonction d'une qualité de travail référencée.

Les articles du référentiel proposé ont été répartis dans les diverses étapes de l'activité d'épandage. Quelques commentaires sont rajoutés pour expliciter le propos.

Plan d'épandage

Le responsable de chantier (qui peut être le chauffeur du matériel) doit avoir sur place le plan de la parcelle à épandre avec les repères des zones d'exclusion, ainsi que les principales consignes d'épandage : dose, références du produit épandu, lieux de stockage.

Le responsable de chantier doit pouvoir renseigner les personnes présentes sur le moyen d'obtenir une information complète sur le produit épandu (Nom et adresse du responsable technique).

Le responsable de chantier doit noter les événements survenus lors de l'épandage lorsqu'ils affectent la conformité avec le plan établi. Dans ce cas, un schéma sera tracé sur la carte fournie.

Les zones d'exclusion de la parcelle seront repérées et balisées.

Matériel d'épandage

Le matériel utilisé doit correspondre à un type d'épandeur ayant fait l'objet d'essais de certification dans un centre habilité.

L'épandeur doit être muni de pneus basse pression.

Le matériel doit être entretenu. Les organes d'épandage (pales, buses, cou-teaux) ne doivent pas présenter des marques d'usure avancée.

Le tracteur doit être adapté à l'épandeur pour pouvoir fournir la puissance nécessaire à un bon fonctionnement.

Le livret d'utilisation de l'épandeur doit figurer à bord.

Commentaire : peu d'épandeurs ayant été testés à ce jour, il conviendra d'attendre le développement de ces essais avant de mettre en vigueur la première clause. En l'absence de tests, il sera demandé des références au constructeur concerné.

Réglages

Pour chaque produit épandu, représentant une filière de plus de 500 tonnes d'épandage, l'entreprise effectuera au moins une pesée de l'appareil chargé et une mesure du temps de vidange correspondant. L'entreprise établira la fiche de réglage, avec la totalité des consignes de réglage : vitesse de tapis, vitesse de tracteur, hauteur de porte. Chaque dose appliquée donnera lieu à l'édition d'une fiche. La pression des pneumatiques en accord avec le chargement du produit référencé devra être mentionnée. Un exemplaire de cette fiche pourra être consulté sur le chantier d'épandage.

L'entreprise facilitera la mise en œuvre de tests de régularité d'épandage lorsque ceux-ci pourront être organisés. Les résultats seront communiqués au chauffeur pour la prise en compte des nouvelles consignes.

Contrôles

Des contrôles de chantier pourront être réalisés pour vérifier le respect des données d'épandage.

Mesure de la surface d'épandage pour une quantité donnée de produit : vérification de la dose réelle ($\pm 10\%$).

Mesure de la répartition par des bacs au sol : dans ce cas, les moyens de contrôle et les performances exigées devront être en adéquation avec les caractéristiques physiques des produits à épandre (coefficient de variation $< 30\%$).

Vérification de la régularité des espacements entre passages ($\pm 10\%$).

On ne devra pas observer sur le terrain des mottes de masse supérieure à la dose normale sur 1 m^2 .

On ne devra pas observer de zones sans produit sur une surface supérieure à 1 m^2 .

On ne devra pas observer sur le terrain de discontinuité notable entre la fin de vidange d'un épandeur et le début de vidange du suivant.

Commentaire : les valeurs annoncées devront être modulées en fonction du produit à épandre et de la difficulté de cet épandage. La sévérité dépendra aussi du type d'engagement formulé (certification, contrat).

Chantier

Les délais prévus doivent être respectés. Toutefois, le responsable de chantier devra suspendre les épandages si les conditions doivent entraîner une détérioration de la parcelle épandue.

Les bords de la parcelle doivent recevoir un épandage spécifique. Un dispositif d'épandage de bordure sera mis en œuvre pour éviter les projections hors de la parcelle.

Le chantier doit être conduit proprement. La zone de chargement doit être raclée à la fin de l'épandage. Les routes d'accès seront maintenues propres. Une signalisation sera mise en place en cas de risque vis à vis de la circulation.

Réclamations

Dans le cas où des réclamations auraient été déposées à l'encontre du travail effectué, celles-ci seront examinées en commun entre l'entreprise et le donneur d'ordre.

2.3 Certification des entreprises

Les démarches qualité mises en place dans le monde agricole ne concernent pas directement les entreprises de travaux agricoles. Par contre, les référentiels normatifs ISO 9001 et ISO 14001 seront directement applicables. Ils concernent aussi de nombreux partenaires commerciaux de l'entreprise. La prise en compte de ces certifications est déjà effective dans les appels d'offres émis dans le domaine des travaux publics et pourrait le devenir pour les chantiers agricoles. Ce constat a amené l'entreprise Lefrançois, qui a une forte activité d'épandage, à étudier la mise en place d'un système de management de la qualité. Une étude détaillée (Van de Velde, 2001) privilégie la norme ISO 9001. Cette mise en place devra être accompagnée par un cabinet conseil. Elle demande l'adhésion de l'ensemble du personnel qui sera sensibilisé par une formation adaptée. L'élément le plus contraignant de cette démarche vient de la lourdeur de cette phase préparatoire dont le budget sera de l'ordre de 50 000 € et la durée de deux ans.

3 La traçabilité

Les dossiers relatifs à l'épandage des déchets sont très souvent traités par informatique. Ils prennent la forme de fichiers qui permettent l'échange d'informations entre les différents acteurs de la filière et doivent contribuer à son optimisation. La qualité du système d'information ainsi créé repose, pour une grande part, sur la qualité de ses données d'entrée. La collecte d'informations, le plus en amont possible du processus de production et la plus automatisée possible, est la voie à encourager afin de réduire, par exemple, les erreurs de saisies multiples.

La traçabilité des épandages est déjà assurée par la tenue des registres réglementaires. Il est difficile dans ce cas de cumuler les informations provenant de plusieurs registres afin d'établir par exemple des statistiques sur un bassin versant ou des zones de captage d'eau. L'informatique ouvre la possibilité de consulter facilement les fichiers créés et d'établir des bilans suivant les critères voulus. Cela ouvre aussi la possibilité de sauvegarder des enregistrements provenant d'appareils compatibles tels que le GPS (système de localisation par satellites). Un projet d'étude a été mené par l'ADEME et le Cemagref afin de définir et d'évaluer les possibilités de traçabilité procurées par l'usage du GPS sur les chantiers d'épandage (Berducat *et al.*, 2001). Le principe de fonctionnement est basé sur une procédure de circulation générale des données entre les principaux intervenants de la filière épandage. La figure 7.3 schématise l'organisation de la collecte des informations.

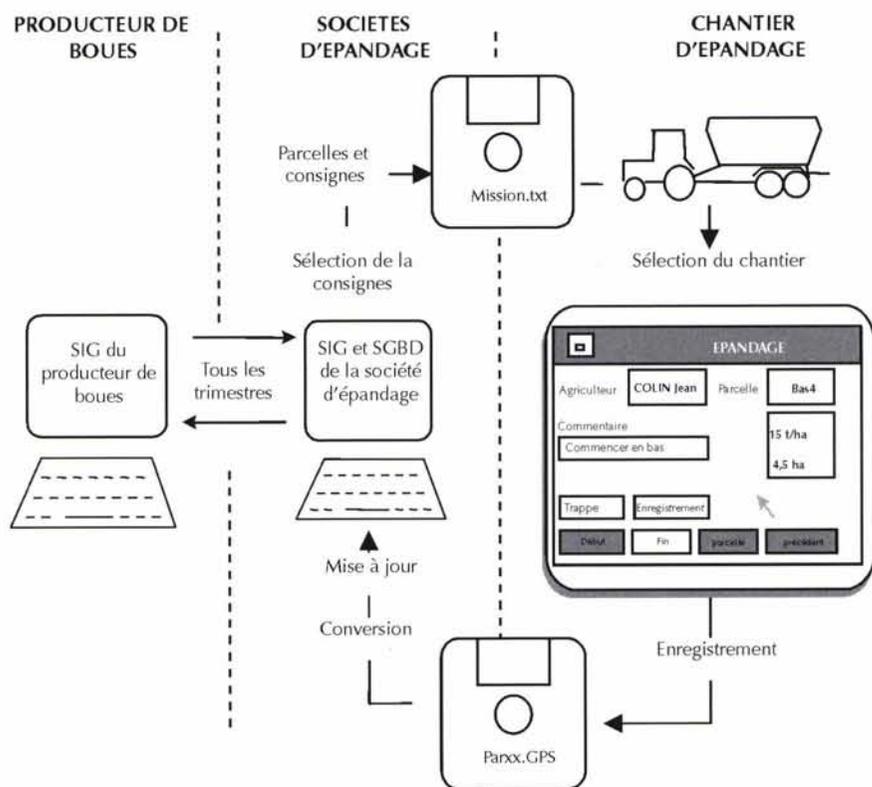


Figure 7.3 – Circulation des données entre les principaux intervenants.

Le producteur de boues, clairement identifié comme responsable de l'épandage des boues résiduelles en agriculture, fait généralement appel à une

société d'ingénierie à même de réaliser l'organisation et le suivi des travaux selon les exigences requises. La société d'ingénierie réalise en direct ou sous-traité auprès d'entreprises locales (ex. : ETA, CUMA,...) les activités de transport et d'épandage.

La préparation du chantier d'épandage est réalisée par la société d'ingénierie à partir de sa base de données couplée à un **SIG** (Système d'information géographique). Le plan de travail est transmis par support informatique (carte mémoire) au système embarqué sur le matériel d'épandage. Dans la cabine du tracteur, un ordinateur de bord permet de lire les fichiers mission enregistrés sur la carte mémoire. Le chauffeur sélectionne la parcelle à épandre et initialise automatiquement un fichier qui lui correspond. Le suivi cartographique des épandages est alors relativement simple dans son principe. Le **GPS** permet, à chaque instant, de suivre le tracteur qui réalise l'épandage. Les informations correspondant aux trajectoires du véhicule (coordonnées en longitude et latitude) sont enregistrées. Un capteur disposé sur l'épandeur détecte si celui-ci est en opération d'épandage. L'information « dose épandue » (si disponible) peut aussi être mémorisée.

À la fin du chantier, les données stockées peuvent être récupérées sur le même support et retransmises à la société d'ingénierie pour analyse et traitement. Les informations utiles pourront alors être communiquées ultérieurement au producteur de boues.

L'outil proposé constitue donc un outil efficace de traçabilité. L'enregistrement automatisé des données de chantier permet de recueillir des informations en quantité et en qualité du travail effectué. Les données géoréférencées obtenues sont appelées à circuler entre les différents acteurs de la filière. L'objectif est de réaliser une circulation simple et complète, évitant de ressaisir des informations à plusieurs niveaux, et donc le risque d'erreurs.

Le procédé a été expérimenté sur chantier au moyen d'un ordinateur portable et de transferts par disquette, permettant de réunir des informations concrètes sur les performances envisageables du système. Pour sa diffusion, il fallait alors dépasser l'étape expérimentale afin de pouvoir proposer un matériel fiable et directement opérationnel. Une enquête a permis de recueillir les avis de divers intervenants des filières d'épandages. Il est ressorti que le projet était souvent bien compris à tous niveaux, mais que l'exploitation rationnelle de ce système devait passer par l'implication des sociétés d'ingénierie, point stratégique de circulation de l'information. Les équipementiers spécialisés en électronique agricole ont alors proposé des dispositifs embarqués, pouvant gérer cette traçabilité, mais ne répondant que partiellement aux besoins exprimés. Des contacts directs ont été établis entre équipementiers et sociétés d'épandage. La société Sede Environnement, travaillant avec l'entreprise de travaux agricoles Lefrançois déjà équi-

pée de matériel *Agrotronix* pour la régulation de ses épandeurs, a décidé de se rapprocher de cet équipementier. Elle a ainsi réalisé les développements permettant, à partir de requêtes générées sur son logiciel *Suivra* (bâti à partir d'une base de données « Oracle » et d'un SIG « Arcview »), de préparer un fichier de mission informatisé compatible avec le système embarqué *Agro-pilot* d'*Agrotronix* et, en retour, de rapatrier les trajectoires de l'épandeur (cf. figure 7.4). Ces trajectoires d'épandage peuvent alors être superposées aux cartes des parcelles enregistrées dans le plan d'épandage.

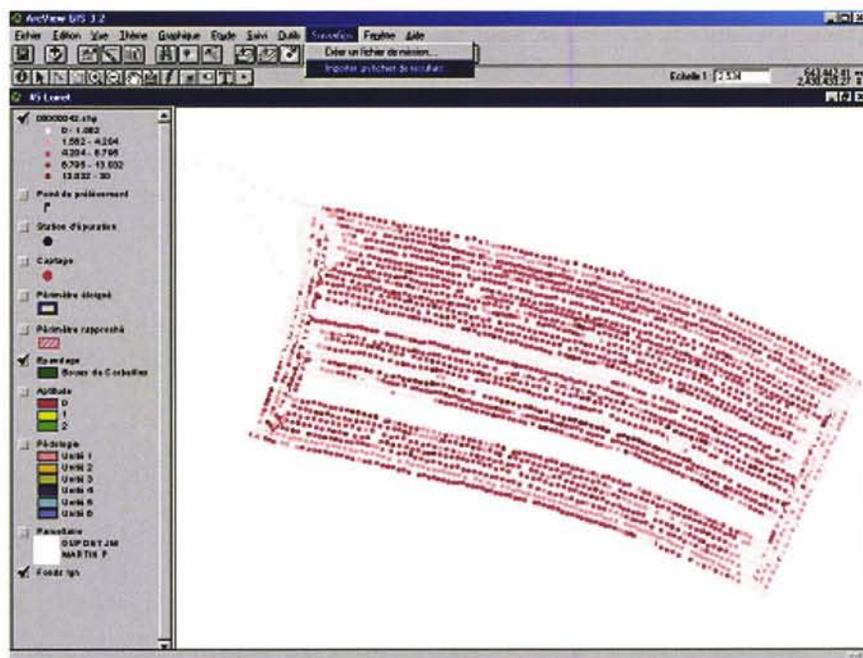


Figure 7.4 – Trajectoires brutes sur parcelle importées sous SIG (documentation *Sede Environnement*)

La poursuite du développement de ce procédé de traçabilité est maintenant passée dans une phase opérationnelle avec la création de quatre sites pilotes associant chacun un équipementier électronique et une société d'ingénierie du recyclage agricole. Ces quatre sites répartis sur la France seront coordonnés par le SYPREA, en liaison avec l'ADEME et le Cemagref. L'enregistrement des données d'épandage a également été pris en considération et retenu par deux communautés urbaines différentes comme clause constitutive de l'appel d'offres concernant leurs chantiers d'épandage.

4 Le coût de l'épandage

4.1 Le coût dans la filière de recyclage

Une étude économique des épandages de boues de station d'épuration a été réalisée en 1998 (Ferry et Wiart, 1999). Nous reprendrons les chiffres cités (sans réactualisation) résultant de l'analyse de 71 cas réels. Les résultats obtenus ne doivent pas être considérés comme des références, mais sont révélateurs de la diversité des situations actuelles.

Le coût moyen du traitement des boues déterminé dans cette étude est de 71 € par tonne de matière brute. C'est une part prédominante (55 % en moyenne) dans le coût de fonctionnement d'une filière d'épuration. Cette part s'élève à 70 % dans le cas d'une filière de boues solides chaulées, mais n'est que de 10 à 15 % pour des boues liquides d'épaississeur. La part moyenne correspondant à l'épandage contrôlé (reprise, transport, épandage, études et suivi) est de 27 € par tonne de matière brute ou 41 € en y incluant le stockage des boues.

Nous avons relevé les chiffres correspondant à l'épandage des boues liquides (cf. figure 7.5). Nous ne considérerons ici que les prestations tarifées et non les estimations correspondant à des échanges de services.

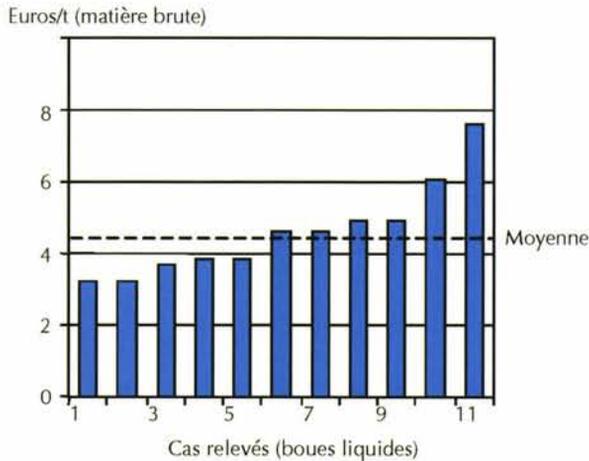


Figure 7.5 – Coût du transport et de l'épandage des boues liquides

Le coût moyen observé est de 4,5 € par tonne (ou m³) transportée et épandue. La longueur du transport influence beaucoup les rendements de chantier. Elle peut constituer une explication de la variation des coûts observés. La nature de la prestation peut aussi varier, entre enfouissement et épandage

par exemple. Ainsi la prestation la plus coûteuse correspond-elle à un chantier dont nous avons précédemment souligné la qualité d'exécution.

Les coûts correspondants aux épandages de boues pâteuses et solides sont indiqués à la figure 7.6.

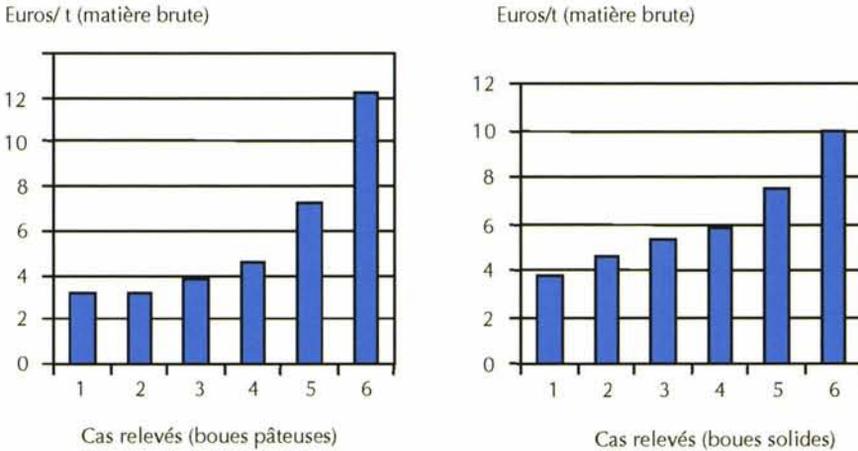


Figure 7.6 – Coût de l'épandage des boues pâteuses et solides

Dans ces deux cas, le transport n'est plus pris en compte, la boue étant livrée en bout de champ. Nous retrouvons une diversité de tarifs sans connaître toutefois la qualité réelle des prestations effectuées. Le coût moyen pour l'épandage des boues pâteuses est de 5,7 € ; pour les boues solides il est de 6,1 €. Ces coûts sont supérieurs à ceux de l'épandage des boues liquides, bien qu'ils n'incluent pas le transport. Il faut remarquer que le chantier nécessite la présence d'un chargeur supplémentaire. En outre, l'épandage des boues liquides est souvent réalisé par un agriculteur et ne constitue qu'une activité ponctuelle, alors que les chantiers réalisés en boues solides demandent une logistique importante.

4.2 Le coût du chantier

Les tarifs cités précédemment ont été élaborés à l'occasion d'appels d'offres basés sur des conditions précises de chantier. Pour établir ces tarifs, il est souvent prévu une modulation en fonction de la distance de transport à effectuer ou de la dose d'apport, comme le montre le tableau 7.2.

Produit épandu	Dose	Tarif
Boue solide	10 t/ha	3,80 €/t
Boue solide	15 t/ha	3,35 €/t
Boue solide	20 t/ha	3,05 €/t
Fientes	3 t/ha	7,95 €/t
Fientes	4 t/ha	7,00 €/t
Fientes	5 t/ha	6,10 €/t

Tableau 7.2 – Exemples de modulation de tarif suivant la dose apportée.

On peut aussi prévoir une double base de tarification : au m³ épandu et à l'heure de travail effective. D'une façon plus générale, il est possible de déterminer un coût de chantier en partant de ses caractéristiques (Couvreur et Bailly, 2001). La méthode consiste à analyser le coût de chaque poste en se basant sur des hypothèses de temps de travaux et des références de coût établies sur un parc de matériel significatif.

- Main d'œuvre : 30 €/h (en incluant la part due aux heures non productives : trajets, entretien, réparations...);
- Chargeur : 40 €/h ;
- Tracteur 120 kW : 40 €/h.

Les coûts habituellement publiés pour les épandeurs ne sont pas adaptés à des épandages intensifs. Nous décomposerons donc ce coût pour un épandeur 12 tonnes à table d'épandage réalisant 10 000 t d'épandage par an. La valeur d'achat est de 30 000 €. La valeur résiduelle, après 5 ans est de 10 000 €. Les charges se décomposent donc ainsi.

Charges fixes

- Amortissement : 4 000 €/an
- Intérêt du capital : 1 500 €/an
- Remisage : 150 €
- Assurance : 150 €

Charges de fonctionnement

- Frais d'entretien et de réparation : 0,40 €/t

Nous obtenons alors un coût de 1 €/t. Il faut rajouter les coûts dus aux autres postes. Pour cela, nous prendrons l'exemple du chantier précité à deux épandeurs réalisant 100 t d'épandage par heure. Le coût par heure se décompose ainsi.

Main d'œuvre : 3 x 30 = 90 €

Tracteurs: 2 x 40 = 80 €

Chargeur : 40 €

Épandeurs: 100 €

Soit 310 € par heure ou 3,10 €/tonne.

Ceci est inférieur aux prix observés précédemment et pourrait laisser présager une marge importante des entreprises concernées. Aujourd'hui, lors

du raisonnement de l'investissement, l'entreprise ne peut avoir la certitude d'un marché continu sur cinq années. Il ne serait pas raisonnable de s'engager sur le coût direct sans prévoir une marge supplémentaire. C'est aussi le raisonnement qui est tenu dans les CUMA où le prix facturé à la prestation d'épandage de boues pour une communauté urbaine est supérieur à celui qui est consenti aux adhérents pour l'épandage de leurs effluents. Il faut noter à ce propos que les CUMA sont limitées dans leur chiffre d'affaires en prestations extérieures.

La détermination d'une juste tarification ne peut pas être résolue par le simple calcul des charges. Lors de l'attribution d'un chantier, il faut impérativement définir la qualité de la prestation. Certains entrepreneurs proposent différents tarifs correspondant à plusieurs niveaux d'intervention. Ceci n'est sans doute pas la formule à recommander. Il faut définir au départ les critères de conformité retenus. C'est donc un rapport qualité/prix qui doit prévaloir dans la gestion des épandages.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Arconte U., Banas B., Dufumier D., 2002, *Réglementation des machines mobiles et forestières (2^e édition)*, Document ministère de l'Agriculture et de la Pêche – Cemagref, Éditions Cemagref, 36 p.
- Berducat M., Soullignac V., Thirion F., Devaux J.F., 2001, *Système embarqué pour le suivi par GPS des chantiers d'épandage*, Actes du colloque ADEME Cemagref « Logistique des épandages » Vichy, p. 89-96.
- Clavel P., Arconte U., 2000, *Mise en conformité des machines mobiles agricoles et forestières*, Document ministère de l'Agriculture et de la Pêche – Cemagref, Éditions Cemagref, 249 p.
- CORPEN, 1997, *Bien choisir et mieux utiliser son matériel d'épandage de lisiers ou de fumiers*, Brochure réalisée par le sous-groupe matériels d'épandage du groupe élevage, 55 p.
- Couvreur J.P., Bailly M.L., 2001, *Analyse économique des épandages des effluents d'élevage*, Actes du colloque ADEME Cemagref « Logistique des épandages » Vichy, p. 115-122.
- Ferry M., Wiart J., 1999, *Les coûts de traitement et de recyclage agricole des boues d'épuration urbaines*, Etude ADEME - Cemagref, 230 p.
- Hammelrath A., Bourblanc J.F., 2002, *Choisir et utiliser une tonne à lisier, un épandeur à fumier*, Guide technique Editions Entraid'Ouest, 50 p.
- Serpantié B., 2001, *Les procédures comme argument commercial*, Décisions machinisme, n°8, Septembre 2001, p. 34-36.
- Van de Velde A., 2001, *Mise en place d'un système de management de la qualité au sein de l'entreprise de travaux agricoles Lefrançois.*, Mémoire de fin d'études, ISAB Beauvais, 103 p.



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'entreprend 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.

Le producteur de boues résiduaires doit s'assurer d'une conformation homogène et régulière des produits à épandre. Il devra, en particulier, éviter la production de boues que nous avons qualifiées de « pâteuses fluides » pour lesquelles nous ne disposons pas d'équipement d'épandage satisfaisant. De même, **les éleveurs** devront maintenir en état de propreté maximum leur stockage de fumier ou de lisier. Il convient de ne pas y déverser divers déchets qui vont entraver le fonctionnement normal des épandeurs. Dans les deux cas, un brassage bien réalisé des liquides (et une homogénéisation des solides) aidera fortement à l'obtention de bons résultats sur la parcelle épandue.

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 fientes ou autres produits légers.

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

Les **sociétés d'ingénierie du recyclage** doivent prendre en compte la qualité des épandages réalisés. Notre enquête a montré que les experts de certains bureaux d'études ne se déplaçaient pas sur les chantiers. 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. Pour d'autres cas, la présence sur le terrain est largement acquise. Il faut alors valoriser ce temps en établissant des bilans objectifs contribuant à l'amélioration progressive des travaux réalisés.

Les **agriculteurs** qui reçoivent les produits résiduels 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.

Le **Cemagref** se propose de participer à cet effort en créant un « pôle épandage » qui sera doté de nouvelles installations d'essais. Les études seront poursuivies pour lever les verrous technologiques actuels en s'appuyant sur les acquis scientifiques en matière de caractérisation physique, de simulation numérique et d'automatisation.

ANNEXE 1

FICHES D'OBSERVATION DE CHANTIERS D'ÉPANDAGE
RÉALISÉES DANS LE CADRE DE L'ENQUÊTE
ADEME – CEMAGREF EN 2001-2002

Avertissement concernant les mesures effectuées sur les chantiers d'épandage

Les chantiers que nous avons observés dans le cadre de l'étude ont été sélectionnés pour permettre d'apprécier les performances actuelles des différents systèmes d'épandage en conditions réelles de travail. Les chantiers mentionnés concernent essentiellement des ETA et CUMA, reconnues, qui traitent des volumes importants avec des matériels d'épandage performants. Ce choix était destiné à éviter des erreurs pouvant provenir de matériels obsolètes ou de l'inexpérience des intervenants.

Aucune préparation particulière n'a été effectuée sur les matériels avant les mesures (sauf le débouchage des organes d'épandage des tonnes à lisier). La majorité des tests a été réalisée sur les parcelles en cours d'épandage, selon la procédure décrite au chapitre 2.

Ces mesures permettent de mettre en évidence le niveau actuel de qualité d'épandage.

Pour chaque matériel le résultat témoigne de l'adéquation entre le produit à épandre et le système d'épandage utilisé. Il n'est que le reflet de situations ponctuelles concernant un matériel d'épandage, un produit et un opérateur.

En aucun cas, le résultat de ces mesures ne peut être considéré individuellement. La qualification officielle d'un matériel d'épandage doit être effectuée au banc d'essai, par un organisme habilité, selon un protocole normalisé.

FICHE D'OBSERVATION N° 1

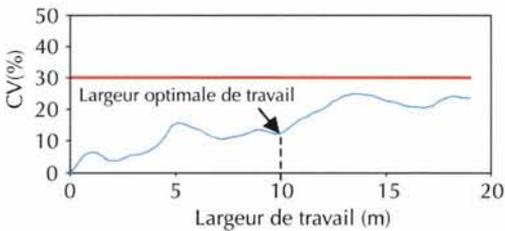
Chantier d'épandage : ETA MIOCHE – Lieu : Riom (63)

Date de l'observation : 18/09/2001

Produit *		Observations
Type	Fumier de volailles	Stocké en billon en bout de champ depuis 2 ans. La partie basse du tas est humide et noire, sinon le produit est relativement sec et pailleux.
Origine	Dindes	
Densité	0,4	
Matière sèche	56 %	

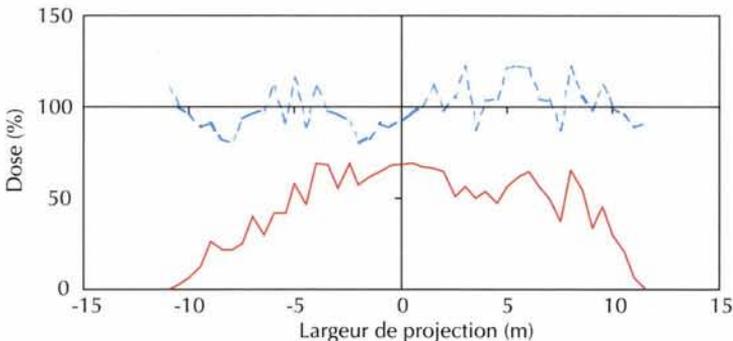
Matériel		Observations
Marque	Heywang/Duchesne	Pas de réglage de hotte. Dispositif de démêlage constitué de 3 barres à disques horizontales. 2 turbines de diamètre 110 cm. Vitesse de rotation : 420 tr/mn
Type	Maxter	
Capacité	PTAC de 16 t	
Système d'épandage	Table d'épandage	

Courbe des coefficients de variation



La largeur optimale de travail est de 10 mètres pour un CV de 12%. On pourrait aussi travailler à 16 m avec une régularité satisfaisante.

Courbe de régularité de la répartition transversale



La courbe de recouvrement présentée est celle correspondant à une largeur de travail de 10 mètres. La dérive à droite est provoquée par un léger vent venant de la gauche.

Ce test ne constitue pas un essai officiel de l'épandeur concerné.

FICHE D'OBSERVATION N° 2

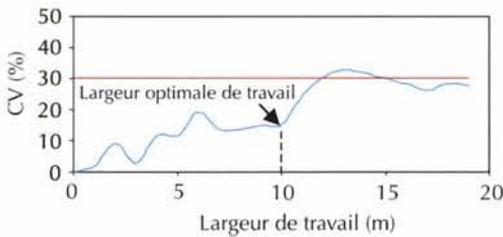
Chantier d'épandage : ETA BRIDONNEAU – Lieu : Guérandes (44)

Date de l'observation : 12/09/2001

Produit		Observations
Type	Boue solide	Stockée depuis 6 mois. Boues très chauffées (40% de chaux vive).
Origine	Step SICAPG	
Densité	1	
Matière sèche	30 %	

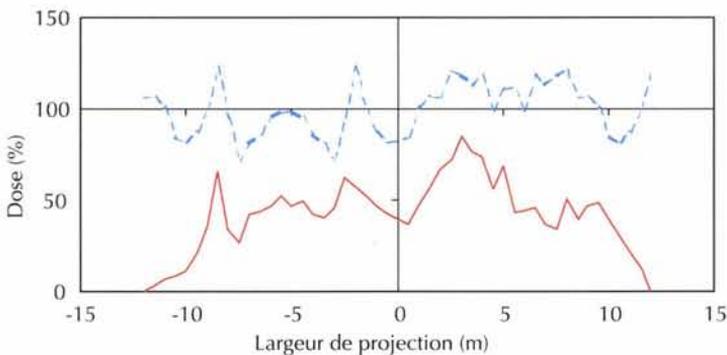
Matériel		Observations
Marque	DANGREVILLE	Table d'épandage 4 turbines
Type	ET B 1500	
Capacité	18 m ³	
Système	Table	
d'épandage	d'épandage	

Courbe des coefficients de variation



La largeur optimale de travail est de 10 mètres pour un CV de 15%. Éviter de travailler à 12 mètres.

Courbe de régularité de la répartition transversale



La courbe de recouplement présentée est celle correspondant à une largeur de travail de 10 mètres. Un essai au banc permettrait de valider ce résultat pour attester que l'épandeur est conforme aux normes d'épandage européennes.

Ce test ne constitue pas un essai officiel de l'épandeur concerné.

FICHE D'OBSERVATION N° 3

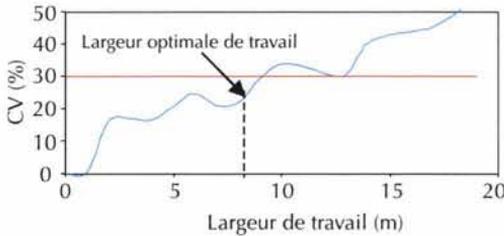
Chantier d'épandage : ETA LEFEVRE – Lieu : Barbizon (77)

Date de l'observation : 7/08/2001

Produit		Observations
Type	Boue solide	Boue chaulée. Stockée en bout de champ (1 an).
Origine	Step de Dammarie	
Densité	0,74	
Matière sèche		

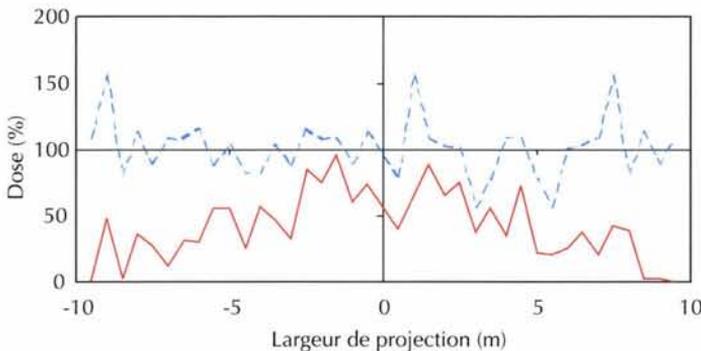
Matériel		Observations
Marque	Samson	Épandage un peu trop grossier avec ce type de produit.
Type	1210	
Capacité	12 t	
Système d'épandage	Hérissons verticaux	

Courbe des coefficients de variation



La largeur optimale de travail est de 8 mètres pour un CV de 22%. Ceci correspond à la pratique de l'entrepreneur.

Courbe de régularité de la répartition transversale



La courbe de recouvrement présentée est celle correspondant à une largeur de travail de 8 mètres.

Ce test ne constitue pas un essai officiel de l'épandeur concerné.

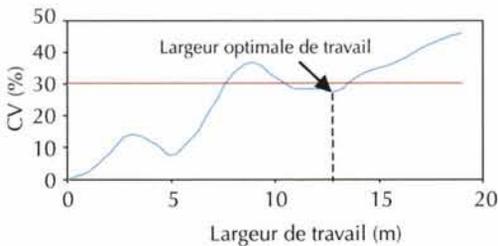
Chantier d'épandage : ETA COLIN – Lieu : Loudenville (80)

Date de l'observation : 30/08/2001

Produit		Observations
Type	Compost	Compost de matières fermentescibles de déchets ménagers et de déchets verts.
Origine	SEDE – Sin Le Noble	
Densité	0,84	
Matière sèche	16 %	

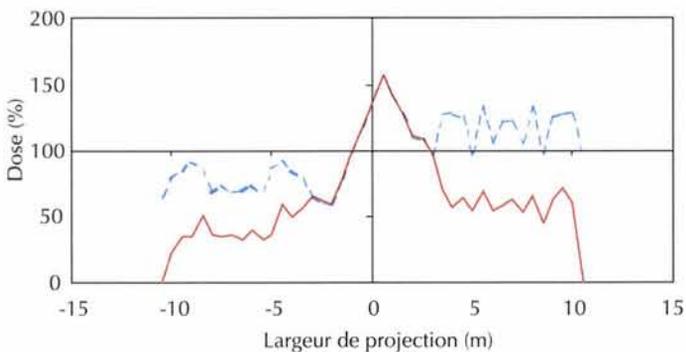
Matériel		Observations
Marque	BERGMANN	Guidage GPS. Table d'épandage 2 disques. Dispositif d'épandage de bordures.
Type	1818S	
Capacité	22 m ³	
Système d'épandage	Table d'épandage	

Courbe des coefficients de variation



La largeur optimale de travail est de 13 mètres pour un CV de 27%.
Épandage à faible dose.

Courbe de régularité de la répartition transversale



La courbe de recouplement présentée est celle correspondant à une largeur de travail de 13 mètres. L'épandage est dissymétrique. Ce défaut serait à confirmer par des essais complémentaires.

Ce test ne constitue pas un essai officiel de l'épandeur concerné.

Chantier d'épandage : ETA ALEXANDRE – Lieu : Clerelande (63)

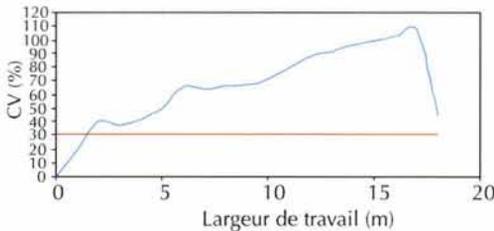
Date de l'observation : 3/09/2001

Produit		Observations
Type	Boue solide	
Origine	Step Riom	
Densité	1,07	
Matière sèche	33 %	

Matériel		Observations
Marque	PANIEN	
Type	Automoteur Dewulf	
Capacité	20 tonnes	
Système d'épandage	Table d'épandage	

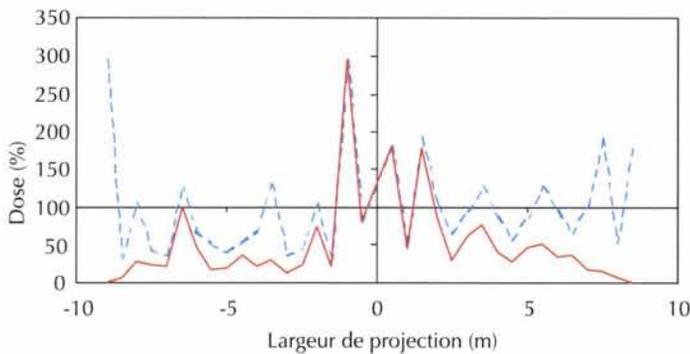
Table d'épandage 2 disques à vitesse variable.

Courbe des coefficients de variation



La courbe des coefficients de variation est au-delà du seuil d'acceptation par le projet de norme.

Courbe de régularité de la répartition transversale



La courbe de recoupeur présentée est celle correspondant à une largeur de travail de 9 mètres. Pour cette largeur, le coefficient de variation est de 66%. Le mauvais résultat est dû à une vitesse insuffisante des disques entraînant la présence de gros paquets. Depuis, des améliorations techniques ont été apportées à différents niveaux : hotte, hérissons démêleurs, vitesse de rotation des disques.

Ce test ne constitue pas un essai officiel de l'épandeur concerné.

FICHE D'OBSERVATION N° 6

Chantier d'épandage : ETA SOYEZ – Lieu : Ruyaulcourt (62)

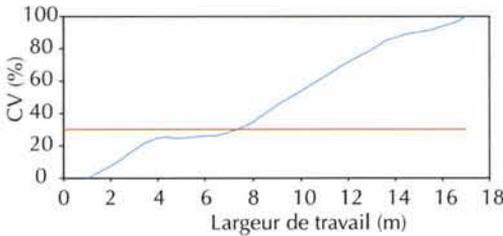
Date de l'observation : 28/08/2001

Produit		Observations
Type	Boue solide	
Origine	Papeterie STORA	
Densité	1	
Matière sèche	44 %	

Matériel		Observations
Marque	Fabrication SOYEZ	
Type	Automoteur Franquet	
Capacité		
Système d'épandage	4 hérissons verticaux	

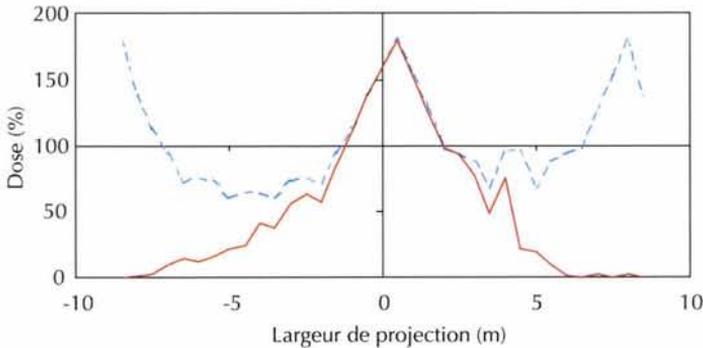
Système autochargeur.
Largeur d'épandage restreinte.

Courbe des coefficients de variation



La largeur de travail est faible. Il faudrait réaliser des passages à 6 mètres pour avoir un coefficient de variation acceptable

Courbe de régularité de la répartition transversale



La courbe de recoupe présentée est celle correspondant à une largeur de travail de 8 mètres. Pour cette largeur, le coefficient de variation est de 32%.

Ce test ne constitue pas un essai officiel de l'épandeur concerné.

Chantier d'épandage : ETA PETIT – Lieu : Rivière (62)

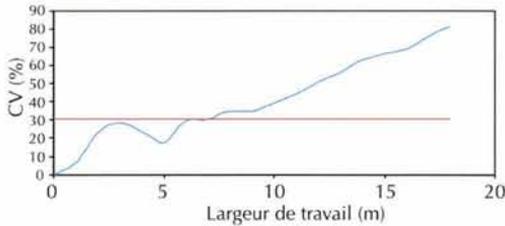
Date de l'observation : 29/08/2001

Produit		Observations
Type	Boue solide	
Origine	Step ARRAS	
Densité	xx	
Matière sèche	44 %	

Matériel		Observations
Marque	XX	
Type	XX	
Capacité		
Système d'épandage	2 hérissons verticaux	

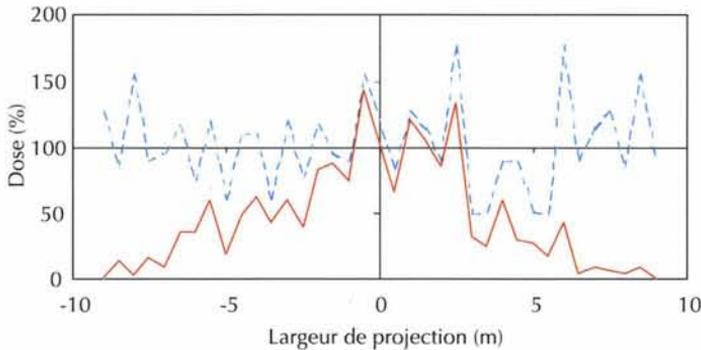
Anonymat demandé.
Épandage assez grossier.

Courbe des coefficients de variation



La largeur de travail est faible. Il faudrait réaliser des passages à 5 mètres pour avoir un coefficient de variation acceptable

Courbe de régularité de la répartition transversale



La courbe de recoupement présentée est celle correspondant à une largeur de travail de 8 mètres. Pour cette largeur, le coefficient de variation est de 35%.

Ce test ne constitue pas un essai officiel de l'épandeur concerné.

FICHE D'OBSERVATION N° 8

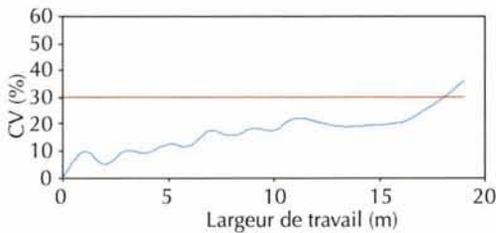
Chantier d'épandage : ETA LEFRANCOIS – Lieu : Etrun (62)

Date de l'observation : 29/08/2001

Produit		Observations
Type	Boue de papeterie	
Origine	STORA (62)	
Densité	1	
Matière sèche	44%	

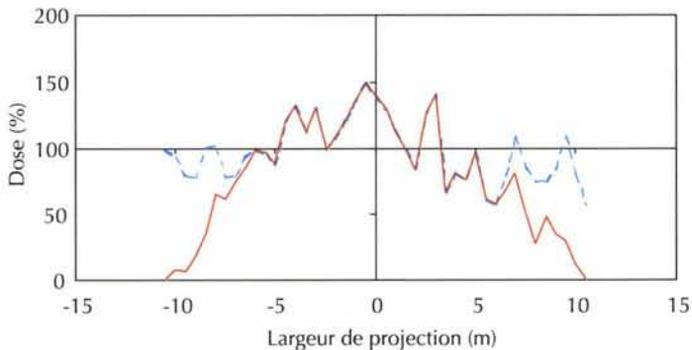
Matériel		Observations
Marque	TEBBE	
Type	HS 120	
Capacité	10 m ³	
Système d'épandage	Table d'épandage	
		2 disques de 1 mètre de diamètre. Vitesse des hérissons : 600 tr/mn. Vitesse des disques : 600 tr/mn.

Courbe des coefficients de variation



La largeur optimale de travail se trouve sur une plage de 12 à 16 mètres pour un CV proche de 20%.

Courbe de régularité de la répartition transversale



La courbe de recouplement présentée est celle correspondant à une largeur de travail de 16 mètres. Pour cette largeur, le coefficient de variation est de 20%.

Ce test ne constitue pas un essai officiel de l'épandeur concerné.

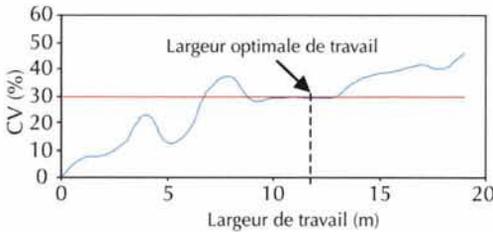
Chantier d'épandage : ETA LEFRANCOIS – Lieu : Etrun (62)

Date de l'observation : 28/08/2001

Produit		Observations
Type Origine Densité Matière sèche	Suint potassique SEDE Environnement 1,1	Produit très compact et difficile à dis- loquer.

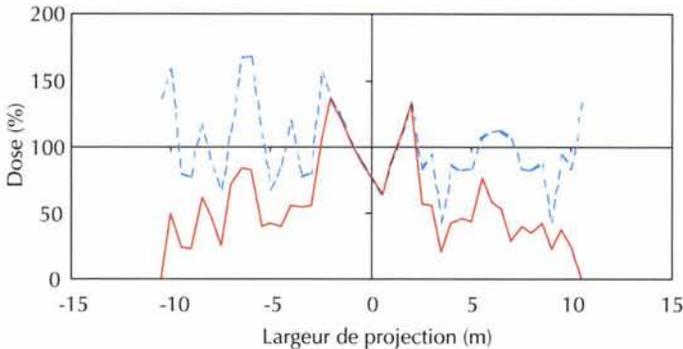
Matériel		Observations
Marque Type Capacité Système d'épandage	TEBBE HS 120 10 m ³ Table d'épandage	Pas de broyeur. 2 disques de 1 mètre de diamètre. Vitesse des hérissons : 600tr/mn Vitesse des disques : 600tr/mn

Courbe des coefficients de variation



La largeur optimale de travail se trouve sur une plage de 12 à 16 mètres pour un CV proche de 20%.

Courbe de régularité de la répartition transversale



La courbe de recouplement présentée est celle correspondant à une largeur de travail de 12 mètres. Pour cette largeur, le coefficient de variation est de 29%. Il est difficile de réaliser un épandage fin avec ce produit.

Ce test ne constitue pas un essai officiel de l'épandeur concerné.

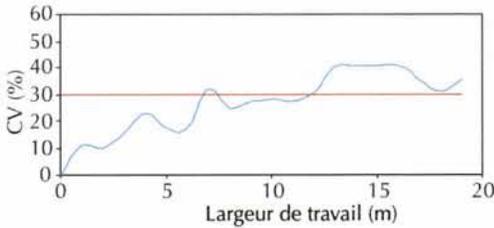
FICHE D'OBSERVATION N° 10

Chantier d'épandage : ETA CHAMPAGNE EPANDAGE – Lieu : Sainte Menehould (51)
Date de l'observation : 23/08/2001

Produit		Observations
Type Origine Densité Matière sèche	Compost AVL de BRORA 0,56	La nature des produits compostés n'est pas connue.

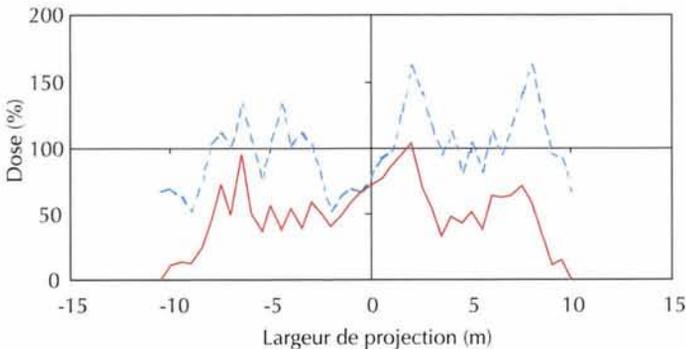
Matériel		Observations
Marque Type Capacité Système d'épandage	TERRA GATOR Automoteur 4 roues 12 t Épandeur TEBBE	Table d'épandage 2 disques grand diamètre. Guidage GPS. Pesée embarquée.

Courbe des coefficients de variation



La largeur optimale de travail se situe entre 8 et 11 mètres pour rester avec un CV inférieur à 30%. Il est préférable de travailler à 18 m plutôt qu'à 14 m.

Courbe de régularité de la répartition transversale



La courbe de recouvrement présentée est celle correspondant à une largeur de travail de 10 mètres. Pour cette largeur, le coefficient de variation est de 28%.

Ce test ne constitue pas un essai officiel de l'épandeur concerné.

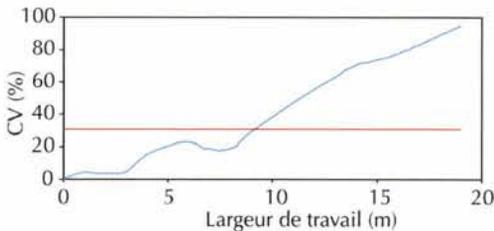
Chantier d'épandage : BIODPE – Lieu : Remilly-sur-Tille (21)

Date de l'observation : 31/07/2001

Produit		Observations
Type	Compost	Compost à base de boues et de déchets verts, criblé à 15 mm.
Origine	Nièvre	
Densité	0,85	
Matière sèche	70%	

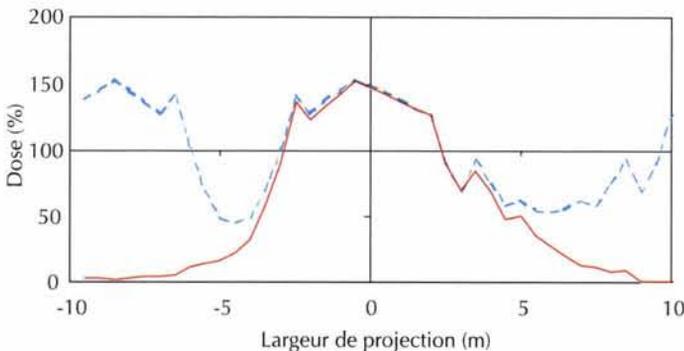
Matériel		Observations
Marque	X	Anonymat demandé. Table d'épandage à 4 turbines (mauvais état).
Type	X	
Capacité		
Système d'épandage	Table d'épandage	

Courbe des coefficients de variation



La largeur optimale de travail est de 8 mètres (CV = 18%) ce qui reste faible pour une table d'épandage. Dans la pratique les passages sont espacés de 10 mètres au détriment de la qualité de répartition.

Courbe de régularité de la répartition transversale



La courbe de recouplement présentée est celle correspondant à une largeur de travail de 10 mètres. Pour cette largeur, le coefficient de variation est de 38%.

Ce test ne constitue pas un essai officiel de l'épandeur concerné.

FICHE D'OBSERVATION N° 12

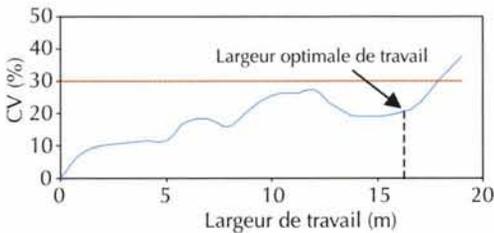
Chantier d'épandage : BIODÉPE – Lieu : Remilly-sur-Tille (21)

Date de l'observation : 31/07/2001

Produit		Observations
Type	Compost	Compost à base de boues et de déchets verts, criblé à 15 mm.
Origine	Nièvre	
Densité	0,85	
Matière sèche	70 %	

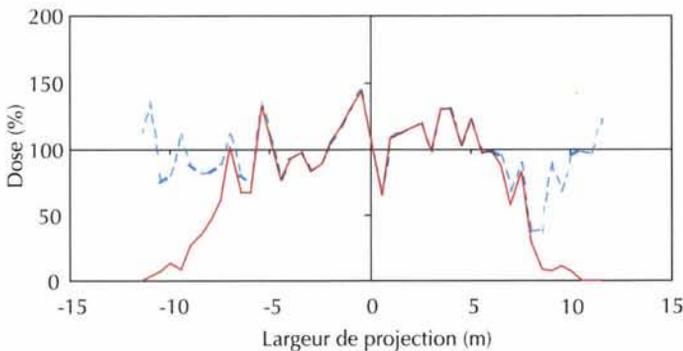
Matériel		Observations
Marque	TEBBE	Appareil muni d'un broyeur.
Type	HKS 12 500	
Capacité		
Système d'épandage	Table d'épandage	

Courbe des coefficients de variation



La largeur optimale de travail est de 16 mètres pour un coefficient de variation de 23%.

Courbe de régularité de la répartition transversale



La courbe de recouplement présentée est celle correspondant à une largeur de travail de 16 mètres. Pour cette largeur, le coefficient de variation est de 23%.

Ce test ne constitue pas un essai officiel de l'épandeur concerné.

FICHE D'OBSERVATION N° 13

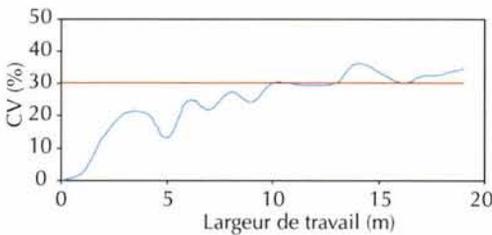
Chantier d'épandage : ETA EHRY – Lieu : Souain (51)

Date de l'observation : 22/08/2001

Produit		Observations
Type Origine Densité Matière sèche	Boue solide Step Reims	Livraison dans la journée

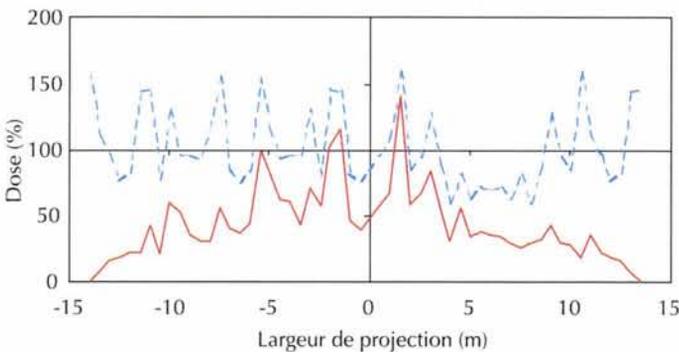
Matériel		Observations
Marque Type Capacité Système d'épandage	FRANQUET Automoteur 25 t Table d'épandage	Système auto-chargeur. 3 disques d'épandage (1 disque supplémentaire au centre).

Courbe des coefficients de variation



La largeur de travail utilisée sur le chantier est de 12 mètres.

Courbe de régularité de la répartition transversale



La courbe de recouplement présentée est celle correspondant à une largeur de travail de 12 mètres. Pour cette largeur, le coefficient de variation est de 29%. Le troisième dose est entraîné par un moteur trop faible.

Ce test ne constitue pas un essai officiel de l'épandeur concerné.

FICHE D'OBSERVATION N° 14

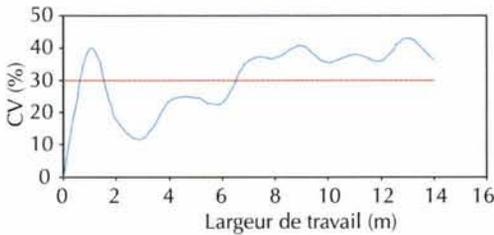
Chantier d'épandage : CUMA AGROFERTIL – Lieu : Sarlat (24)

Date de l'observation : 10/07/2001

Produit		Observations
Type	Lisier	Le produit épandu est la partie boues de traitement biologique du lisier.
Origine	Porcherie	
Densité	1.02	
Matière sèche	2,5%	

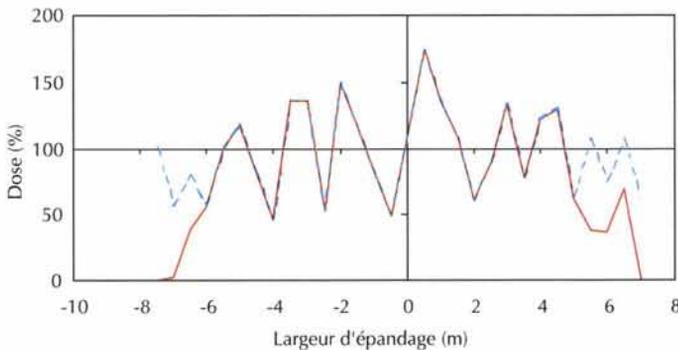
Matériel		Observations
Marque	JOSKIN	Tuyau d'alimentation de la rampe défec-tueux ce qui perturbe la répartition. Pression de tarage à vérifier.
Type	Euroliner	
Capacité	22 500 litres	
Système d'épandage	Rampe à buses	
	12 mètres	

Courbe des coefficients de variation



La largeur de travail est dans ce cas assurée mais comprend des hétérogénéités

Courbe de régularité de la répartition transversale



L'essai serait à reconduire avec une alimentation correcte de la rampe. Vérifier également la pression.

Ce test ne constitue pas un essai officiel de l'épandeur concerné.

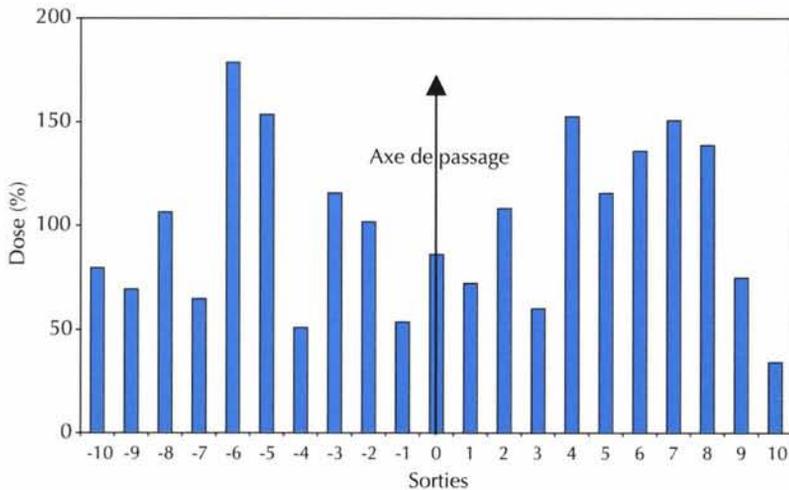
FICHE D'OBSERVATION N° 15

Chantier d'épandage : CUMA DES LANDES – Lieu : Sindères (40)
 Date de l'observation : 2/10/2001

Produit		Observations
Type	Lisier	Fosse circulaire avec couverture
Origine	Canards	
Densité		
Matière sèche	1%	

Matériel		Observations
Marque	TERRA GATOR	Enfouisseur culture à 21 dents flexibles. Largeur : 4,80 m Système DPA
Type	3104 - 4 roues	
Capacité	16 000 litres	
Système d'épandage		

Courbe de régularité de la fonction transversale



La répartition transversale est difficile à mesurer avec ce type d'enfouisseur. La collecte de chaque descente a été réalisée au passage sur des bacs de 1 mètre par 0,25 mètre de large. Le coefficient de variation obtenu est de 40%. Compte tenu des conditions de mesure, ce résultat serait à confirmer au banc d'essai.

Ce test ne constitue pas un essai officiel de l'épandeur concerné.

FICHE D'OBSERVATION N° 16

Chantier d'épandage : ETA LEMAITRE – Lieu : Saint André de l'Eure (27)

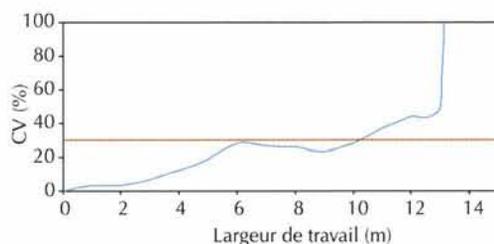
Date de l'observation : 8/08/2001

Produit		Observations
Type	Boue de papeterie	
Origine	Georgia Pacific	
Densité	0,62	
Matière sèche	56%	

Matériel		Observations
Marque	XX	
Type		
Capacité	18 t	
Système d'épandage	Table d'épandage	

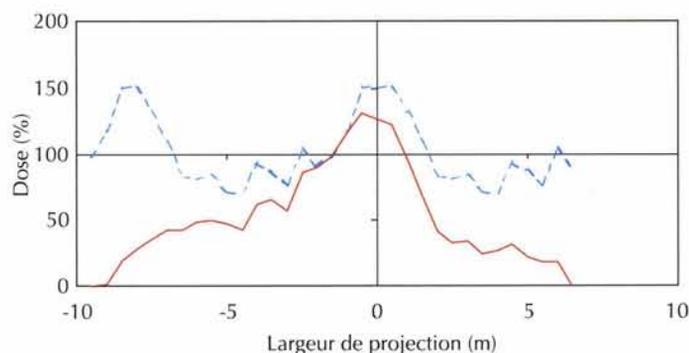
Anonymat demandé.
Vent latéral.

Courbe des coefficients de variation



Le calcul de recouplement est réalisé à partir d'un épandage en tournant, compte tenu du vent de droite qui perturbait la répartition le jour des mesures.

Courbe de régularité de la répartition transversale



La courbe de recouplement présentée est celle correspondant à une largeur de travail de 8 mètres en épandage en tournant. Pour cette largeur, le coefficient de variation est de 26%.

Ce test ne constitue pas un essai officiel de l'épandeur concerné.

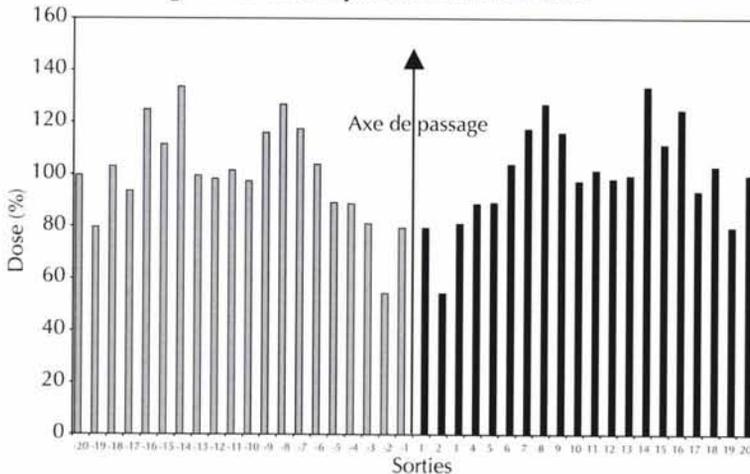
Chantier d'épandage : CUMA DE LA CREUSE – Lieu : Rougnat (23)

Date de l'observation : 20/11/2001

Produit		Observations
Type Origine Densité Matière sèche	Effluents Bovins	Produit peu concentré issu d'une fosse à géomembrane.

Matériel		Observations
Marque Type Capacité Système d'épandage	JOSKIN KOMFORT 12 000 litres Pendillards	Rampe 12 mètres à 2 broyeurs répartiteurs et 40 sorties. Tonne adaptée pour permettre l'épandage des lisiers épais (demande spécifique de la Cuma)

Courbe de régularité de la répartition transversale



Les mesures ont été réalisées sur la demi-largeur de la rampe. La courbe de répartition transversale ci-dessus comprend la courbe symétrique en foncé. Le coefficient de variation est de 19 %. Le résultat n'est pas significatif des épandeurs standards qui auraient mieux convenu pour ce produit très fluide.

Une mesure complémentaire a été réalisée avec une buse d'épandage. Cette buse sert aux épandages de produits épais qui ne peuvent être épandus avec la rampe. La courbe est en forme de M. Les résultats sont les suivants :

Largeur de travail	Coefficient de variation
8 m	39%
10 m	40%
12 m	53%

Ce test ne constitue pas un essai officiel de l'épandeur concerné.

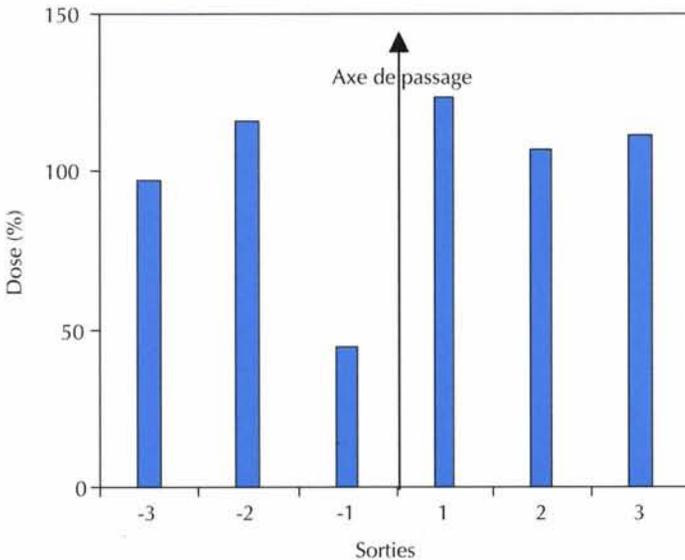
FICHE D'OBSERVATION N° 18

Chantier d'épandage : ETA CARIBOUE – Lieu : Toulouse (31)

Date de l'observation : 18/07/2001

Produit		Observations
Type	Boue	Petites stations d'épuration en périphérie de Toulouse. Approvisionnement direct par camion vidangeur
Origine	Station d'épuration	
Densité	1	
Matière sèche	2,4 %	

Matériel		Observations
Marque	Mauguin	Enfouissement de bonne qualité.
Type		
Capacité	12 500 litres	
Système d'épandage	Enfouisseur mixte	



Les mesures ont été réalisées à poste fixe. Chaque descente a été mesurée en recueillant dans des récipients le volume de boue et en le pesant. La première descente gauche a un débit très faible qui compromet le résultat d'ensemble. Sans cette descente, le coefficient de variation serait de 9%. Nous n'avons pas trouvé de corps étranger ou d'anomalie particulière au niveau de cette sortie.

Ce test ne constitue pas un essai officiel de l'épandeur concerné.

ANNEXE 2

ADRESSES UTILES

SYNDICATS PROFESSIONNELS

SNCVA – 19 rue Jacques Bingen 75017 PARIS

SYPREA – 83 Avenue Foch 75116 PARIS

CONSTRUCTEURS ET IMPORTATEURS

AET-Sesaer – 17 av. de Paris, 86700 COUHE

AGRIMAT – BP 17 Place de la gare, 08260 MAUBERT FONTAINE

AGROSTOJ – Motokov France, 6 rue de l'industrie, BP 130 67722 HOERDT Cedex

AMBS La Littorale – Route de Campagne, 62870 BUIRE LE SEC

ARMOR industrie – ZA Kerdaniou, 29530 PLONEVEZ DU FAOU

BERGMANN – Hubau Herman Brusselstraat 155, B1700 DILBEEK (SUK) Belgique

BRIMONT – 23 rue Louis Jarvet, BP 5103, 08300 RETHEL

BROCHARD – ZA Le Chatenay, 85190 BEAULIEU SOUS LA ROCHE

DANGREVILLE – 80290 CAULIERES

DEGUILLAUME – La Croix Verte, BP 1, 87120 EYMOUTIERS

DELAPLACE MOUZON – 1 rue des Frères Desjardin, 02590 ETRAILLERS

DOME – 62 140, VACQUERIETTE ERQUIERES

FRANQUET – Route de Prouvais, BP9, 02190 GUIGNICOURT

GILLES : 90 rue de Strée, 5650 CLERMONT Belgique

GILIBERT – Route de Vienne, 38260 FARAMANS

HAUSWIRTH – ZI des Cloyes, BP 114, 70203 LURE Cedex

HEYWANG DUCHESNE SAS – 50 rue Edgar Heywang, 67140 BOURGHEIM

HILL – EUROGRIP, 69 rue Jules Michelet, 92700 COLOMBES

HORSCH – BP 19, La Boissière, 28201 CHATEAUDUN Cedex 01

JEANTIL – ZI de la Hautière, BP1, 35590 L'HERMITAGE

JEULIN – BP 857, 41008 BLOIS Cedex

JOSKIN – rue de Wergifoss, B-4630 SOUMAGNE Belgique

LA CAMPAGNE – CORNE Antoine, Route de Buire, 62870 Campagne-les-Hesdin

LE BOULCH – Route de Guernanville, BP 11, 27330 LA VIEILLE LYRE

LEGRAND – BP 11, 62310 FRUGES

L'IDEAL – LE BOLLAN, Bellevue, 56300 NEUILLAC

MAITRE – 03150 RONGERES

MAUGUIN – B.P. 637, Saint BERTHEVIN, 53006 LAVAL cedex

ORENGE – Raffetot, 76210 BOLBEC

PANIEN – 62860, INCHY-en-ARTOIS
PICHON – BP 21, ZI de Lavallot, 29490 GUIPAVAS
ROCHE – Route de Crest, 26400 AOUSTE
ROCK Industrie – Route de Teillet, 81000 ALBI
ROGER – BP 39, 62220 CARVIN
ROLLAND – Le Bourg Pencran, BP 149, 29411 LANDERNEAU Cedex
SAMSON – 49, rue des Brassarderies, BP 20, 62920 GONNEHEM
SIAM – ZI 86330 MONCONTOUR
SODIMAC – BP8, 22550 SAINT POTAN
TEBBE – MDM Industrie, Chemine de Mosée,4 B 5590 CINEY Belgique
TERRA-GATOR – AGCHEM, 29 route nationale, 80480 SALEUX
TONALIS – 70000 VESOUL

ANNEXE 3

LEXIQUE ANGLAIS - FRANÇAIS

adjustment	réglage
application	épandage
application rate	dose d'application
(to) apply	épandre
auger	vis
beater	hérisson
boom	rampe
chain	chaîne
compliance	conformité
compost	compost
conveyor	fond mouvant
disc (disk)	disque
discharge rate	débit
distribution	répartition
dog walk	marche en crabe
dry solid content	teneur en matières sèches
dryness	siccité
(to) dump	enfouir
dung	excréments, bouses
evenness	régularité
filling	remplissage
fertilizer	engrais
flow	écoulement
flow rate	débit
(rain) gun	canon
heap	tas (de fumier)
hopper	trémie
injector	enfouisseur
leaching	lessivage
lime	chaux
loading	chargement
(liquid) manure	purin
(solid) manure	fumier

marl	marnes
mix (to)	mélanger
muck spreader	épandeur de boues
moisture content	taux d'humidité
positive displacement	(pompe) volumétrique
power take-off	prise de force
pump	pompe
research plot	parcelle expérimentale
retracting reel	enrouleur
run-off	ruissellement
sewage sludge	boues d'épuration
site specific agriculture	agriculture de précision
slat	barrette
slurry	lisier
soil conditioner	amendement
splash plate	(buse) palette
(to) spread	épandre
spreader	épandeur
spreading	épandage
spreading width	largeur d'épandage
stirring device	agitateur
storage	stockage
swath	axe de passage
tank	cuve, réservoir
tanker	tonne (à lisier)
trailing hoses	pendillards
tyre (tire)	pneu
umbilical spreading	épandage sans tonne
vacuum	vide, dépression
vane	pale
waste	déchets
waste water treatment plant	station d'épuration
working width	largeur de travail

LEXIQUE FRANÇAIS - ANGLAIS

agitateur	stirring device
agriculture de précision	site specific agriculture
amendement	soil conditioner
axe de passage	swath
barrette	slat
boues d'épuration	sewage sludge
buse palette	splash plate nozzle
canon	(rain) gun
chaîne	chain
chargement	loading
chaux	lime
compost	compost
conformité	compliance
cuve	tank
débit (liquide)	flow rate
débit (solide)	discharge rate
déchets	waste
disque	disc (disk)
dose d'application	application rate
écoulement	flow
enfouir	to dump
enfouisseur	injector
engrais	fertilizer
enrouleur	retracting reel
épandage	- application - spreading
épandeur	spreader
épandage sans tonne	umbilical spreading
épandre	- to apply - to spread
excréments	dung
fumier	solid manure
fond mouvant	conveyor

hérisson	beater
largeur d'épandage	spreading width
largeur de travail	working width
lessivage	leaching
lisier	slurry
marche en crabe	dog walk
marnes	marl
mélanger	to mix
pale	vane
parcelle expérimentale	research plot
pendillards	trailing hoses
pneu	tyre (tire)
pompe	pump
prise de force	power take-off
purin	liquid manure
rampe	boom
réglage	adjustment
régularité	evenness
remplissage	filling
répartition	distribution
ruissellement	run-off
siccité	dryness
station d'épuration	waste water treatment plant
stockage	storage
tas (de fumier)	heap
taux d'humidité	moisture content
tonne (à lisier)	tanker
trémie	hopper
vide, dépression	vacuum
vis	auger

CEMAGREF
DOCUMENTATION
CLERMONT-FERRAND



Comment épandre ? Et surtout, comment bien épandre, qu'il s'agisse de boues d'épuration ou d'effluents agricoles ?

Après un rappel des différents types de produits à épandre et de leurs propriétés physiques, cet ouvrage dresse l'inventaire des matériels et solutions techniques pour bien épandre tout en respectant l'environnement en s'appuyant de façon concrète et illustrée, sur les chantiers observés et les mesures réalisées. Un inventaire des progrès nécessaires aux différents niveaux de la filière est proposé en conclusion de cet ouvrage.

Il aidera de nombreux acteurs de la filière épandage : techniciens, ingénieurs, logisticiens, qualitatifs, bureaux d'études, CUMA, ETA...



ADEME



ISBN 2-85362-608-3



9 782853 626088

Prix : 30 € TTC