



## Projet AAP CAS DAR n°9109/9027

**Améliorer la caractérisation des effluents d'élevage par des méthodes et des modèles innovants pour une meilleure prise en compte agronomique**

## **LES EPANDEURS D'EFFLUENTS D'ELEVAGE DESCRIPTION DES MACHINES ET DES DISPOSITIFS D'EPANDAGE**



Livrable n°2 – Volet épandabilité

Alexandre Thouzeau, Jean-Yves Cosnier, Emilie Dieudé-Fauvel, Pierre Havard

# Sommaire

<b>Sommaire</b> .....	<b>2</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>4</b>
<b>Prérequis sur les critères de qualité de l'épandage</b> .....	<b>5</b>
<i>Enjeux de l'épandage</i> .....	5
<i>Critères de performance d'un chantier d'épandage</i> .....	5
<i>Normes existantes</i> .....	6
<b>1 Les épandeurs à lisiers</b> .....	<b>7</b>
1.1 <i>Les produits épandus</i> .....	7
1.2 <i>Le matériel</i> .....	7
1.2.1 <i>Aspects globaux</i> .....	7
1.2.2 <i>Epandeur de lisier à compresseur d'air</i> .....	8
1.2.3 <i>Epandeur de lisier à pompe centrifuge ou volumétrique</i> .....	9
1.2.4 <i>La citerne</i> .....	9
1.2.5 <i>Le train roulant</i> .....	10
1.2.6 <i>Les dispositifs d'épandage</i> .....	11
1.3 <i>Les performances</i> .....	15
1.3.1 <i>La répartition longitudinale</i> .....	15
1.3.2 <i>La répartition transversale</i> .....	15
1.3.3 <i>Le dosage</i> .....	16
1.3.4 <i>Le risque de bouchage</i> .....	17
<b>2 Les épandeurs à fumier</b> .....	<b>18</b>
2.1 <i>Les produits épandus</i> .....	18
2.2 <i>Le matériel</i> .....	18
2.2.1 <i>Aspects globaux</i> .....	18
2.2.2 <i>Le train roulant</i> .....	19
2.2.3 <i>La caisse</i> .....	19
2.3 <i>Le dispositif de déplacement du fumier</i> .....	19
2.3.1 <i>Le fond mouvant</i> .....	19
2.3.2 <i>Le tablier accompagnateur</i> .....	20
2.3.3 <i>Le tablier poussoir</i> .....	20
2.4 <i>Les dispositifs d'épandage</i> .....	20
2.4.1 <i>Les hérissons verticaux</i> .....	21
2.4.2 <i>Dispositif à table d'épandage</i> .....	21
2.5 <i>Les performances</i> .....	22
2.5.1 <i>La répartition longitudinale</i> .....	22
2.5.2 <i>La répartition transversale</i> .....	23
2.5.3 <i>Le dosage</i> .....	23
<b>3 Les épandeurs à produits pâteux</b> .....	<b>25</b>
3.1 <i>Les produits épandus</i> .....	25
3.2 <i>Le matériel</i> .....	25

3.2.1 Aspects globaux .....	25
3.2.2 Les épandeurs latéraux à vis et à turbine avant .....	25
3.2.3 Les épandeurs à vis et plateaux centrifuges arrières .....	25
3.3 <i>Les performances</i> .....	26
3.3.1 Le dosage .....	26
3.3.2 La répartition longitudinale .....	26
3.3.3 La répartition transversale .....	27
<b>4 Les épandeurs d'amendements pulvérulents .....</b>	<b>28</b>
4.1 <i>Description du produit épandu</i> .....	28
4.2 <i>Le matériel</i> .....	28
4.2.1 Aspects globaux .....	28
4.2.2 Les dispositifs d'épandage .....	28
4.3 <i>Les performances</i> .....	29
4.3.1 Le dosage .....	29
4.3.2 La répartition .....	29
<b>5 La certification environnementale des épandeurs de produits organiques : éco-épandage .....</b>	<b>31</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>33</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>34</b>

## Introduction

Les préoccupations environnementales de ces dernières années ont amené les scientifiques à réfléchir à l'optimisation de l'épandage des matières organiques (effluents d'élevage, boues issues du traitement des eaux usées, composts, etc.) souvent considérées comme des déchets. En effet, réaliser des chantiers d'épandage avec du matériel adapté peut permettre de réduire les impacts environnementaux de l'épandage et de valoriser au mieux les éléments fertilisants de ces produits organiques. Dans cette optique et pour répondre à une demande croissante, les constructeurs d'épandeurs cherchent à innover : ainsi, la mise au point de nouvelles technologies a permis de nombreuses avancées du point de vue des performances agronomiques et environnementales des machines agricoles dans le cadre de l'épandage.

Ce document s'inscrit dans le projet CasDar "Effluents d'Elevage" en tant que support pour une étude plus large sur la problématique "épandabilité, relation matériaux/matériels". Il présente une revue synthétique du machinisme agricole de l'épandage des matières organiques, mais n'a pas vocation à être exhaustif. En effet, un constructeur comme Pichon présente à lui seul un catalogue comprenant plus de 100 machines de base et 600 options : il n'est donc pas envisageable de vouloir faire l'inventaire de tous les produits existant sur le marché. Le but est donc de dresser un tableau global du parc actuel des épandeurs en France et des principales avancées technologiques qui ont été réalisées.

Les épandeurs de produits organiques seront abordés en fonction de la catégorie de produits qu'ils épandent. Seront d'abord présentés les épandeurs les plus communs, les tonnes à lisier puis les épandeurs à fumier. Ensuite, les épandeurs plus spécialisés seront introduits, avec les épandeurs à produits pâteux et enfin, les épandeurs à produits pulvérulents. On retrouve beaucoup moins d'informations, et notamment de données expérimentales pour ces deux dernières catégories car elles représentent un nombre beaucoup plus restreint de machines. Elles ne sont généralement pas utilisées pour l'épandage des effluents d'élevage mais plutôt pour l'épandage des boues d'épuration et amendements divers.

## Prérequis sur les critères de qualité de l'épandage

### Enjeux de l'épandage

L'objectif d'un chantier d'épandage de matière organique est d'apporter uniformément sur une parcelle une dose de produit dont la valeur fertilisante correspond au plus près aux besoins agronomiques de la culture, tout en respectant l'environnement et avec des techniques accessibles et adaptées à l'utilisateur du matériel d'épandage.

### Critères de performance d'un chantier d'épandage

Diverses études sur l'épandage ont permis de distinguer des critères de qualité de l'épandage des matières organiques. Ainsi, selon le compte-rendu de la conférence du 23 février 2005 à Drumondville par Claude Laguë, "les équipements d'application pour les amendements organiques doivent respecter les mêmes critères de performance que plusieurs autres types de machines utilisées pour appliquer des fertilisants". Ainsi, une liste de ces critères est proposée.

#### Le dosage

Un épandeur doit permettre d'apporter une quantité maîtrisée de produits organiques : c'est la dose à l'hectare. Cette dose doit être calculée par l'agriculteur en fonction des besoins agronomiques de la culture et de la valeur fertilisante du produit à épandre.

La dose épandue à l'hectare (D, t/ha) dépend de trois facteurs :

- La largeur (L, m) de travail;
- La vitesse d'avancement du tracteur (V, km/h);
- Le débit de l'épandeur (d, t/mn).

Ces trois facteurs sont reliés par la relation :  $D = d \cdot 600 / (L \cdot V)$

Un contrôle de la dose apportée est nécessaire pour éviter les pertes de matières fertilisantes et pour limiter les impacts négatifs sur l'environnement (lixiviation des nitrates, volatilisation de l'ammoniac, etc.)

#### Uniformité d'application (répartitions longitudinale et transversale)

Les systèmes doivent permettre un taux d'application constant perpendiculairement et parallèlement à la direction d'avancement de l'équipement d'application, désigné respectivement par la répartition transversale et par la répartition longitudinale.

#### Adaptation des modes d'application aux exigences du sol et des cultures

Les systèmes d'application doivent permettre l'application du produit à l'endroit optimal en fonction des besoins spécifiques des sols et des cultures : à la surface du sol, sous la surface du sol ou encore mélangé avec le sol de surface, en couverture totale ou en bandes. Les systèmes d'application doivent permettre l'application du produit au moment optimal en fonction des besoins spécifiques des sols et des cultures : en pré- ou en post-levée, après la récolte, etc.

#### Minimisation des impacts négatifs des opérations d'application

Les équipements d'application doivent minimiser les impacts négatifs sur les sols (ex : compaction, orniérage, etc.) et sur les cultures (souillures des plants, dommages aux parties aériennes ou aux racines, etc.).

Les émissions d'odeurs durant les opérations d'application doivent être minimisées.

## Normes existantes

Il existe des normes qui préconisent le respect de certains critères techniques de l'épandage, décrits précédemment, pour une meilleure qualité de l'épandage des fumiers et des lisiers. Les deux normes européennes "Environnement" pour la qualité d'un épandage d'effluents organiques sont :

- EN 13080 - Epandeur de fumier
- EN 13406 - Epandeur de lisier

Ces normes portent sur les prescriptions et méthodes d'essai pour la précision d'épandage. Elles préconisent les qualités des épandeurs en termes de répartition longitudinale et d'étendue équivalant à la régularité de la quantité épandue du début à la fin de la vidange de l'épandeur et en termes de répartition transversale, équivalant à la régularité de la quantité épandue sur la largeur de travail. Elles stipulent les valeurs de ces paramètres d'épandage conseillées pour fournir un épandage de qualité.

### L'étendue et le coefficient de variation pour la répartition longitudinale

L'étendue est le pourcentage du temps de déchargement pendant lequel les débits instantanés se trouvent dans la zone de tolérance à plus ou moins 15 % autour de la valeur de débit caractéristique (débit moyen, le plus élevé, calculé sur 30 % du temps de déchargement).

Pour une tonne à lisier, la valeur de l'étendue doit être :  $E > 90 \%$ .

Pour un épandeur à fumier, la valeur de l'étendue doit être :  $E > 35 \%$ .

Le coefficient de variation de la répartition longitudinale, qui reflète la variation du débit caractéristique, doit être de valeur C.V.  $< 40 \%$  pour les deux types d'épandeur.

### Le coefficient de variation et dérivation moyenne pour la répartition transversale

Le coefficient de variation de la répartition transversale (épandage en nappe) qui reflète la variation de la dose épandue sur la largeur de travail doit être de valeur :

- C.V.  $< 20 \%$  pour les épandeurs à lisier
- C.V.  $< 30 \%$  pour les épandeurs à fumier.

La déviation moyenne pour la répartition transversale est inférieure à 15 % pour les épandeurs de lisier. Ce coefficient s'applique pour l'épandage en ligne (enfouisseurs, pendillards). Il reflète la variation maximale admissible entre les sorties.

Cependant, ces normes sont des préconisations et tous les constructeurs n'y répondent pas en qualité. En effet, en 2005, 37 % des épandeurs testés ne satisfaisaient pas les normes en matière de C.V. et d'étendue, simultanément, pour la répartition longitudinale (Rousselet, 2006). En termes de répartition transversale, les mêmes essais du Cemagref (désormais Irstea) ont montré que 27 % des épandeurs ne sont pas conformes aux normes (Rousselet, 2006).

Il est à noter que les exigences de ces deux normes sont laxistes et ne répondent pas à l'application **constante** qui est demandée perpendiculairement et parallèlement à la direction d'avancement.

Pour finir, les épandeurs sont aussi soumis aux normes du Code du travail et du Code de la route et pour les épandeurs à lisier avec compresseur, ils doivent être conformes à la Directive "Equipements sous Pression" (Cosnier et al., 2007).

L'épandage en général est soumis à la Directive Nitrate de 1991, et au Code des Bonnes Pratiques Agricoles qui en découle, en ce qui concerne les doses apportées et le respect des zones tampons interdites à l'épandage.

# 1 Les épandeurs à lisiers

## 1.1 Les produits épandus

Les lisiers sont constitués de déjections animales, urines et fèces, mélangées et fermentées pendant leur stockage dans une fosse. Ils contiennent des débris alimentaires et peuvent être dilués par les eaux de pluie ou de nettoyage et les jus de silos. Ces produits sont dits liquides, ils sont pompables et épandus par des tonnes à lisier. Ils ont une siccité généralement inférieure à 8 %. Ce type de produit a pour inconvénient de dégager une forte odeur à l'épandage et de perdre une partie non négligeable de son azote par volatilisation de l'ammoniac.

D'autres produits dits "liquides" sont également épandus par tonnes à lisiers comme les boues liquides de stations de traitement des eaux usées (STEU) par exemple.

La norme 13406 définit les caractéristiques d'un produit utilisable pour les essais de répartition.

## 1.2 Le matériel

### 1.2.1 Aspects globaux

Un épandeur à lisier (Figure 1), communément appelé tonne à lisier est un matériel d'épandage qui peut être automoteur mais qui est le plus souvent tracté. Il se compose d'une citerne, d'un train roulant, d'un dispositif de remplissage/vidange de la cuve et d'un dispositif d'épandage situé à l'arrière de la cuve (CORPEN, 1997).

Il assure les fonctions de remplissage de la citerne à la fosse de stockage, de transport du lisier de la zone de stockage au champ et d'épandage. L'avancée des technologies a largement amélioré ces fonctions de l'épandeur. Par exemple, des bras articulés permettent de pomper le produit en restant dans la cabine du tracteur, des essieux suspendus procurent à la remorque une bonne tenue routière et un très large panel de dispositifs a été conçu pour l'épandage (Thirion et Chabot, 2003).



Figure 1 : Epandeur à lisier.

Le mode de fonctionnement des tonnes à lisier détermine deux types d'épandeurs de lisier. La première catégorie, les tonnes à compresseur d'air, utilise respectivement la pression puis la dépression dans la cuve afin d'assurer les fonctions de vidange et de remplissage. La seconde catégorie, les tonnes à pompes, utilise des pompes centrifuges ou volumétriques pour assurer le remplissage et la vidange de la cuve.

### 1.2.2 Epandeur de lisier à compresseur d'air

L'épandeur à compresseur (Figure 2) est le plus répandu. Son fonctionnement est simple. Le passage de la fonction vidange à la fonction remplissage se fait par une simple vanne quatre voies contrôlant le sens de flux de l'air produit par le compresseur. Le schéma ci-dessous (Figure 3) représente la phase remplissage de la cuve, il y a extraction de l'air contenu dans la cuve. Le passage en phase vidange se fait par basculement d'un quart de tour de la vanne quatre voies. L'air est alors pulsé dans la cuve.

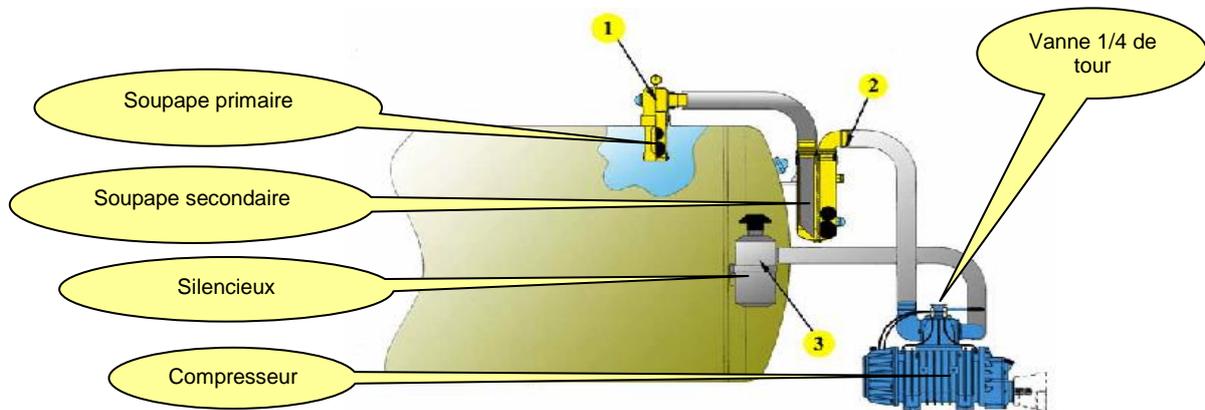


Figure 2 : Dispositif d'installation du compresseur.

Remplissage de la cuve :

- Le compresseur crée une dépression dans la cuve (- 0,4 à - 0,6 bar);
- Le lisier s'achemine naturellement par aspiration et remplit la cuve;
- Au remplissage complet, la soupape primaire se ferme (une boule de type flotteur vient obstruer l'orifice), la soupape secondaire complète la protection du compresseur.

Vidange de la cuve :

- Le compresseur envoie de l'air dans la cuve et crée ainsi une pression dans la cuve (+ 0,3 à 1 bar);
- Le lisier est mis sous pression;
- A l'ouverture de la vanne arrière, le lisier est éjecté vers le dispositif d'épandage (buse, pendillards, enfouisseurs).

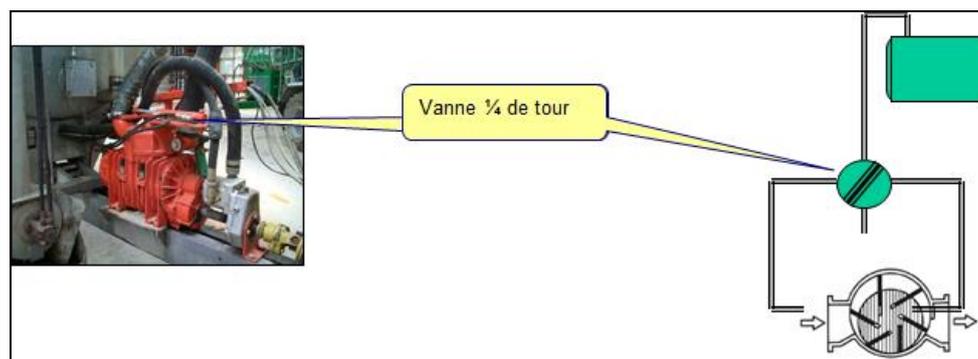


Figure 3 : Système du compresseur.

### 1.2.3 Epandeur de lisier à pompe centrifuge ou volumétrique

La cuve n'est soumise à aucune pression : elle peut être plus légère et fabriquée en plastique. Ces systèmes de pompes sont plus onéreux que le compresseur mais sont plus silencieux, nécessitent moins d'entretien et sont plus productifs avec une réduction du temps de remplissage (Shubnel, 2009).

#### Epandeur à pompes centrifuges



Figure 4 : Pompe centrifuge à l'avant.



Figure 5 : Pompe centrifuge en bout de bras.

Une pompe (Figure 4), installée à l'avant de l'épandeur pour un entraînement direct par la prise de force du tracteur, assure l'alimentation du dispositif d'épandage.

Une pompe centrifuge installée en bout de "bras" mécanisé assure le remplissage (Figure 5).

#### Epandeur à pompe volumétrique



Figure 6 : Epandeur à lisier automoteur à pompe volumétrique.

Une seule pompe à lobes ou colimaçon assure le remplissage et la vidange.

Un jeu de vannes permet le passage de la fonction vidange à la fonction remplissage.

Sur cet automoteur (Figure 6), la cuve est en résine et la pompe est placée devant la roue arrière gauche.

### 1.2.4 La citerne

La citerne est le plus souvent en acier galvanisé à chaud. L'épaisseur de la tôle est choisie pour résister aux efforts engendrés sur les parois par de fortes variations de pression et de dépression dans la cuve avec un dispositif à compresseur. Elle peut être plus légère et en plastique avec des pompes volumétriques ou centrifuges. Les capacités des citernes augmentent continuellement pour s'adapter aux besoins grandissants de gros volumes destinés à réduire la distance totale de trajet sur route. La gamme de volume s'étale de 2 à 27 m<sup>3</sup> pour les matériels vendus en France.

Un « trou d'homme » à l'arrière de la citerne est indispensable pour pouvoir éliminer les dépôts et nettoyer la cuve. Elle doit aussi être équipée d'autres dispositifs d'aide aux fonctions de remplissage et de vidange, tels que des regards sur hublots, tubes extérieurs, compteurs de tonne, indicateurs de niveau. Un dispositif de brassage interne est aussi indispensable notamment avec les lisiers sujets à sédimentation lors de transports sur longue distance (CORPEN, 1997).

#### 1.2.5 Le train roulant

Les épandeurs à lisier peuvent être automoteurs mais dans la majeure partie des cas sont tractés. Le train roulant est composé d'un ou plusieurs essieux comportant des pneumatiques de taille et pression de gonflage variable.

Les essieux peuvent être simples, doubles ou triples selon le volume de la tonne et ils peuvent être du type "booggie" (Figure 7), "balancier" ou "tandem" (Figure 8) avec la possibilité d'avoir l'un des deux essieux suiveur ou directeur (CORPEN, 1997).



Figure 7 : Essieux booggie.



Figure 8 : Essieux tandem.

Le pneumatique est un composant essentiel de l'épandeur. En tant qu'interface véhicule/route ou véhicule/sol, il influence de nombreuses caractéristiques techniques (support de la charge, respect du sol, etc.) mais aussi réglementaires (largeur hors tout, freinage, etc.) (CORPEN, 1997). L'utilisation de pneumatiques adaptés est indispensable pour éviter les dégâts sur les sols, consécutifs aux fortes contraintes exercées par les épandeurs (Thirion et Chabot, 2003).

On a déjà vu dans le pré requis que l'épandage pouvait induire une compaction du sol et aussi des déplacements de matière créant des ornières. Ces deux effets conséquents de l'épandage sont néfastes pour l'environnement. De nombreux facteurs sont impliqués dans leur formation : propriétés physique du sol, charge appliquée, pression de contact et autres caractéristiques géométriques et mécaniques des systèmes porteurs. Le risque de tassement ou d'ornières dépend directement de la pression interne des pneumatiques fortement, corrélée à la pression exercée sur le sol (Thirion et Chabot, 2003). et à la charge à l'essieu. Ainsi, la charge totale appliquée au sol et la pression de contact entre organes porteurs et le sol sont les deux facteurs les plus importants à diminuer pour minimiser ces risques (Laguë, 2005).

Le travail réalisé pour réduire les effets de compaction et d'orniérage porte sur la réduction de la pression directe exercée sur le sol. Premièrement, cette réduction peut être réalisée en diminuant le poids exercé un essieu, en répartissant sur plusieurs essieux le poids de l'épandeur ce qui diminue la pression sous chaque pneumatique. La voie complémentaire est l'augmentation de la surface de contact avec le sol. Pour ceci, des pneumatiques larges, de grand volume, dits "pneumatiques basse pression" aptes à porter la charge avec une faible pression (Figure 9) sont utilisés. Ces pneumatiques avec un plus grand volume offre une pression de gonflage réduite, la diminution de la pression du pneumatique sur sol meuble permet ensuite de réduire les efforts de traction, les ornières et le tassement du sol. Cependant, en terrain sec et dur et sur route, ces pneumatiques génèrent une augmentation de l'effort de traction et leur usure prématurée.



Figure 9 : Pneumatiques basse pression montés sur tracteur.

Les manufacturiers ont progressé sur la conception de pneus basse pression en augmentant les indices de charge de leurs pneumatiques tout en garantissant des structures de pneus plus respectueuses des sols et qui limiteraient aussi l'usure prématurée des pneumatiques sur route. Mais, depuis quelques années, la très forte augmentation des charges à l'essieu a conduit les manufacturiers à prendre des précautions afin de se préserver d'éventuels recours face à des risques de destruction précoce du pneumatique. Ces précautions consistent à proposer une pression de gonflage élevée (3 à 4 bars) limitant ainsi le bénéfice agronomique acquis antérieurement.

Le plus important pour adapter ses pneumatiques au travail effectué est l'adéquation de la pression du pneumatique avec le type de pneumatique utilisé, la charge transportée, le terrain et la vitesse d'avancement. Il est donc conseillé aux utilisateurs de bien réfléchir aux pressions des pneumatiques et de les vérifier régulièrement pour limiter non seulement leur usure mais également le tassement (Cosnier et al., 2007). La règle de base est la diminution de la pression des pneumatiques pour des travaux sur sol meuble et l'augmentation de la pression pour des trajets sur route. Ceci n'est toutefois possible que si le tracteur et l'épandeur sont tous deux équipés d'un dispositif de télégonflage.

### 1.2.6 Les dispositifs d'épandage

Il existe de nombreux dispositifs d'épandage de liquide associés aux tonnes à lisiers. Les avancées technologiques ont permis une meilleure adéquation du dispositif d'épandage à son environnement (type de sol, la culture mise en place, la proximité d'habitations, les risques de pollution, ...). Les dispositifs les plus utilisés sont présentés ci-dessous.

#### Les ensembles buse-palette

Ce dispositif est composé d'un ajutage et d'une palette dirigée vers le bas ou vers le haut. Le jet de produit sortant de la buse est éclaté par la palette à sa sortie ce qui le disperse dans l'air avant de retomber sur le sol. Cet ensemble varie en forme, taille et en position selon les innovations et constructeurs. Les nappes d'épandage, la hauteur de dispersion seront alors différentes. Quelques modèles sont illustrés ci-dessous (Figure 10) (CORPEN, 1997).



Figure 10 : Exemples de buse-palette (de gauche à droite : buse à palette, buse de précision, buse à jet rabattu, buse à palette inversée, buse pivotante).

L'ensemble buse-palette est le plus simple, le plus commun et le moins onéreux des dispositifs d'épandage de liquide. Cependant, la répartition transversale de ces buses n'est pas bonne, même quand elles sont commercialement dénommées « buses de précision » et l'aspersion augmente les phénomènes de volatilisation de l'ammoniac et de mauvaises odeurs.



Figure 11 : Dispositif tri-buses.

Il existe aussi des bi ou tri-buses où deux ou trois buses sont montées sur une canalisation commune (Figure 11). La largeur du dispositif est généralement égale ou inférieure à la largeur de l'épandeur. Ce dispositif est utilisé pour augmenter la largeur de travail et améliorer la répartition transversale par rapport à un seul ensemble buse-palette. Les résultats des essais réalisés avec des dispositifs tri-buses ont donné de très mauvais résultats de répartition transversale (Cosnier et al., 2007).

### Les rampes

Pour les dispositifs à rampe, le lisier est refoulé dans un dispositif de répartition, qui l'envoie dans une rampe. Un ensemble de tuyaux flexibles et de canalisations rigides achemine le lisier vers un nombre plus ou moins grand de descentes terminées par buses, pendillards ou enfouisseurs. Ce dispositif permet d'augmenter la largeur de travail et d'améliorer la répartition transversale. La pression à chaque sortie est réduite et donc la dispersion du produit l'est aussi, ce qui engendre une réduction des nuisances olfactives.

La répartition du lisier dans les canalisations individuelles est réalisée par un répartiteur. Celui-ci peut être passif (boîte à trous) ou actif avec un dispositif à entraînement hydraulique qui assure une répartition homogène du liquide dans tous les tuyaux de la rampe. Sur les rampes de 24 mètres de largeur de travail, deux répartiteurs sont utilisés. Il est aussi très utile d'utiliser un broyeur répartiteur pour éviter l'encombrement, voire une obstruction des tuyaux par des débris, ce qui nuirait à la répartition transversale de l'épandeur.

#### *\* Rampes à buses*

La rampe à buses (Figure 12) est un dispositif le plus souvent équipé d'un répartiteur passif. La rampe peut être d'une largeur de travail de 12 mètres, 15 mètres, voire davantage. Les buses sont espacées de 1 mètre à 1,50 mètres voir 2 mètres. Une rampe de 15 mètres pourra porter par exemple 10 buses.



Figure 12 : Rampes à buses.

*\* Rampes à pendillards*

Une rampe à pendillards (Figure 13) est constituée de nombreux tuyaux de descente espacés d'environ 30 centimètres. Le produit épandu est déposé à quelques centimètres du sol, à basse pression, selon des lignes parallèles à l'avancement du tracteur. Le (les) répartiteur(s) est (sont) de type actif et souvent dénommé(s) broyeur(s) répartiteur(s). Les pendillards améliorent grandement la répartition transversale. Les largeurs de travail sont de 12, 15, 18, 21 mètres, et des rampes de 24 mètres (ci-dessous) voire davantage sont aujourd'hui commercialisées. Ce système est de plus en plus utilisé. L'écartement entre les sorties est d'environ 25 à 30 cm.



Figure 13 : Rampes à pendillards.

*\* Enfouisseurs*

Les enfouisseurs (Figure 14) sont les dispositifs d'épandage les plus "avancés" et ceux qui permettent le mieux de réduire les impacts environnementaux tels que la volatilisation de l'ammoniac et les nuisances olfactives. Les sorties de tuyaux sont couplées cette fois à un outil de travail du sol qui incise la terre et permet l'injection ou le dépôt du produit à l'intérieur du sol. Divers outils de travail du sol sont utilisés en fonction du sol de la parcelle et du couvert végétal en place. Le produit étant enfoui, cela implique théoriquement une absence de volatilisation et d'odeurs. De plus, l'usage d'un enfouisseur à dents de type enfouisseur culture (Figure 14) peut permettre d'économiser un passage de cultivateur sur céréales. Cependant, cet équipement coûte cher et demande un effort de traction bien soutenu. Ce surcoût est compensé par l'économie d'apports de fertilisation minérale en réduisant les pertes d'azote par volatilisation (Shubnel, 2009).



Figure 14 : Types de dispositifs enfouisseurs (de gauche à droite : enfouisseur prairie, enfouisseur culture, enfouisseur polyvalent).

Outre les trois grandes classes d'enfouisseurs présentées sur la Figure 14, de nombreuses variantes existent. Des propositions de constructeurs sont faites afin de limiter la puissance de traction nécessaire.

Des appareils à patins sont aussi proposés et sont classés dans la gamme des enfouisseurs bien qu'il n'y ait pas d'injection du lisier dans le sol. Ces appareils à patins ou sabots permettent de déposer une veine de liquide au pied des plantes sans salir la végétation. L'utilisation de ce type de matériel évite au maximum la souillure des plantes sans dégrader le sol sur prairie. Ceci implique donc un retour au pâturage des animaux plus rapide par rapport à un dispositif à pendillards. Mais les questions d'odeur et de dégagement d'ammoniac restent posées. La largeur de travail limitée des enfouisseurs réduit le plus souvent le débit de chantier.

#### Epandage de lisier sans tonne

L'épandage des lisiers peut également se faire sans utilisation de tonne à lisier (Figure 15). Le transport de lisier est fait à partir de canalisations depuis la fosse à lisier ou depuis un réservoir tampon. Seul le dispositif d'épandage est attelé au tracteur. Un tuyau ombilical de plusieurs centaines de mètres est traîné par le tracteur tout au long du parcours dans la parcelle.



Figure 15 : Epandeur sans tonne.

Dans ce cas-là, seul le poids du tracteur est supporté par la parcelle. Cette technique est réservée aux chantiers dont les parcelles sont proches de la fosse à lisier. De plus, des opérations de mise en place et de maintenance sont nécessaires (Shubnel, 2009). Le dispositif d'épandage peut être une buse à palette, un pendillard ou un injecteur. L'épandage de lisier sans tonne est intéressant en montagne.

## Robot d'épandage



Figure 16 : Robot d'épandage.

Le robot d'épandage (Figure 16) est le fruit de la réflexion d'un groupe d'agriculteurs. L'industrialisation du système n'est pas effective, bien que des constructeurs s'intéressent à la proposition. Il s'agit de deux chariots complémentaires capables, en autonomie complète, de couvrir près de 10 hectares sans changement de position. Ce robot avec sa petite taille et son poids réduit convient aux petites parcelles peu accessibles, avec un sol trop humide et/ou sensible au tassement.

### 1.3 Les performances

#### 1.3.1 La répartition longitudinale

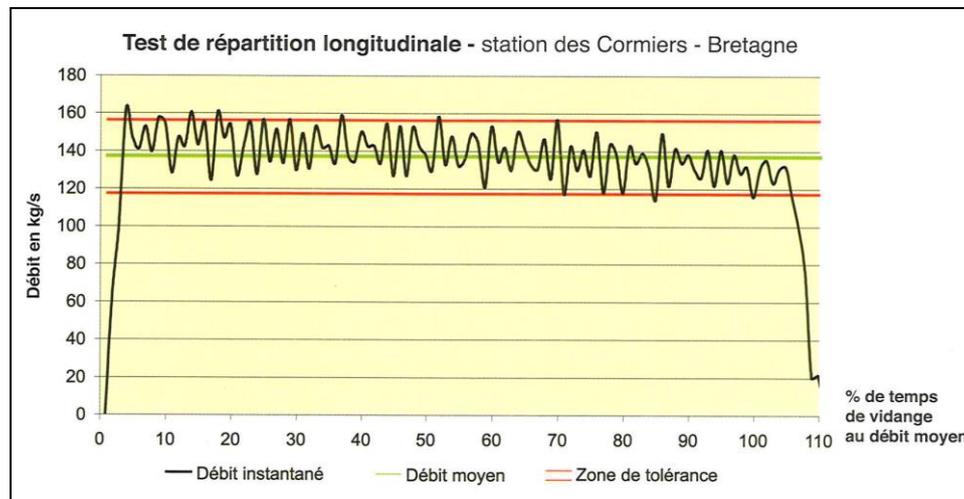


Figure 17 : Variation du débit lors de la vidange d'une tonne à lisier.

Le débit de l'épandeur est quasi constant du début à la fin de l'épandage (Figure 17), la quantité épandue en fin de vidange de la cuve est légèrement décroissante. Les dispositifs d'épandage ont parfois une influence sur la qualité de la vidange mais cela reste très correct. L'étendue est de plus de 90 % et le coefficient de variation est faible. La répartition longitudinale des épandeurs à lisier est donc très satisfaisante.

#### 1.3.2 La répartition transversale

La répartition transversale des épandeurs à lisier est très variable en fonction des dispositifs d'épandage.

Pour le dispositif à buse-palette, la nappe d'épandage n'est pas homogène sur toute sa largeur de projection. La répartition transversale de l'épandage par buse palette est conditionnée par le recouvrement des deux nappes des deux passages successifs. Sur le terrain, c'est le chauffeur qui détermine la largeur de travail, sans moyen de vérifier la régularité de l'épandage.

- La régularité de l'épandage avec les buses dépend du type et du nombre de buses choisies, de l'état et du réglage de celles-ci. En effet le positionnement de la buse sur un support sphérique n'est pas indexé et une variation de la position de la buse peut avoir un impact négatif fort sur la répartition. Il est plus facile de réaliser une bonne répartition transversale avec une rampe à buses plutôt qu'avec une buse simple.
- Les rampes à buses équipées d'un répartiteur passif, offrent une répartition transversale correcte (Figure 18) au-dessus d'une dose de 30 m<sup>3</sup>/ha. En dessous de cette limite, les buses extérieures de la rampe sont insuffisamment alimentées, voire pas du tout alimentées et la répartition transversale est donc détériorée.

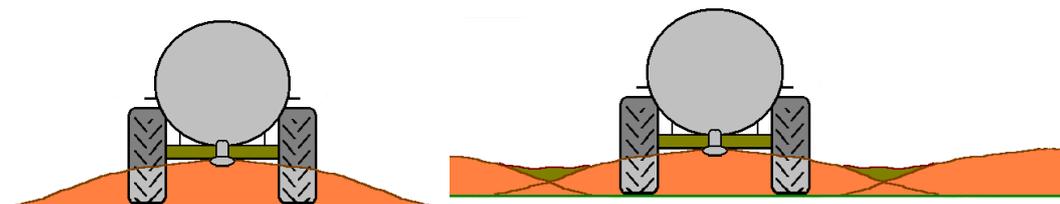


Figure 18 : Répartition en dôme de l'épandage par buse.

La répartition transversale de l'épandage en ligne (pendillards, enfouisseurs, etc.) est de meilleure qualité que l'épandage en nappe par des buses ou rampes à buses.

- Les rampes à pendillards ont une bonne répartition transversale (Figure 19) qui peut toutefois varier selon les lisiers et les doses épandues.
- Les enfouisseurs cultures et prairies ont une très bonne répartition transversale.

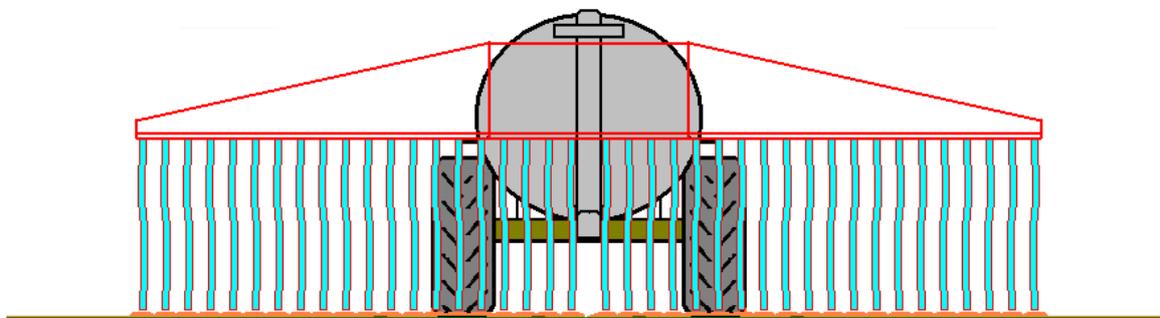


Figure 19 : Répartition transversale d'un épandage type pendillards ou enfouisseurs.

### 1.3.3 Le dosage

Pour les épandeurs à compresseur, la plage de réglage est faible, voire limitée à un seul niveau de débit. Le dosage sera donc réglé par la vitesse d'avancement du tracteur.

Sur les épandeurs à pompe volumétrique, le débit est proportionnel à la vitesse de la pompe. Sur les épandeurs à pompe centrifuge, la pompe délivre un débit maximal : une partie de débit (réglable) est recyclée vers la cuve, le solde du débit alimente le dispositif d'épandage (souvent géré par un calculateur électronique). Cette dernière solution est réservée aux matériels de très haute gamme.

Le système de Dosage Proportionnel à l'Avancement (DPA) fonctionne bien et est utile mais il est très peu courant. Pour autant, la plage de débit pour laquelle il sera efficace est limitée par la dégradation des performances de répartition transversale dans les petits débits.

Le débit peut aussi être limité par la section de passage des émissaires du broyeur répartiteur.

#### 1.3.4 Le risque de bouchage

Certains lisiers peuvent être très chargés. Les lisiers de bovin contiennent des brins de paille, les lisiers de canard, des plumes, etc. Ces éléments peuvent provoquer des bouchages des répartiteurs des rampes et des enfouisseurs. Les risques de bouchage sont accrus dans les situations suivantes :

- Utilisation d'un répartiteur passif,

- Utilisation d'un broyeur répartiteur en mauvais état,

- Pression hydraulique insuffisante au broyeur répartiteur (débit insuffisant),

- Utilisation d'épandeur à compression d'aire limité à 1 bar en pression d'expulsion.

A contrario, les épandeurs équipés de pompes centrifuges et de broyeurs répartiteurs en bon état et bien alimentés peuvent épandre des lisiers dont l'indice de bouchage dépasse les notes de 150 à 170.

## 2 Les épandeurs à fumier

### 2.1 Les produits épandus

Comme son nom l'indique, ce type d'épandeur est adapté, en premier lieu, à l'épandage du fumier. Les fumiers sont le résultat du mélange des déjections animales et de la litière (paille, sciure ou copeaux), et proviennent d'élevages bovins, ovins, caprins, porcins, équins ou avicoles. Ils fermentent sous les animaux et sur leur plateforme de stockage. Les fumiers sont des amendements organiques généralement très hétérogènes du point de vue chimique et des caractéristiques physiques. Ces caractéristiques varient en fonction de l'origine et de l'alimentation animale, de la quantité et du type de litière, du stockage, du ramassage et de la maturité du produit. Les fumiers représentent la majeure partie des produits organiques épandus en France avec 63 % de la quantité totale (Thirion et Chabot, 2003). Dans les cas les plus fréquents, le fumier est un produit dit « solide » et sa teneur en matière sèche est toujours supérieure à 20 % et peut atteindre 50 % (CORPEN, 1997). Les fumiers sont manipulables à la fourche du tracteur.

Les épandeurs à fumier ont vocation à épandre un large panel de produits comprenant entre autres composts et boues de STEU séchées. Ces produits ont des caractéristiques physiques encore différentes de celles des fumiers mais sont eux aussi considérés comme produits "solides" et, leur comportement à l'épandage se rapprochant de celui du fumier, ils peuvent être épandus, dans la plupart des cas, par un épandeur à fumier.

La norme EN 13080 définit les caractéristiques physiques des produits utilisables pour les essais de répartition.

### 2.2 Le matériel

#### 2.2.1 Aspects globaux



Figure 20 : Epandeur à fumier.

Les épandeurs à fumier (Figure 20) sont adaptés à l'épandage de produits dits "solide". Ils sont composés de trois grands ensembles : un train roulant (essieu + pneumatiques) exerçant l'action sur le sol et assurant le déplacement, une caisse contenant le produit à épandre, montée sur châssis et équipée d'un dispositif de déplacement du fumier, et un dispositif d'épandage assurant la dispersion du produit sur la surface du sol. Ces trois parties de l'épandeur ont de multiples variantes. Des composantes annexes sont aussi présentes comme une grille de protection contre les jets de pierres, des déflecteurs, une porte guillotine de sortie étanche, etc.

### 2.2.2 Le train roulant

C'est la même problématique que pour les épandeurs à lisier. Les problèmes de tassement et d'orniérage sont aussi présents. Les mêmes technologies et innovations que pour les tonnes à lisier sont donc mises en place sur les épandeurs à fumier (voir paragraphe 1.2.5).

### 2.2.3 La caisse



Figure 21 : Epandeur à caisse étroite.



Figure 22 : Epandeur à caisse large.

Deux grandes catégories d'épandeurs se distinguent d'après la largeur de la caisse : les épandeurs à caisse étroite avec les roues sur le côté de la caisse (Figure 21) et les épandeurs à caisse large avec les roues sous la caisse (Figure 22).

La caisse étroite, du fait de sa plus faible largeur, offre un volume de transport plus restreint. Cependant, elle permet l'utilisation de roues de grand diamètre qui diminuent l'effort de traction demandé au tracteur. Elles sont un peu plus sensibles aux problèmes de voûtage du fait d'une largeur de tapis plus faible (Havard et al., 2007).

La caisse large permet de transporter un plus gros volume de produit mais les roues utilisées sont d'un diamètre restreint. Aujourd'hui, les caisses larges sont à nouveau proposées par les constructeurs afin d'augmenter significativement les volumes des caisses. En effet, les trajets, lors des transports de fumier, augmentent par les phénomènes de démembrement des exploitations agricoles et la quête de plans d'épandage parfois éloignés. Le gain de volume est donc recherché. La réglementation autorise un maximum de seize tonnes de poids total en charge pour un épandeur équipé d'un seul essieu (3 t sur la flèche et 13 t à l'essieu). Ainsi, les épandeurs à caisse large peuvent être équipés d'un double essieu, pour respecter la réglementation et ainsi limiter le tassement du sol. La répartition longitudinale est meilleure qu'avec les caisses étroites (Havard et al., 2007).

Ci-dessus, à droite de la Figure 21 on remarque la porte guillotine qui assure l'étanchéité de la caisse pendant les transports. Cette porte étanche est utile lors du transport avant épandage de produits assez mous (ex: fiente de volaille et produits pâteux) et contenant des jus pouvant se déverser sur le trajet.

## 2.3 Le dispositif de déplacement du fumier

### 2.3.1 Le fond mouvant

Pour entraîner le fumier vers les hérissons, un fond mouvant est monté dans la caisse. Il est constitué de deux (Figure 23), trois ou quatre (Figure 24) chaînes reliées par des barres métalliques qui constituent un ou deux tapis mouvants. Il amène le fumier au contact du système de déchiquetage et de répartition pour épandage.



Figure 23 : Fond mouvant à deux chaînes.



Figure 24 : Fond mouvant à quatre chaînes.

La vitesse d'avancement du tapis est lente et réglable de 0 à 5 m/minute environ. Elle assure le réglage du débit de l'épandeur. Autrefois mécanique, cet entraînement est désormais couramment assuré par un moteur hydraulique dont on règle le débit d'alimentation en huile. Adapter la vitesse d'avancement permet l'obtention du débit recherché. La vitesse d'avancement du tapis peut être réglée par un boîtier électronique ou par un diviseur de débit hydraulique. On trouve deux systèmes de commande hydraulique dans le parc des épandeurs :

- L'utilisation des auxiliaires hydraulique du tracteur peut avoir une conséquence sur le débit d'hydraulique et avoir un impact sur celui de l'épandeur et donc sur la vitesse du tapis. Ainsi, le réglage du débit du fumier peut dépendre des performances du tracteur.
- L'utilisation d'une centrale hydraulique indépendante permet de réaliser des réglages plus précis et reproductibles, indépendamment du tracteur utilisé. Avec ce dispositif de fond mouvant l'effondrement du tas de fumier dans la caisse lors de l'épandage et de l'avancée des barres est réglé. Cet effondrement provoque une diminution du débit à la fin de la vidange de la caisse et donc dégrade la répartition longitudinale.

### 2.3.2 Le tablier accompagnateur

Ce tablier est un dispositif ancien qui avait progressivement été abandonné par les constructeurs. Il est depuis peu réutilisé par un constructeur. Ce tablier, solidaire du fond mouvant évite l'effondrement du tas dans la caisse et améliore ainsi la répartition longitudinale.

### 2 3 3 Le tablier pousoir

Le tablier pousoir équipe un épandeur de marque allemande dépourvu de fond mouvant. Le tablier est entraîné par un vérin hydraulique qui comprime et pousse le fumier vers le dispositif d'épandage. La vitesse d'avancement du tablier est asservie au couple d'entraînement du dispositif d'épandage.

## 2 4 Les dispositifs d'épandage

Lors des dernières décennies, pratiquement tous les épandeurs étaient équipés de hérissons horizontaux sur des caisses larges. La largeur d'épandage de ces machines est comprise entre 2 et 4 m. L'adoption des hérissons verticaux sur des caisses plus étroites, ces dernières années, donne l'avantage d'augmenter la largeur d'épandage. Enfin l'apparition des dispositifs à table d'épandage couplés aux hérissons horizontaux a permis d'augmenter la largeur d'épandage de 12 à 24 m et d'augmenter la diversité des produits épandables dans de bonnes conditions. Aujourd'hui, on ne trouve plus que les deux derniers dispositifs d'épandage sur les épandeurs de fumier en Europe.

### 2.4.1 Les hémrissons verticaux

Le dispositif est composé de deux hémrissons verticaux dchiqueteurs de grand diamètre, légèrement inclinés vers l'avant et qui tournent en sens inverse. Le fumier passe entre les deux hémrissons.

La largeur utile d'épandage est comprise entre 6 et 12 mètres. Les hémrissons verticaux sont mécaniquement simples et nécessitent moins de puissance. L'angle d'attaque des hémrissons, leur grand diamètre et leur vitesse périphérique conditionnent un bon émiettement du produit au moment de l'expulsion.

Les hémrissons verticaux sont bien adaptés aux fumiers compacts, type fumier de bovin.



Figure 25 : Hémrissons verticaux (de gauche à droite : sur caisse large, sur caisse étroite, hémrissons non parallèles).

Les trois photographies de la Figure 25 représentent différents types de hémrissons mais ne représentent pas l'ensemble de toutes les solutions existant sur le marché. Chaque constructeur innove et se différencie vis-à-vis de ses concurrents par de nombreuses variantes : vitesse de rotation, forme et diamètre des hémrissons, position, forme et nombre de « couteaux », etc.

### 2.4.2 Dispositif à table d'épandage

Ce dispositif est composé de deux hémrissons horizontaux dchiqueteurs et d'une hotte qui les recouvre et oriente le point de chute sur deux ou quatre disques ou palettes tournant à forte vitesse. Les hémrissons émiettent le produit avant expulsion par les disques.

La largeur utile d'épandage est de 10 à 12 mètres.



Figure 26 : Dispositifs de tables d'épandage (de gauche à droite : hotte arrière fermée, hotte arrière ouverte, schéma du dispositif interne).

Le dispositif (Figure 26) est bien adapté aux produits à faible densité, type fumier de volailles ou composts, et offre également de bons résultats avec du fumier mûr de bovins qui est de forte densité et plus compact. C'est le dispositif le plus polyvalent. Il permet d'épandre de faibles doses du fait de la largeur de travail et d'assurer une bonne répartition transversale grâce au réglage du volet ( corriger en fonction du débit) qui détermine le point de chute du

produit sur les disques. Ces épandeurs permettent aussi le compostage avec le volet en position ouverte.

## 2.5 Les performances

### 2.5.1 La répartition longitudinale

La vidange de la caisse se décompose en trois phases (Figure 27 et Figure 28) pour les épandeurs classiques à fond mouvant :

- l'amorçage correspond à l'approche du fumier vers les hérissons après ouverture de la porte (si l'épandeur en est équipé) et mise en route du tapis.
- le palier est la période pendant laquelle les hérissons sont pleinement alimentés.
- la décroissance démarre lorsque les hérissons ne sont plus pleinement alimentés, ce qui est dû à l'éboulement du fumier dans la caisse. Cette phase est plus ou moins importante selon les caractéristiques du fumier et selon la largeur, la hauteur et la longueur de la caisse.

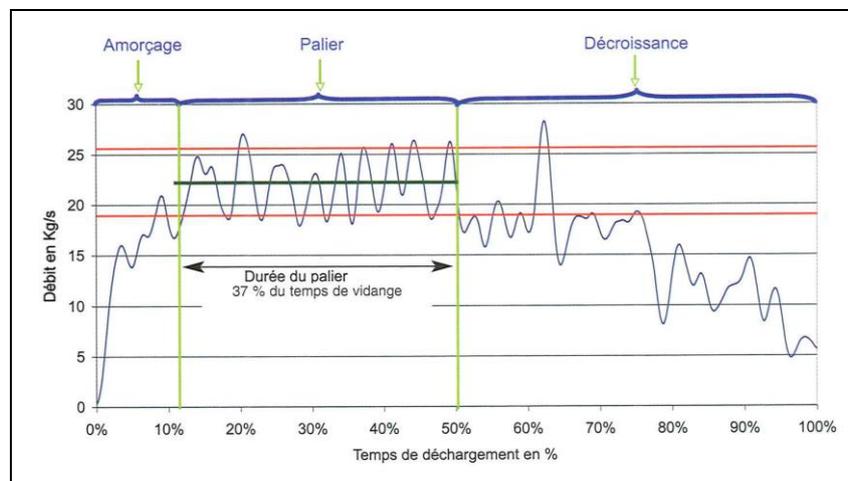


Figure 27 : Variations du débit lors de la vidange d'un épandeur à fumier.

Le palier est la phase où la répartition longitudinale est la plus régulière à condition que le chargement de la caisse soit à la même hauteur sur toute la longueur de la caisse et qu'il ne dépasse pas la hauteur des hérissons. Des mesures obtenues lors d'expérimentations spécifiques montrent que la durée du palier varie entre 30 et 65 % du temps de vidange. Pendant les deux autres phases c'est au conducteur de l'épandeur de corriger le débit en agissant sur la vitesse d'avancement du tracteur ou du tapis de l'épandeur.

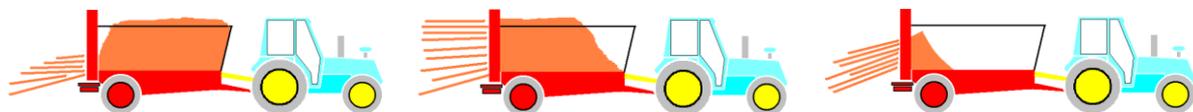


Figure 28 : Les trois phases de vidange d'un épandeur à fumier 1/ Amorçage, 2/ Palier, 3/ Décroissance.

Ces trois phases ayant des débits différents, une mauvaise répartition longitudinale est inéluctable.

Pour résoudre ce problème, des constructeurs français proposent deux solutions :

- Un tablier accompagnateur (Figure 29) évitant au fumier de s'ébouler en suivant sa progression dans la caisse et en retenant la partie arrière du tas. Le débit reste quasi constant jusqu'à la fin du déchargement, il n'y a plus de phase de décroissance. Ce tablier implique donc une très bonne répartition longitudinale, avec une étendue pouvant atteindre plus de 90 % (Lecocq, 2011).

- Un tablier poussoir. Sa vitesse d'avancement étant liée au couple d'entraînement du dispositif d'épandage, la répartition longitudinale est satisfaisante.

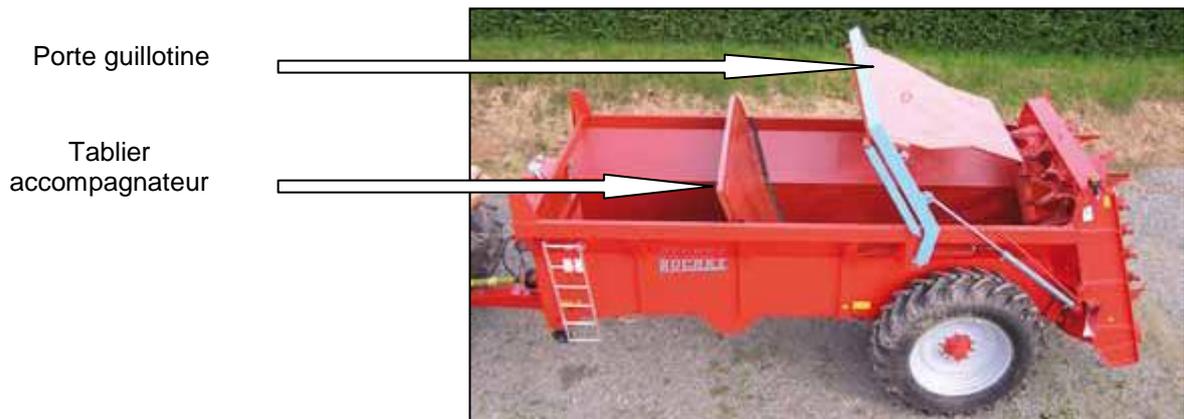


Figure 29 : Epandeur à fumier équipé d'un tablier accompagnateur.

### 2.5.2 La répartition transversale

La répartition transversale varie en fonction des produits épandus et du système d'épandage :

- Les épandeurs à table d'épandage et hérissons horizontaux disposent le plus souvent d'un volet arrière réglable permettant de corriger partiellement la répartition par ajustement du point de chute du produit (réglage à réaliser selon niveau de débit et type de produit). Un volet bien réglé offre une très bonne répartition.
- Les hérissons verticaux ont tendance à avoir une répartition en triangle (Figure 30 à gauche) avec des fumiers de volailles, en M avec des fumiers lourds et une répartition en dôme (Figure 30 à droite) avec des fumiers intermédiaires. L'allure de la répartition varie en fonction aussi du débit. Cette répartition oblige le conducteur de l'épandeur à recouvrir le passage précédent. En pratique le recouvrement se fait à l'œil (bien souvent en positionnant l'épandeur à la limite de l'épandage précédent) car l'utilisateur ne dispose pas d'autres moyens.



Figure 30 : Répartition en M (gauche) et répartition en dôme (droite), obtenues avec des épandeurs à fumier.

### 2.5.3 Le dosage

Pour un épandeur de fumier donné, la largeur de travail diffère selon le fumier. Peu de constructeurs proposent des indications relatives à la largeur de travail puisque la réelle difficulté est l'étalonnage pour une gamme de fumier infinie (autrement dit, il ne peut y avoir de vrai étalonnage). Ainsi, la largeur de travail se doit d'être déterminée empiriquement au champ par l'entrepreneur.

La vitesse d'avancement est une indication souvent disponible sur nos tracteurs modernes. Ce paramètre peut donc être aisément contrôlé et fixé, bien que selon la parcelle et le parcours, la vitesse d'avancement puisse varier.

La connaissance de l'information de débit massique ( $d$ ) est une préoccupation des constructeurs depuis de nombreuses années. Celui-ci dépend de la vitesse d'avancement du

tapis ( $v$ ), de la section de fumier projeté ( $S$ ) et de la masse volumique du produit ( $\mu$ ) reliés par :

$$d \text{ (t/s)} = v \text{ (m/s)} * S \text{ (m}^2\text{)} * \mu \text{ (t/m}^3\text{)}$$

La section de fumier déchiqueté est connue en début d'épandage mais peut varier ensuite à cause de l'effondrement du tas. L'avancement du tapis peut être contrôlé, la vitesse exacte n'est pas toujours indiquée, mais c'est une des préconisations des chercheurs pour pouvoir contrôler le débit.

Tout ceci montre bien qu'il est difficile de maîtriser parfaitement un dosage de précision lors d'un épandage de fumier. Des propositions et des innovations existent pour faciliter la mise en œuvre d'un épandage respectueux des doses, mais ces solutions techniques sont encore imparfaites (Lecocq, 2011).

Parmi ces techniques on peut citer :

- Le DPA (Débit Proportionnel à l'Avancement) : c'est un calculateur qui peut moduler la vitesse d'avancement du tapis en fonction de la vitesse d'avancement du tracteur. En réalité, cette solution ne constitue pas pour autant un vrai dispositif de type DPA. En effet les tests de répartition longitudinale effectués en station ne montrent pas de correction de l'effet effondrement du fumier comme sur les épandeurs à fond mouvant. Cependant, ce calculateur couplé à un épandeur muni d'un tablier accompagnateur trouve sa place et peut alors faire usage du DPA.
- La pesée : L'information permet de connaître la masse de fumier chargée dans l'épandeur avant le début de la vidange. Elle permet de calculer la consigne de débit instantané. Le montage le plus sophistiqué consiste à poser la caisse sur des capteurs qui permettent de fournir l'information « masse » en continu.
- Le volet de bordure : C'est une innovation qui vise à limiter les dépassements de projection en bordure de parcelles. Le système est constitué d'un volet rétractable qui peut s'ouvrir sur le côté de la bordure de parcelle et bloquer les projections (Figure 31). Le débit est régulé par la vitesse du fond mouvant en fonction de l'ouverture du volet pour conserver une dose apportée conforme à la dose à l'hectare souhaitée.



Figure 31 : Epandeur à fumier muni d'un volet de bordure.

## 3 Les épandeurs à produits pâteux

### 3.1 Les produits épandus

Les produits pâteux sont les produits intermédiaires entre les fumiers et les lisiers, trop visqueux pour être pompés en tonne à lisier et trop mous pour tenir en tas dans un épandeur à fumier. Lisiers pailleux et fumiers mous de bovins, lisiers purs ou fientes de volailles plus ou moins séchées, diverses boues de STEU et autres déchets industriels aux mêmes caractéristiques physiques sont classés ainsi. Ce sont les produits les plus difficiles à épandre, des épandeurs spécifiques ont dû être conçus pour leur épandage.

### 3.2 Le matériel

#### 3.2.1 Aspects globaux

Les épandeurs à produits pâteux sont en général tractés mais ils peuvent être automoteurs. Le produit est stocké dans une trémie étanche, sa forme en V permet d'éviter les angles morts et de centrer le produit sur des vis sans fin situées en fond de trémie. Une à deux vis entraîne(nt) le produit vers une trappe. A la sortie de celle-ci, deux dispositifs d'épandage peuvent être utilisés :

- les dispositifs latéraux à vis et turbine avant;
- les dispositifs à vis et plateaux centrifuges arrière.

Il faut ajouter également divers éléments facilitant le travail d'épandage tels qu'une fermeture de la caisse par un couvercle, une grille de séparation des corps étrangers, un agitateur. La caisse et le dispositif de convoyage du produit à l'intérieur de celle-ci sont identiques dans les deux cas.

#### 3.2.2 Les épandeurs latéraux à vis et à turbine avant

Dans ce type d'épandeur (Figure 32), la ou les vis d'Archimède positionnée(s) dans l'axe de la caisse, alimente(nt) une turbine placée à l'avant. La turbine de grand diamètre, entraînée par prise de force, projette latéralement le produit au travers d'une tuyère à sortie orientable avec une portée de 7 à 10 mètres. La charge se déplaçant vers l'avant, ce matériel offre l'avantage d'obtenir un bon report de charge sur le tracteur et de maintenir des bonnes conditions d'adhérence. Cependant, ce type d'appareil est désuet et n'est presque plus utilisé. Il est désormais remplacé par l'épandeur à projection arrière, le seul dispositif d'épandage de produit pâteux fabriqué actuellement en France (Thirion et Chabot, 2003).

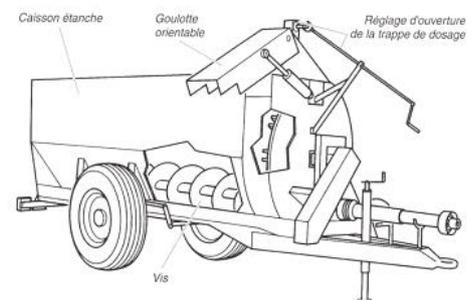


Figure 32 : Epandeur à projection latérale, avec schéma détaillé.

#### 3.2.3 Les épandeurs à vis et plateaux centrifuges arrière

Dans ce type d'appareil (Figure 33), une à deux vis entraînent le produit vers une trappe à l'arrière puis sur une table d'épandage composée de deux disques en rotation munis de pales qui projettent le produit sous forme de nappe sur le sol.

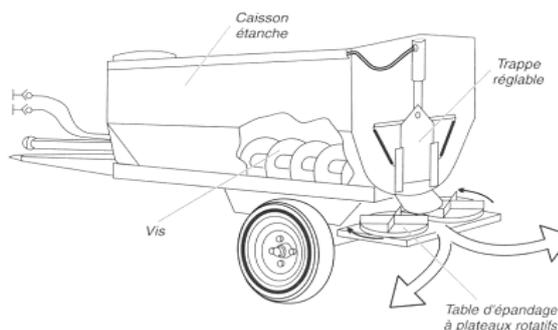


Figure 33 : Epandeur à plateaux centrifuges arrière, avec schéma détaillé.

Ce dispositif est actuellement le plus utilisé. Les différents appareils proposés se distinguent seulement par quelques caractéristiques :

- Nombre de vis
- Diamètre des vis
- Vitesse de rotation des vis
- Vitesse de rotation des disques
- Réglage de l'inclinaison de la table.

### 3.3 Les performances

Elles sont généralement de mauvaise qualité du fait des caractéristiques physiques de produits concernés.

#### 3.3.1 Le dosage

Les appareils proposés disposent de différents dispositifs de réglage de dose pour une largeur de travail donnée :

- Réglage de l'alimentation du système d'épandage (réglage du débit) :
  - Vitesse de rotation des vis
  - Ouverture de la trappe.
- La largeur de travail peut se régler par différents aspects :
  - Pour la turbine latérale d'épandage : vitesse de rotation de la turbine et orientation de la goulotte.
  - Pour la table d'épandage : vitesse de rotation des disques et réglage du point de chute pour une meilleure maîtrise de la répartition en agissant sur la position de la table (support de disques) ou sur son inclinaison.

Il n'y a pas de procédés de réglage de la dose comme sur les autres catégories d'épandeurs. Par contre, des difficultés peuvent provenir de la variation de fluidité des produits épandus avec ce type de machines. Il est alors impossible de régler un débit constant et reproductible. Le réglage d'épandage de ce type de matériel reste donc difficile en raison de la diversité l'hétérogénéité des produits dans la catégorie des produits pâteux (Thirion and Chabot, 2003).

#### 3.3.2 La répartition longitudinale

La consistance du produit influence grandement sa répartition longitudinale. La régularité de l'acheminement du produit vers le dispositif d'épandage dépend de la consistance du produit à épandre : plus la boue devient pâteuse voire solide, plus le débit est discontinu, le produit s'écoule par à-coups. Ce phénomène s'explique par la formation de voûtes au-dessus des

vis, leur effondrement entraînant de fortes augmentations de débit. A contrario, avec un produit très fluide, il y a un écoulement trop rapide à l'ouverture de la porte, d'où un très fort débit au commencement qui baisse de moitié en trente secondes environ et continue de s'affaiblir progressivement jusqu'à la fin (Thirion et Chabot, 2003). La répartition longitudinale est irrégulière avec ce type d'épandeur.

### 3.3.3 La répartition transversale

La répartition transversale est dépendante du travail des disques et aussi de leur alimentation. Il faut au départ un débit régulier de la trémie vers les disques pour obtenir une répartition transversale régulière, ce qui n'est pas le cas.

Avec le dispositif d'épandage à turbine, la répartition transversale n'est pas satisfaisante : elle varie beaucoup suivant la consistance de la boue. Plus celle-ci est solide, plus la projection se fait sous forme de mottes : la répartition du produit sur la largeur d'épandage est donc très irrégulière.

Avec le dispositif d'épandage à disques, la répartition transversale n'est pas satisfaisante. La répartition au sol dépend de l'écoulement du produit sur les disques et donc dépend comme précédemment de la consistance du produit épandu. En effet, plus le matériau est visqueux, plus sa vitesse de déplacement sur la pale des disques est faible et plus sa projection est retardée, ce qui implique une nappe déportée sur le côté. Un produit trop fluide glisse sur les disques et tombe dans l'axe de l'épandeur, ce qui engendre un surdosage au centre.

## 4 Les épandeurs d'amendements pulvérulents

### 4.1 Description du produit épandu

Les amendements pulvérulents sont le plus souvent sous forme de poudre ou de vrac d'organique sec. Les plus épandus sont les chaux calcaires. Un produit est pulvérulent, quand 80 % passe au travers d'un tamis de 4 mm d'ouverture de maille (Thirion et Chabot, 2003).

### 4.2 Le matériel

#### 4.2.1 Aspects globaux



Figure 34 : Dispositif d'épandage de produits pulvérulents à table d'épandage.



Figure 35 : Dispositif d'épandage de produits pulvérulents en rampe à vis.

Ce type de matériel d'épandage d'amendement est en général tracté mais il peut être automoteur dans des conditions d'utilisation intensive. Le produit à épandre est stocké dans une trémie en V montée sur un châssis semi-porté à un ou deux essieux. Cette forme de caisson permet d'éviter les accumulations de produits dans les recoins et de centrer le produit sur un convoyeur longitudinal en fond de trémie. Ce convoyeur, le plus souvent un tapis roulant en caoutchouc ou parfois métallique, emmène le produit vers une trappe à l'arrière de la trémie sur une table d'épandage (Figure 34 et Figure 36) ou dans une rampe à vis (Figure 35 et Figure 37). Ce type d'appareil peut également être équipé d'une bâche de fermeture de la trémie pour que le produit à épandre reste sec, ce qui facilite son épandage en conditions humides.

#### 4.2.2 Les dispositifs d'épandage

Le produit à épandre arrive sur une table d'épandage composée de plateaux rotatifs avec des pales qui le projettent sous forme de nappe sur le sol à l'arrière de l'épandeur.

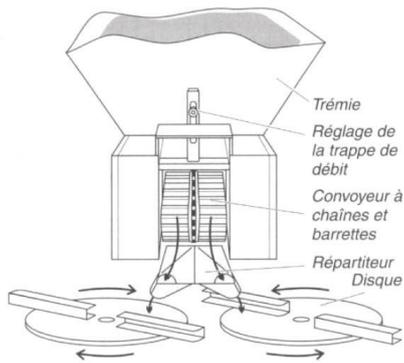


Figure 36 : Schéma de fonctionnement d'un dispositif à table d'épandage.

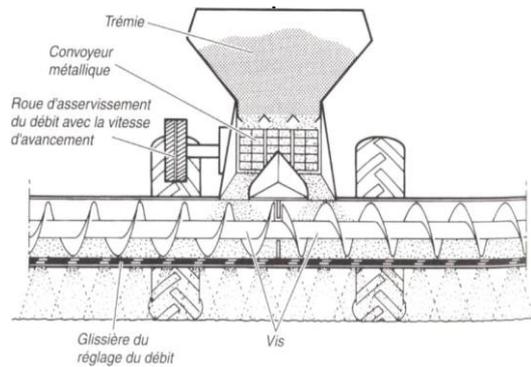


Figure 37 : Schéma de fonctionnement d'un dispositif en rampe à vis.

Dans ce cas, l'amendement est acheminé dans une rampe à vis qui le distribue sur toute la largeur de la rampe. Celle-ci se décompose en deux vis perpendiculaires à l'avancement. Chaque vis est contenue dans une rampe tubulaire munie d'orifices à section réglable par glissière. Sur certains appareils les vis sont à pas variable. Dans certains cas, afin d'augmenter la polyvalence de ces épandeurs, l'équipement d'épandage par vis peut être déposé et remplacé par un système d'épandage centrifuge et inversement.

### 4.3 Les performances

#### 4.3.1 Le dosage

Avec des épandeurs d'amendement pulvérulents, le respect du dosage est plutôt satisfaisant.

L'écart entre les passages est défini par la largeur même de la rampe. Il faut se reporter aux consignes de réglage pour ajuster l'ouverture des orifices et le cas échéant la vitesse des vis.

#### 4.3.2 La répartition

##### La répartition longitudinale:

La finesse des produits épandus et leur homogénéité entraînent une bonne maîtrise du débit en sortie de trémie. Le débit est régulier et la répartition longitudinale est très bonne.

Il peut cependant exister des problèmes d'écoulement avec des produits humides qui altèrent la fluidité et l'homogénéité du débit. Des aides à l'utilisation de ce type d'appareil avec des produits humides peuvent pallier ces éventuelles irrégularités en corrigeant automatiquement l'ouverture des trappes de débit en fonction de la dose souhaitée. La présence d'un ou plusieurs déflecteurs est parfois nécessaire dans la trémie pour éviter le surpoids sur le convoyeur ou limiter le risque de voûtage qui provoque des écarts de débit à la sortie de l'épandeur et une répartition longitudinale hétérogène altérée.

##### La répartition transversale

Pour les épandeurs avec table d'épandage à plateaux, la répartition transversale est bonne à condition de respecter les écarts entre les passages (chaque type de table d'épandage est défini pour une largeur donnée par le constructeur) et les consignes de réglage du point de chute sur les plateaux et de la position des pales selon la dose et le produit.

La répartition est dite "répartition en dôme" : il y a plus de produit au milieu de la nappe d'épandage (passage de l'appareil) et la quantité décroît sur l'extérieur. C'est pourquoi il est nécessaire de juxtaposer les passages pour assurer le recouvrement optimal et obtenir la

bonne largeur totale d'épandage. La plupart des constructeurs l'ont pris en compte pour mettre au point leurs appareils et leurs tables de réglage.

Pour les épandeurs avec rampe à vis, la largeur de travail est définie par la largeur fixe de la rampe. Le produit est conduit sur toute la largeur de la rampe et tombe de façon homogène par gravité par les orifices de celle-ci. La répartition transversale est donc très satisfaisante.

## 5 La certification environnementale des épandeurs de produits organiques : éco-épandage



La présentation des matériels d'épandage actuellement construits, vendus et exploités ne saurait passer sous silence l'évolution majeure qui intervient en 2013. En effet, un référentiel de certification environnementale « éco-épandage » a été présenté au SIMA 2013.

Ce référentiel précise les nouvelles performances à atteindre pour les futures générations de machines d'épandage de fumier et de lisier. Cette certification n'est obligatoire, ni pour les constructeurs, ni pour les utilisateurs.

Les champs de performances visés sont plus larges mais aussi plus exigeants que ceux des normes européennes EN 13406 et EN 13080. En effet, au-delà des performances de répartition « resserrées » par rapport aux normes, les épandeurs certifiés devront être en mesure d'appliquer des consignes de dose et de largeurs, à l'aide de dispositifs de réglages adaptés. La limitation du tassement des sols est également un objectif fort puisque les charges à l'essieu au champ et la pression d'interface entre le pneumatique et le sol seront limitées (pour le chargement du plein volume de l'épandeur avec des matières à épandre dont la densité véritable est prise en compte).

Par ailleurs, les équipements d'épandage de lisier à buse(s)/palette(s) sont exclus du fait des pertes d'ammoniac qu'ils favorisent.

Les matériels d'épandage de fertilisants organiques sont les premiers matériels agricoles pouvant prétendre à une certification environnementale en France.

Le projet de certification « éco-épandage » (finalisation en décembre 2013) est conduit par la société Pichon, en partenariat avec la société Rolland, la chambre d'agriculture de Bretagne, Irstea et VetAgroSup. Le référentiel de certification a fait l'objet de consultations des représentants des utilisateurs, des pouvoirs publics et de l'ensemble des constructeurs intéressés.

La vie d'« éco-épandage » sera animée par une émanation du syndicat de constructeurs de machines agricoles AXEMA et la certification sera délivrée par le cabinet Aucert.

### **Les caractéristiques certifiées essentielles sont les suivantes :**

- Les machines d'épandage certifiées épandent une dose à vitesse constante avec précision : +/- 15% pour les matières solides et +/- 10% pour les liquides.
- Les machines d'épandage sont équipées d'un débit proportionnel à l'avancement qui permet d'épandre une dose à vitesse variable avec précision : +/- 15% de la dose de consigne pour une étendue dans la zone de tolérance  $\geq$  à 50% pour les matières solides et  $\geq$  65% pour les liquides.
- La répartition transversale de la dose est régulière : le coefficient de variation à la largeur de travail optimale est inférieur à 20% pour les matières solides et la déviation moyenne est inférieure à 15% pour les liquides.

- La répartition longitudinale de la dose est régulière : *étendue dans la zone de tolérance supérieure à 70% pour les solides, et supérieure à 90% pour les liquides.*
- Le tassement des sols est maîtrisé : *moins de 13 T à l'essieu et pression d'interface au sol limitée à 1.5 bar.*
- Les notices d'instructions facilitent l'utilisation optimale de la machine d'épandage.
- La mise en route est systématiquement réalisée lors de l'acquisition d'une machine.
- Une formation adaptée à l'utilisateur est proposée lors de l'acquisition d'une nouvelle machine.

**Les premières machines certifiées seront proposées à la vente à la fin d'année 2013.**

## Conclusion

Ce document présente les technologies actuelles d'épandage des matières organiques, qu'il s'agisse de lisier, fumier, boues résiduelles ou matériaux granulaires voire pulvérulents (composts).

Dans la pratique, les constructeurs proposent de multiples configurations, diverses et variées, ce qui rend impossible la réalisation d'une description exhaustive des machines et de leurs équipements. C'est pourquoi nous avons choisi de réaliser ce document sous la forme d'une synthèse des matériels existants, avec une description brève de la gamme des principales machines et des technologies présentes sur le marché européen.

Pourquoi les constructeurs proposent-ils de si nombreuses configurations pour les matériels d'épandage des effluents organiques ? Pour plus de commodité, les effluents sont généralement regroupés selon quatre grandes catégories : matériaux liquides (lisiers), pâteux (boues d'épuration), solides hétérogènes (fumiers) et granulaires (composts). En réalité, chaque effluent a des caractéristiques propres et une aptitude spécifique à être épandu : il y a donc autant de produits qu'il y a d'effluents (c'est-à-dire que chaque site, chaque traitement, chaque durée de stockage et autres paramètres, génère un nouveau produit). En outre, il est notoire qu'il est difficile de caractériser les propriétés d'épandage des effluents et de les répertorier selon des critères pratiques. Face à une telle variété de matériaux à épandre, les constructeurs multiplient donc les solutions et les variantes des différents matériels de façon à gérer chaque situation et à satisfaire leur clientèle. A la question mécanique de l'épandage, s'ajoutent également des considérations d'ordre agronomique, économique et environnemental.

La très (trop) grande diversité des effluents, en particulier les effluents d'élevage, et la grande hétérogénéité de produits au sein d'un type même d'effluents (deux fumiers ne se ressemblent pas) constituent une vraie problématique pour les fabricants de machines d'épandage. En réponse aux difficultés rencontrées, il serait intéressant de travailler sur la production (pratiques d'élevage), le stockage, voire des prétraitements des effluents pour augmenter leur épandabilité. Des produits homogènes, dont les caractéristiques physiques et rhéologiques sont connues, peuvent être facilement épandus par des appareils conçus spécifiquement pour cela, comme on peut le voir avec les engrais minéraux. Néanmoins, une telle approche aurait un coût certain, et il est probable que les agriculteurs et professionnels de l'épandage ne pourraient pas le supporter.

## Bibliographie

Plusieurs fiches techniques ont été réalisées sur le sujet des épandages des effluents d'élevage. Elles sont disponibles sur le site des Chambres d'Agriculture de Bretagne [www.synagri.com](http://www.synagri.com) rubrique Agrithèque puis machinisme :

- Epandage de lisier de bovins sur prairie (Réf : 040123021)
- Epandage sans tonne de lisier de porc sur céréales (Réf : 040123022)
- Matériels d'épandage de lisier sans tonne (Réf : 040123023, 050214057)
- Aide au calcul et aux réglages de l'épandeur de lisier (Réf : 040303036)
- Adaptation des lisiers aux pendillards (Réf : 050112047, 050927073, 050927074)
- Choix de la technique d'épandage en lisier sur blé (Réf : 050112048)
- Epandage, respect des sols et choix des pneumatiques (Réf : 050112049)
- Matériels d'épandage des eaux blanches et des eaux brunes (Réf : 050112050)
- Remplissage des épandeurs de lisier (Réf : 050112051, 050214059, 050224061)
- Qualité des épandages de lisier (Réf : 050112052, 050112053)
- Description des broyeurs répartiteurs (Réf : 050210054)
- Epandeur de lisier, description et principe de fonctionnement (Réf : 050211055)
- Mesure au banc d'essai de la répartition longitudinale et de la répartition transversale des épandeurs de lisier (Réf : 050211056)
- Les épandeurs de lisier, la maîtrise de la dose (Réf : 050214058)
- La charge des épandeurs (Réf : 050214060)
- Test des matériels d'épandage des lisiers (Réf : 050929075, 051201077, 060908080, 060919082, 061128088)
- Performances au banc des matériels d'épandage des lisiers, état des lieux 2005 (Réf : 050929076)
- Epandre des lisiers de bovins aux pendillards : un diagnostic préalable (Réf : 061009087)
- Analyse de la pression dans la cuve des épandeurs de lisier (Réf : 090902111)
- Mesures de l'empreinte des pneumatiques sur le sol (Réf : 090923113)
- Mesure de la taille des gouttes formées lors de l'épandage à la buse

### Livres et livrets sur les techniques d'épandage

CEDRA Camille, et al. Les matériels de fertilisation et traitement des cultures, technologies de l'agriculture. Coédition Cemagref, ITCF, FNCUMA, Lavoisier Tec et Doc (Collection FORMAGRI, volume 4/5). ISBN 2-85362-458-7

CORPEN. (1997) Bien choisir et mieux utiliser son matériel d'épandage de lisiers ou de fumiers République Française.

COSNIER Jean-Yves, et al. Les bonnes pratiques d'épandage du lisier. Chambre d'agriculture de Bretagne, 2007, 36 p. ISBN 2-915527-06-7

DUBOUCHAUD, G; 2007. Evaluation en situation de terrain des impacts environnementaux produits par les épandeurs de matières organiques. Mémoire de fin d'étude ENITA Clermont-Ferrand, septembre 2007, 40 pages

HAVARD Pierre, et al. Les bonnes pratiques d'épandage du fumier. Chambre d'Agriculture de Bretagne, 2007, 28 p. ISBN 2-915527-07-5

LAGUE C. (2005) Ingénierie des équipements d'application pour les fumiers et lisiers et autres amendements organiques, in: CRAAQ (Ed.), Colloque en environnement "Des outils d'intervention à notre échelle", Drummondville.

LECOCQ R. (2011) L'épandeur, un matériel à réinventer?, Entrepreneurs des territoires. N°56, mai 2011, 3 p.

PICAUD, D; 2001. Importance des caractéristiques des fumiers sur les performances d'épandage. Mémoire de fin d'étude ENITA Clermont-Ferrand, septembre 2001, 40 pages

ROUSSELET, M; MAZOYER, J; 2006. Etude sur l'état des lieux des performances des épandeurs d'engrais organiques; Rapport final. Montoldre, janvier 2006, 60 p.

THIRION François, CHABOT Frédéric. Epandage des boues résiduelles – matériels et pratiques. Cemagref, 2003, 192 p. ISBN 2-85362-608-3

SHUBNEL M. (2009) Système d'épandage : Valoriser au mieux les lisiers, Matériel Agricole. N°145, septembre 2009, 12 p.