



c o m i f e r  
Groupe Épandage

**Guide d'optimisation de**  
**L'épandage**  
**des engrais minéraux solides**

---

Conseils pour des pratiques  
respectueuses de l'environnement

---

Édition 2009-2010

## **L'ÉPANDAGE**

Brochure réalisée par le

**c o m i f e r**  


Le Diamant A  
92909 Paris La Défense Cedex  
Tél. : 01 46 53 10 75

© Éditions BOOK EMISSAIRE  
2 Rue Evariste Gallois  
91420 Morangis  
Courriel : [book-emissaire.editions@orange.fr](mailto:book-emissaire.editions@orange.fr)

Dépôt légal : 4<sup>e</sup> semestre 2009  
ISBN 978-235253-0459

Maquette et infographie : Idée Graphic, François Le Moël  
Courriel : [idee.graphic@free.fr](mailto:idee.graphic@free.fr)  
<http://infographie.maquette.free.fr>

Achévé d'imprimer en Novembre 2009 par FERRE OLSINA, Barcelone, Espagne.



**Guide d'optimisation de**  
**L'épandage**  
**des engrais minéraux solides**

---

Conseils pour des pratiques  
respectueuses de l'environnement

---

**Ce document a été réalisé dans le cadre  
du Groupe de Travail "Épandage" au sein du COMIFER :**

**Coordination :**

Marc ROUSSELET (CEMAGREF)



Philippe EVEILLARD (UNIFA)



**Édition :**

Esma BOUKRAA (COMIFER)

**Ont participé à l'élaboration de ce document :**

Christophe BENOIT (KVERNELAND)

Stéphane BILLEROT (SULKY BUREL)

Pierre CHARLIER (YARA)

Renaud DANRE (AGRICULTURE BALTHAZARD & COTTE)

Jean Paul DAOUZE (CHAMBRE AGRICULTURE 51)

Caroline DESBOURDES (ARVALIS INSTITUT DU VÉGÉTAL)

Alain DESCHAMPS (Groupe ROULLIER)

Philippe DUGAST (GPN)

François Xavier GAUMONT (MEAC)

Vincent GERARD (KUHN)

Olivier GOUJARD (KALI FRANCE)

Marc LAMBERT (YARA)

Emmanuel LEVEQUE (AMAZONE)

Alain LOUISMET (AXEMA)

Olivier MISERQUE (CRA Gembloux (B))

Christophe MOLLEREAU (KUHN)

Emmanuel PIRON (CEMAGREF)

Didier ROUSSEL (DSM)

Patrick SOUCHAY (FERTIVA)

Christophe THOLLÉ (BOGBALLE)

Philippe VAN KEMPEN (BCMA)

Philippe EVEILLARD (UNIFA)

Marc ROUSSELET (CEMAGREF)

**Avec nos remerciements à :**

l'UNIFA et à l'AXEMA pour leur soutien matériel.

**AVERTISSEMENT**

Les indications chiffrées contenues dans ce document, concernant les caractéristiques physiques des engrais et l'utilisation des matériels, sont données à titre d'exemple et représentent des objectifs à atteindre. En aucun cas elles ne peuvent être considérées comme des exigences.

*Photo de couverture : Épandage*

© **Crédit Photos :** UNIFA, YARA, GPN, AMAZONE, BOGBALLE, BREDAL, KUHN, KVERNELAND, SULKY-BUREL, ARVALIS, CEMAGREF.

# Préambule

**C**e nouveau Guide sur “L'épandage d'engrais minéraux solides” est une actualisation du guide paru en 1996 publié sous l'égide du COMIFER<sup>1</sup>. Celui-ci avait, dès sa parution, été beaucoup utilisé par les agents du développement agricole, par les agriculteurs et les techniciens, et aussi par les constructeurs et les fabricants d'engrais comme guide de référence aux travaux d'épandage. Il donnait les premières bases permettant de déterminer les critères de qualité d'un engrais, son aptitude à l'épandage ainsi que les différents principes de réglages pouvant être utilisés sur les distributeurs d'engrais pour permettre de réaliser une bonne répartition. Le contexte réglementaire en était à son début avec la directive nitrate, datant de 1991, et le code de bonnes pratiques agricoles de 1993 nécessitant l'élaboration de ce document rassemblant les règles et principes à respecter pour assurer la qualité des épandages de matières fertilisantes.

Aujourd'hui, plus de dix ans après, il est important de faire un point de la situation des épandages en agriculture et de ses évolutions, tant au niveau de la fabrication des engrais que des appareils distributeurs d'engrais, des nouvelles normes et réglementations, ainsi que des pratiques d'épandages réalisées par les agriculteurs.

Le contexte environnemental a particulièrement évolué, ainsi que le contexte économique avec des marges aux agriculteurs ayant diminué, le poste fertilisation doit être raisonné au plus près de sa rentabilité. Pour cela toutes les évolutions permettant de gagner en précision sont utiles. Dans ce domaine, pour gagner en précision il faut gagner sur tous les points que ce soit au niveau de l'engrais, de l'appareil distributeur ou de la pratique. Tous ces points sont liés et ils ne peuvent s'appliquer les uns sans les autres ; par exemple, les largeurs d'épandages que l'on voudrait toujours de plus en plus importantes, *on parle de Très Grandes Largeurs (TGL)*, ne sont compatibles avec la

précision que l'on attend, au niveau de la régularité de la répartition, qu'avec des engrais de qualités balistiques performantes et des conditions de stockage plus rigoureuses, n'altérant en rien ces qualités physiques, mais aussi un distributeur performant avec des réglages précis et enfin des conditions d'épandage parfaites, sur sol plan et sans vent.

Face aux défis lancés à l'agriculture, d'augmenter la performance des chantiers en réduisant les temps de travaux et de respecter de la fertilisation raisonnée, les constructeurs de matériel ont fait progresser leurs machines. Les largeurs d'épandage ont augmenté avec des limites référencées par rapport aux engrais, les réglages se sont multipliés et les tableaux de réglages sont plus précis. Les bordures sont mieux prises en compte ainsi que la gestion des départs et arrivées en fourrières. En plein champ la modulation permet de différencier des zones par niveaux de fertilisation avec une bonne gestion des recouvrements à l'aide d'équipements de modulation et de systèmes de guidage par GPS.

Les fabricants européens d'engrais ont améliorés leurs procédés de fabrication pour proposer des produits aux caractéristiques chimiques et physiques plus constantes et mieux adaptées à ces nouvelles contraintes.

Malgré les progrès accomplis par les constructeurs de distributeurs centrifuges et les fabricants d'engrais, la nature même des engrais minéraux fait que leurs propriétés physiques ne peuvent pas évoluer à l'infini, et l'offre sur le marché reste fort variable. Tous les engrais ne peuvent pas être épandus avec les mêmes performances. A défaut de ne pouvoir choisir l'engrais en fonction de ses objectifs de chantier d'épandage, il est donc sage d'adapter ses objectifs d'épandage (largeur notamment) en fonction de l'engrais réellement disponible ■

<sup>1</sup> Comité français d'étude et de développement de la fertilisation raisonnée.



# Sommaire

## INTRODUCTION

Le marché des engrais et des distributeurs d'engrais .....	9
Coût de la fertilisation (achat, main d'œuvre, fournitures) .....	11
Comparaison du coût d'épandage par rapport à la pulvérisation .....	13
Impacts économiques et environnementaux .....	15
Réglementation.....	15

## PARTIE 1

### Chapitre 1 : Les engrais minéraux solides

Les types d'engrais .....	17
Trois impératifs pour un épandage précis .....	18
Importance et rôle des caractéristiques physiques de l'engrais .....	19
Conserver la qualité des granulés au transport, à la manutention et au stockage.....	26

### Chapitre 2 : La qualité d'épandage des engrais minéraux

Principe et définitions.....	31
Le respect de la dose .....	32
La régularité d'épandage .....	32
Méthodes de contrôle .....	33

### Chapitre 3 : L'épandage par projection

Principe .....	37
Réglage de la dose .....	39
Réglage de largeur de travail.....	43
L'épandage de bordure .....	46

### Chapitre 4 : L'épandage pneumatique

Principe .....	49
Répartition et recouvrement .....	49
Réglage de dose .....	50
Réglage de largeur - tronçonnement.....	50
L'épandage de bordure .....	50
Gestion des fourrières .....	50

### Chapitre 5 : Les nouvelles technologies "agriculture de précision"

Modulation des doses .....	51
Positionnement dans la parcelle - Le GPS .....	53
Gestion des recouvrements - Modulation de largeur .....	54
Gestion des contours et des bouts de champs.....	55

### Chapitre 6 : Contrôles au champ.....

Constat sur les pratiques d'épandage .....	57
Méthodologie de contrôle.....	58

## PARTIE 2

Annexes .....	63
---------------	----



## Introduction à l'épandage

La fertilisation raisonnée a pour but d'apporter à la culture la juste dose d'engrais, à un moment précis et au bon endroit. L'intérêt est pour l'agriculteur d'avoir une efficacité agronomique maximale des unités fertilisantes apportées. Il convient aussi de réduire au minimum l'impact sur l'environnement.

A lui seul le raisonnement de la fertilisation ne suffit pas, encore faut-il que la dose soit bien répartie en tout point de la parcelle. Le choix de l'engrais, le réglage du distributeur et les conditions d'application sont des facteurs prépondérants pour réaliser un bon épandage.

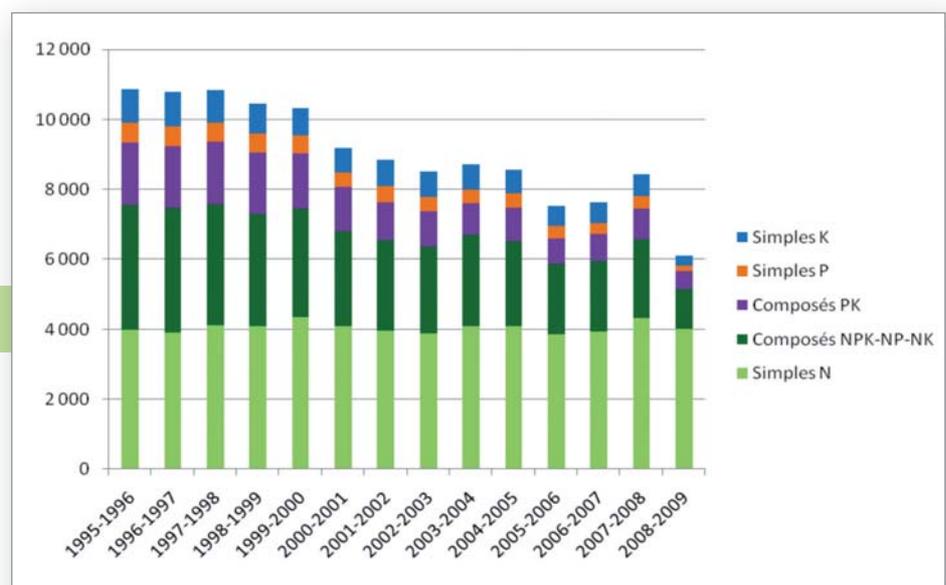
En considérant le cas de parcelles homogènes, l'épandage doit être précis et uniforme sur l'ensemble de la parcelle. Cela se traduit par un bon recouvrement entre passages en plein champ, par un épandage de bordure adapté et par des départs et arrêts en fourrières maîtrisés. Plusieurs équipements de réglages et d'automatismes ont été développés par les constructeurs pour faciliter l'épandage avec la meilleure précision. Le coût abordable de ces équipements comparé au gain qu'ils rapportent permet de les rentabiliser rapidement.

Les nouvelles technologies permettent aujourd'hui d'aller plus loin et de considérer le cas de parcelles hétérogènes. Dans ce cas il est toujours question d'apporter la dose juste et précise, mais elle est cette fois adaptée au besoin exact de la culture dans la zone considérée. Plusieurs techniques de modulation de doses et de modulation des largeurs se sont développées laissant entrevoir que l'agriculture de précision puisse prendre une autre dimension. Certaines de ces technologies sont encore exploratoires au niveau de la recherche.

## Marché des engrais et des distributeurs d'engrais

Figure 1

Évolution des livraisons d'engrais minéraux solides en milliers de tonnes produits. France métropolitaine (source UNIFA).



**NB :** Le tonnage d'engrais de mélange (« bulk-blending ») réalisé à partir d'engrais simples ou composés représentés ci-contre ne figure pas dans ces statistiques.

Les livraisons d'engrais minéraux solides en France métropolitaine se sont élevées à 6,0 millions de tonnes de produits dont 4,0 millions d'engrais simples azotés et 2,0 millions de tonnes d'engrais composés et d'engrais simples phosphatés et potassiques en 2008-2009. La part des engrais composés a diminué fortement depuis 10 ans au profit de la part des engrais simples.

Les engrais solides granulés, perlés ou compactés constituent la très grande majorité des tonnages, la part des pulvérulents étant devenue très faible. La granulométrie

moyenne des engrais azotés a progressé en 10 ans. La part des granulés de diamètre médian supérieur à 3 mm domine largement devant les engrais perlés plus fins. Cela concerne en particulier les ammonitrates mais aussi l'urée et le sulfate d'ammoniaque. L'approvisionnement à partir de producteurs français ou situés dans les pays voisins (Belgique, Allemagne, Pays Bas) représente 67% du total contre 17% en provenance des nouveaux états membres de l'UE et 16% des pays tiers en ce qui concerne les engrais azotés.

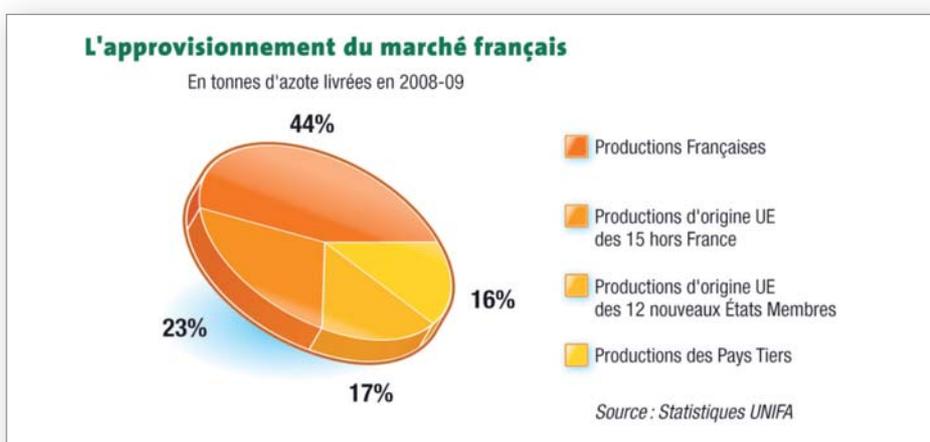


Figure 2

Origine des productions d'engrais azotés.

L'apport moyen pour les trois éléments fertilisants en kg par ha de surface fertilisable en France se situe dans la moyenne de l'UE à 15. L'apport d'azote y est moins élevé que dans les pays voisins Belgique, Pays Bas et Allemagne. Compte tenu de son territoire

agricole très étendu, la France n'en constitue pas moins le premier marché d'engrais en Europe et attire de très nombreux producteurs situés dans des pays tiers. Certains produits comme l'urée sont importés à partir d'une vingtaine de pays différents.

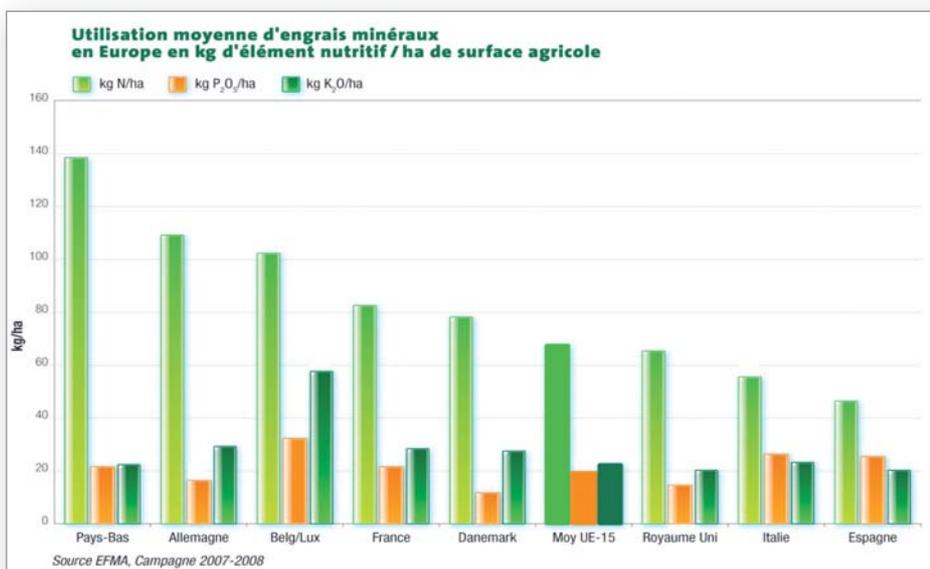


Figure 3

Apport d'éléments fertilisants dans les engrais minéraux par hectare fertilisable (campagne 2007-08, source EFMA).

## Le marché des distributeurs d'engrais

Le parc d'appareils en service chez les agriculteurs et les prestataires de service a baissé en France, compte-tenu de la diminution progressive du nombre d'exploitations ; il peut être estimé aujourd'hui à environ 400 000 unités. Par contre, la largeur d'épandage a augmenté, en lien avec l'augmentation de la taille des exploitations et la recherche des moyens pour réduire les coûts de chantier en diminuant les temps d'intervention.

Il n'existe pas de suivis statistiques précis concernant les ventes de distributeurs d'engrais. Compte-tenu des principales marques présentes sur le marché français et des chiffres communiqués par les syndicats de constructeurs et importateurs, on peut toutefois estimer que le nombre de matériels neufs vendus s'élève entre 8 à 10 000 appareils par an. Ce nombre a tendance à diminuer, tandis que le chiffre d'affaires se maintient, compte-tenu de l'évolution du prix des matériels, de l'augmentation de la capacité des trémies et de la largeur moyenne d'épandage par appareil et des technologies nouvelles apportées pour mieux réguler les

débits (boîtier de régulation, pesée automatique, enregistrement des données,...).

Dans les zones de grandes cultures (céréales, maïs, colza, betterave et pomme de terre), la largeur d'épandage est passée en moyenne de 24 m en 1995 à 28 m en 2005, avec une tendance vers des largeurs de 36 m, voire plus pour certaines exploitations.

On attire ici l'attention des agriculteurs et celle des conseillers sur les difficultés posées par l'épandage en très grandes largeurs et sur la nécessité de conduire une réflexion générale et globale de la stratégie d'équipement des exploitations de grandes cultures. En effet la solution au problème des exploitations de grande culture est l'investissement dans des équipements de très grandes largeurs (44 m, 48 m et plus), notamment avec les pulvérisateurs, qui conditionnent des choix, parfois difficiles, lors de l'achat du distributeur d'engrais, voire de l'engrais, pour atteindre les objectifs de qualité souhaités, à savoir obtenir une bonne répartition dans la gamme des largeurs voulues avec la majeure partie des engrais.

## Coût de la fertilisation (achat, main d'œuvre, fournitures)

### Coût de l'engrais dans le coût de production des cultures

La part des engrais dans les charges spécifiques (le total des charges semences + engrais + produits phytopharmaceutiques +

produits pétroliers) a évolué différemment selon les cultures au cours des 15 dernières années (tableau 1).

Exprimées en Euros/ha, référence 2004, les valeurs moyennes consacrées aux cultures sont données dans le tableau 1.

Cultures	1992	1998	2004
Blé tendre	184	151	129
Maïs grain	205	162	160
Colza	138	155	162
Pomme de terre	376	220	207
Betterave	244	159	253

Tableau 1 : Évolution du poste « engrais » de 1992 à 2004 exprimé en €/ha (source : RICA - Agriculture Nouveau défi 2007 prix exprimés en euros 2004).

Les coûts moyens observés en 2004 vont de 130 €/ha pour le blé à plus de 250 €/ha pour la betterave. Ces coûts ont baissé de 4,6 % par an pour la pomme de terre, de 2,5 % par an pour le blé et de 1,8 % par an pour le maïs. Ils sont restés assez stables pour la betterave et n'ont augmenté que pour le colza avec un taux annuel de 2 %. Exprimé en % de la part totale des charges spécifiques (tableau 2), le poste « engrais » est le plus faible pour la pomme de terre

(17,5 %) ; il se situe autour de 30 % pour le blé et la betterave, 37 % pour le maïs et atteint pratiquement 50 % du total des charges spécifiques avec le colza.

La part des engrais est plus faible que celle des produits phytopharmaceutiques uniquement pour le blé et la pomme de terre. Elle est pratiquement équivalente pour le colza et la betterave. Le poste engrais dépasse plus nettement celui des "phytos" en culture de maïs.

Cultures en 2004	Part des engrais % des charges spécifiques	Part des produits phytos % des charges spécifiques	« engrais + phytos » % des charges spécifiques
Blé tendre	30,6	42,9	73,5
Maïs grain	37,1	20,2	57,3
Colza	49,5	46,8	96,3
Pomme de terre	17,5	30,3	47,8
Betterave	30,3	27,9	58,2

Tableau 2 : Part des engrais et des produits phytopharmaceutiques dans les charges spécifiques selon les cultures en 2004.

## Les coûts de chantier

En prenant comme base les coûts d'utilisation des matériels fournis par le BCMA en 2009, la figure 4 donne une plage des coûts de chantier avec un distributeur centrifuge porté et un distributeur centrifuge traîné, le matériel étant choisi en fonction du nombre d'hectares développés pour lequel le distributeur sera utilisé en moyenne chaque année.

Dans ce calcul, le coût pour la traction est identique en prenant le coût moyen d'un tracteur de 130 ch. (sur la base d'un coût horaire de 18 €/h pour le tracteur seul, gasoil compris); par contre, le coût d'approche de l'engrais à la parcelle n'est pas comptabilisé, ni le coût de la main d'œuvre.

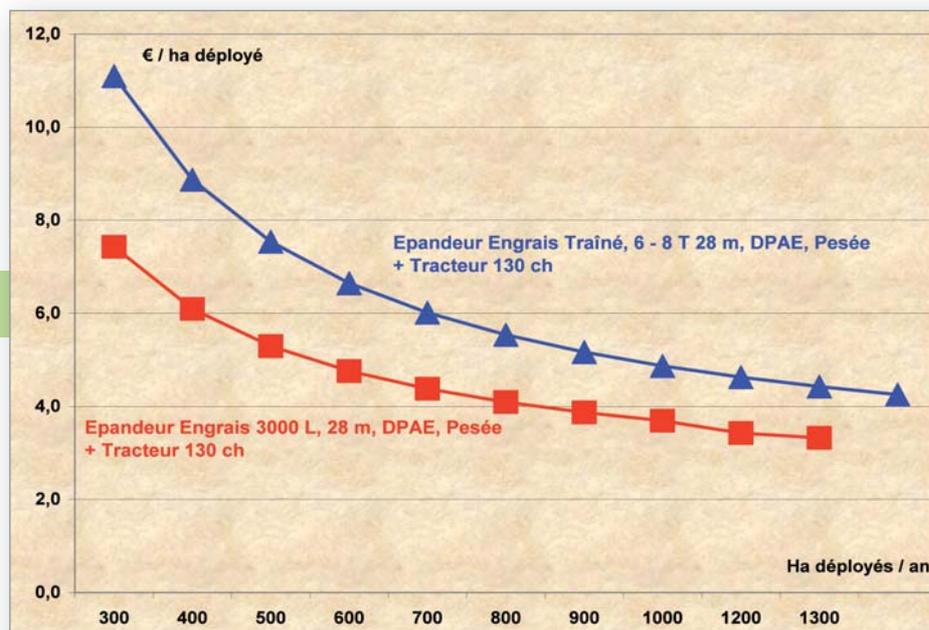
Le prix de référence pour le distributeur centrifuge porté est de 15 000 Euros. Sa capacité de trémie est de 3 000 litres et sa lar-

geur d'épandage est de 28 m ; il est équipé d'une régulation DP AE<sup>(1)</sup> et un système de pesée automatique. La performance moyenne retenue est de 10 ha par heure. Sur une base d'amortissement de 15 % sur 7 ans, les charges fixes annuelles de l'épandeur s'élèvent à 1 600 €. Les charges variables sont estimées à 0,30 € par ha.

<sup>(1)</sup> Débit Proportionnel à l'Avancement Électronique.

Figure 4

Coût de chantier moyen selon le matériel et la surface annuelle d'épandage (hors main d'œuvre) (source BCMA : coûts prévisionnels indicatifs 2009).



Le prix de référence pour le distributeur centrifuge traîné, DPAE avec pesée, est de 25 000 Euros. Equipé d'une trémie de 6 à 8 tonnes, avec une largeur d'épandage de 28 m (de 24 à 36 m), sa performance atteint 10 ha par heure en moyenne. Sur une base d'amortissement équivalente, les charges fixes annuelles s'élèvent à 3 200 € et les charges variables à 0,40 € par ha. En tenant compte de la surface annuelle d'épandage et du matériel choisi en conséquence, le coût de l'épandage (tracteur + distributeur) se situe dans une fourchette al-

lant de 4,5 à 7,5 €/ha, ce qui est relativement faible, comparativement au prix de l'engrais épandu.

Indépendamment du matériel utilisé, le fait de supprimer l'option de la pesée par exemple (moins value de 3 500 €) entraîne une baisse du coût d'épandage de 0,9 €/ha. Cette « économie » est donc bien à relativiser dans l'optique d'achat d'un nouveau distributeur, comparativement à la précision de la dose d'épandage que cette technique apporte.

## Comparaison du coût d'épandage par rapport à la pulvérisation

Pour une exploitation céréalière, le coût d'une application de produits phytopharmaceutiques par rapport à l'épandage d'engrais est très lié aux types de cultures et varie d'une année à l'autre selon les conditions climatiques.

Nous avons pris dans un premier temps deux hypothèses :

- 1 pulvérisateur traîné de 3 200 l, en DPAE de 28 m coûte en moyenne 45 370 € à l'achat ; sur une base d'amortissement de 15 % sur 10 ans pour ce type de matériel, les

charges fixes annuelles s'élèvent à 4 840 € et les frais de réparation et d'entretien à 0,9 €/ha. Le coût indicatif à l'hectare est calculé en prenant un tracteur de 130 ch et une performance moyenne de chantier estimée à 10 ha/h.

- 1 pulvérisateur automoteur de 170 ch avec une cuve de 3 500 l, en DPAE de 28 m dont le prix d'achat est de 13 200 € (base d'amortissement 20% sur 7 ans).

Les charges fixes sont de 19 230 €/an + 1,5 €/ha pour l'entretien, les frais de réparation et le gasoil.

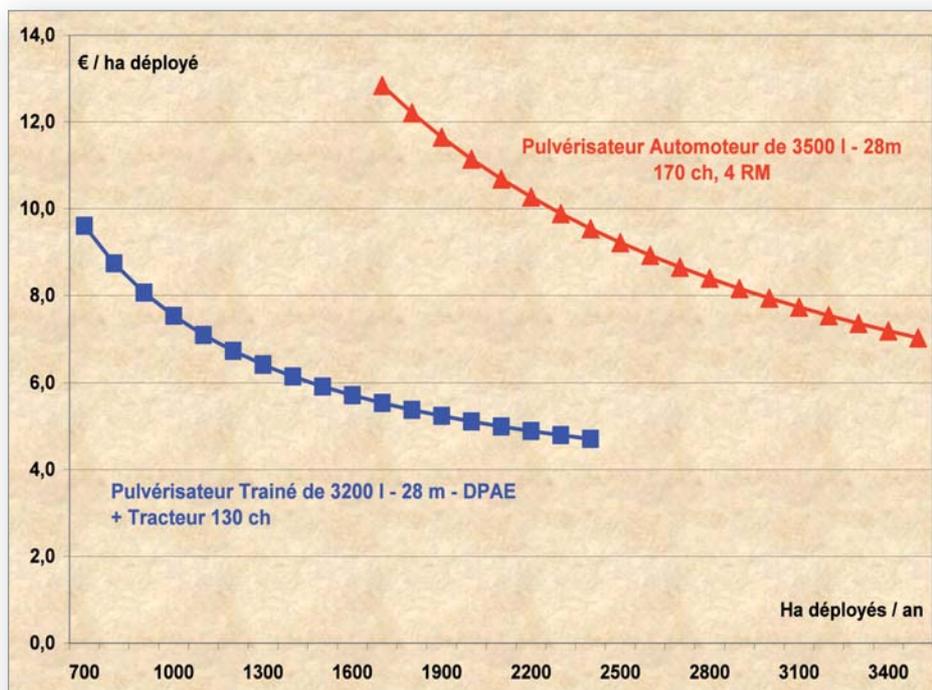


Figure 5

Coût de chantier moyen selon le matériel et la surface annuelle pour l'application d'un produit phyto-pharmaceutique (hors main d'œuvre) (source BCMA : coûts prévisionnels indicatifs 2009).

Si nous considérons 5,5 traitements en moyenne par hectare, pour notre exploitation de 240 ha, nous arrivons à une superficie déployée de 1320 ha.

Au vu de la figure 5, le coût d'un traitement sans la main d'œuvre revient à 6,20 €/ha avec un pulvérisateur traîné et dépasse 15 €/ha avec un pulvérisateur automoteur. Compte tenu des performances très différentes de ces 2 appareils, le coût d'un traitement avec un automoteur ne devient comparable qu'à partir de 2750 hectares traités par an. Un nombre de passages plus important pour certaines cultures selon les

années (cas de la pomme de terre par exemple) peut justifier l'utilisation de l'automoteur, même pour une exploitation de 300 ha (le nombre moyen de traitements par hectare passe à 9 au lieu de 5 par exemple).

Le coût d'une application de produit phyto-pharmaceutique peut être comparé à celui d'un épandage en terme de matériel, mais en terme de coût d'équipement au regard de la valeur du produit épandu par hectare (tableau 3), l'épandeur d'engrais représente deux fois moins de charge qu'un pulvérisateur, même pour un blé dont les charges en engrais sont les plus faibles (tableau 2).

Coût de l'épandage et de la pulvérisation	Épandage d'engrais 2,5 passages/ha	Traitement « phytos » 5,5 passages/ha
Superficie cultivée : 240 ha	600 ha déployés	1 320 ha déployés
Coût d'un passage	4,70 €/ha déployé	6,20 €/ha déployé
Coût à l'hectare de l'exploitation	11,75 €/ha cultivé	34,10€/ha cultivé
Coût du produit/ha cultivé	129 €/ha cultivé	181 €/ha cultivé
Rapport du coût matériel par rapport au coût de l'intrant	9 %	19 %

Tableau 3 : Coût des équipements par rapport au coût des intrants pour un blé. Exemple pour une exploitation de 240 hectares (réf. 2004).

La technicité et les évolutions technologiques des distributeurs d'engrais conjointement à l'augmentation des prix de s engrais, peuvent réduire cet écart constaté

aujourd'hui entre le coût d'un épandage d'engrais et celui d'une pulvérisation d'un produit phytopharmaceutique.

## Impacts économiques et environnementaux

Les investissements en matériels sont relativement faibles et ils permettent d'atteindre une grande productivité de chantier, avec des distributeurs de grande largeur. Cette performance doit être pleinement valorisée en assurant une distribution la plus homogène possible, compte-tenu du prix de l'engrais d'une part et des conséquences d'un mauvais dosage sur la culture et l'environnement d'autre part.

Les deux principales erreurs proviennent d'une mauvaise appréciation du recouvrement des nappes et d'un mauvais réglage de la largeur en fonction de l'engrais utilisé. Les conséquences d'une distribution hétérogène, avec des surdosages à certains endroits et des sous-dosages à d'autres, sont d'autant plus graves que les apports d'engrais s'effectuent à des doses sous-optimales. C'est le cas notamment des apports conditionnés par les exigences agro-environnementales. Pour aller dans le sens de la qualité, les entreprises de travaux agricoles (ETA) ont entrepris une démarche de qualification de travaux d'épandage de matières fertilisantes. Ils ont établi, pour ces travaux, une charte de qualité labellisée « QualiTerritoires » donnant la qualification pour une

année à l'entreprise pour la spécialité concernée (fiche de qualification en annexe).

Une étude de simulation sur des parcelles d'essais de céréales, menée en 2 000 par l'Inra de Toulouse et Arvalis-Institut du végétal, a montré que les conséquences d'une mauvaise distribution de l'engrais se répercutent à deux niveaux :

- des pertes de rendement pouvant aller jusqu'à 0,5 t / ha
- une baisse de la teneur en protéines pouvant atteindre 0,5 %

Cette étude montre que dans le cadre général d'une recherche de rentabilité et de valorisation des intrants, des marges de progrès existent pour assurer des apports d'engrais homogènes dans toutes les parcelles. L'objectif aujourd'hui est de mieux maîtriser les coûts de production, tout en assurant la production de produits de qualité et en répondant aux impératifs d'une gestion environnementale durable. Mais pour atteindre une application et un impact efficaces sur l'ensemble des exploitations, la mise en œuvre des progrès technologiques et des connaissances agronomiques doit être accompagnée par le plus grand nombre d'acteurs sur le terrain.

## Réglementation

La directive "nitrates" (91/676/CEE), du 12 décembre 1991, relative à la protection des eaux contre la pollution par les nitrates, à partir de sources agricoles, a été traduite en droit français par le décret n° 93-1038 du 27 août 1993.

L'objectif de la directive "nitrates" est d'assurer un meilleur respect des normes relatives à la teneur en nitrates des eaux brutes superficielles et souterraines destinées à la

consommation humaine, et de réduire le développement de zones soumises à l'eutrophisation (prolifération d'algues).

**Plusieurs dispositions ont été prises :**

- la désignation de "zones vulnérables", parties de territoires alimentant des masses d'eau dépassant ou risquant de dépasser le seuil de 50 mg/l en nitrate, ainsi que celles présentant des tendances à l'eutrophisation ;

- la rédaction d'un code de bonnes pratiques agricoles ;
- la mise en place de programmes d'action sur chacune des zones vulnérables désignées ;
- la réalisation d'un programme de surveillance.

Les zones vulnérables couvrent aujourd'hui 44 % du territoire français mais plus de 55% de la surface agricole utile.

Le code national des bonnes pratiques agricoles, défini par l'arrêté du 22 novembre 1993, est obligatoire dans ces zones. Chaque exploitant doit établir un plan de fumure prévisionnel annuel ou triennal et tenir un cahier d'épandage. La limite maximale pour la quantité d'azote totale épandue en provenance des effluents d'élevage est fixée à 170 kg/ha de surface épandable par an.

Trois programmes d'action de la Directive « nitrates » ont déjà permis de protéger, voire restaurer la qualité des eaux. Le troisième programme a été lancé en 2004 en élargissant les mesures à l'échelle de territoires plus vastes, en intégrant notamment

la mise en place de bandes enherbées ou boisées d'une largeur minimale de 5 m le long des cours d'eau désignés.

À partir de juillet 2009, un quatrième programme d'action de la Directive nitrates se met en place pour renforcer les mesures engagées dans les zones vulnérables, avec notamment la couverture des sols à l'automne pendant la période de risque de lessivage des nitrates.

Certaines zones en excédent structurel (ZES) ont été également définies. Ces zones regroupent des cantons où la quantité d'effluents d'élevage risque d'entraîner un dépassement du seuil autorisé.

Compte tenu des différentes situations géographiques, il est important pour l'agriculteur de connaître le statut de ses parcelles vis-à-vis de la réglementation et d'y appliquer celle-ci (zone vulnérable, zone d'excédent structurel, réglementation épandage, prescription « installations classées », règlement sanitaire départemental).

Textes réglementaires en annexe ■

## Les engrais minéraux solides

L'efficacité de l'unité fertilisante apportée sur une culture dépend des caractéristiques chimiques et des caractéristiques physiques de l'engrais utilisé.

Les principales propriétés chimiques des engrais minéraux sont connues et ont fait l'objet d'une normalisation déjà ancienne dans le cadre de l'AFNOR<sup>1</sup> et de l'ISO<sup>2</sup> et qui s'inscrivent maintenant dans la nouvelle Directive Européenne 2003/2003/ CE.

Celle-ci concerne les formes chimiques des éléments fertilisants de l'engrais, la solubilité dans l'eau et les réactifs chimiques, l'association des éléments fertilisants entre eux et la teneur (garantie du titre).

Face aux défis lancés à l'agriculture, améliorer sans cesse la performance des chantiers (réduction des temps de travaux) et le respect de la fertilisation raisonnée, les constructeurs de matériel ont fait progresser leurs machines. À côté de cela, les industriels européens des engrais n'ont cessé d'améliorer leurs procédés de fabrication pour proposer des produits aux caractéristiques chimiques et physiques plus constantes et mieux adaptées aux contraintes nouvelles.

Malgré les progrès accomplis par les constructeurs de distributeurs centrifuges, la nature même des engrais minéraux fait que leurs propriétés physiques ne peuvent pas évoluer à l'infini, et l'offre sur le marché reste fort variable.

Tous les engrais ne peuvent pas être épanchés avec les mêmes performances. À défaut de ne pouvoir choisir l'engrais en fonction de ses objectifs de chantier d'épandage, il est donc sage d'adapter ses objectifs d'épandage (largeur notamment) en fonction de l'engrais réellement disponible.

Un épandage précis et régulier au champ, avec répartition homogène et conservation du titre en tout point de la parcelle, dépend :

- des caractéristiques physiques des engrais ;
- de leur maintien au stockage et au transport ;
- des caractéristiques des appareils distributeurs ;
- de la technique mise en œuvre par l'utilisateur.

### Les types d'engrais

Les engrais solides sont les plus répandus et se présentent sous différents états physiques :

- Les **granulés** de forme ronde et régulière sont adaptés aux grandes largeurs de travail.
- Les **prills** ou **perlés** (généralement l'ammonitrate ou urée) sont aussi de forme ronde

mais creuse. Leur densité est plus faible et ils sont plus sensibles à la casse. Ils demandent beaucoup d'attention pour chercher un épandage "grande largeur".

- Les **compactés** présentent des formes anguleuses et rugueuses. Il faut fournir plus d'efforts pour les projeter avec les pales et leur trajectoire est moins précise.



Ammonitrate granulé

Urée perlée (prill)

Chlorure de potassium compacté

Engrais composé NPK

<sup>1</sup> AFNOR : Association Française de Normalisation.

<sup>2</sup> ISO : International Standard Organisation.

Les engrais de mélange vrac ou bulk-blends (appelés improprement "bulk", ce qui veut dire "vrac" en anglais) sont des mélanges de différentes formules d'engrais. Un épandage régulier impose que les principales caractéristiques physiques de chaque composant du bulk-blend soient identiques. Les engrais pulvérulents, cristallisés ou en

poudre, ne sont pas présentés dans ce document.

La forme granulée est largement prédominante et continue à se développer aux dépens des autres présentations.

Les caractéristiques physiques des engrais ont une influence significative sur la qualité de la répartition par projection.

## Trois impératifs pour un épandage précis

Pour un épandage précis, trois paramètres sont à prendre en compte :

- la dose d'engrais par hectare fertilisé ;
- la largeur d'épandage ;
- la régularité d'épandage.

### Une dose d'engrais exacte par hectare fertilisé

Il faut rechercher une précision d'au moins 10 %.

Cette précision n'est accessible qu'avec des engrais homogènes de qualité et une technique de mise en œuvre rigoureuse.

Pour cela, l'engrais doit avoir :

- une masse volumique apparente connue et constante ;
- un taux d'humidité très faible (caractéristique du produit utilisé) ;
- un taux de poussière inférieur à 0,1 % ;
- une absence totale de reprise en masse ;
- une bonne sphéricité, pour assurer un écoulement sans contrainte dans la trémie du distributeur.

### Une largeur d'épandage respectée

Pour atteindre la largeur de projection nécessaire à la largeur de travail choisie pouvant aller de 12 à 36 m avec des distributeurs centrifuges double disques, il faut que l'engrais ait :

- une masse volumique supérieure à 850 kg/m<sup>3</sup> ;
- un diamètre médian d<sub>50</sub> supérieur à 3 mm ;
- un indice d'étalement granulométrique D le plus resserré possible ;
- une friabilité la plus faible possible (taux de bris inférieur à 5%) ;
- une dureté suffisante, supérieure à 3 kgf (≈30 Newtons)<sup>(1)</sup>, pour éviter l'éclatement et la formation de poussière sur les pales de l'appareil distributeur ;
- une bonne sphéricité pour que la trajectoire du granulé dans l'air soit la plus stable possible ;

<sup>(1)</sup> 1 kgf = 9,81 Newtons.

Propriétés physiques \ Phases	Transfert et stockage	Écoulement dans la trémie	Projection du granulé	Trajectoire dans l'air
Résistance à la reprise en masse	●●●	●●●		
Résistance à la reprise d'humidité	●●●	●●●		
Taux de poussière réduit	●●●	●●		
Dureté (résistance au choc)	●●●			
Taux d'écoulement	●●	●●●	●●●	
Friabilité (résistance à l'abrasion)		●●●	●●●	
Sphéricité		●●	●●●	●●●
Étalement granulométrique			●●	●●●
Diamètre médian			●●	●●●
Masse volumique apparente				●●●

Tableau 1.1 : Propriétés physiques de l'engrais et leur importance dans les différentes phases de son utilisation.

**Une bonne régularité d'épandage**

La régularité d'épandage, qui se mesure par le coefficient de variation (C.V.), sera jugée

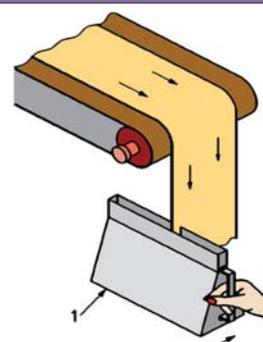
satisfaisante au banc d'essai si la variation de la répartition au sol est inférieure à 10 %.

**L'échantillon représentatif**

Quel que soit l'objectif (contrôle de la qualité physique ou contrôle réglementaire des teneurs déclarées) l'échantillonnage est une opération délicate. Les risques de biais sont principalement :

- Le nombre de prélèvements insuffisant ;
  - Les conditions du prélèvement (ex : réalisé en bas du tas, l'échantillon ne peut pas être représentatif car il est constitué des particules les plus grossières) ;
- La nouvelle norme européenne NF EN 1482-1 d'avril 2007 définit :

- Le nombre de prélèvements unitaires :
  - ex: 10 sacs à ouvrir pour un lot de 100 sacs ;
  - 20 prélèvements pour un tonnage vrac de 100 t ;
- Le mode de prélèvement: pour du vrac, uniquement sur le produit en mouvement ;
- La préparation de l'échantillon ( mode opératoire pour le mélange des prélèvements et pour la division permettant d'obtenir l'échantillon final).



*Prélèvement en traversant un flux continu de l'engrais déchargé par une bande. Ce prélèvement est à répéter plusieurs fois au cours du déchargement (camion, péniche ou train) pour s'assurer d'une représentativité correcte du lot.*

## Importance et rôle des caractéristiques physiques de l'engrais

Certaines caractéristiques déterminent directement le comportement de l'engrais dans un distributeur et lors de sa trajectoire dans l'air (distribution centrifuge). D'autres assurent la pérennité ou non de ces caractéristiques.

Chacune de ces caractéristiques est actuellement mesurée avec des méthodes qui peuvent être différentes et délicates de mise en œuvre. Aujourd'hui, trois méthodes sont normalisées.

**On peut retenir :**

A- caractéristiques déterminant le comportement de l'engrais à l'épandage (dose, régularité).

1. la masse volumique apparente : méthode normalisée EN 1236 ;
2. la distribution granulométrique : méthode normalisée EN 1235 ;
  - diamètre médian  $d_{50}$  ;
  - étalement  $\Delta = d_x - d_y$  ;
3. la sphéricité.

4. le taux d'écoulement : méthode normalisée EN 13299 appréciation synthétique, résultante des caractéristiques ci-dessus.

B- caractéristiques assurant la pérennité des propriétés physiques de l'engrais.

5. la dureté ;
6. la friabilité ;
7. le taux de poussière ;
8. la résistance à la reprise d'humidité ;
9. la résistance à la reprise en masse.

**Nota :** Les indications chiffrées données dans ce chapitre, concernant les caractéristiques physiques des engrais solides, ont pour but essentiel d'indiquer, à titre d'exemple, les ordres de grandeur des valeurs souhaitables à rechercher et de montrer l'ampleur des variations observées lors des très nombreux essais au banc ou au champ.

L'objectif de ces indications est de sensibiliser les utilisateurs à l'importance des caractéristiques physiques des engrais solides et à leur incidence sur la qualité de l'épandage.

## La Masse Volumique Apparente (norme EN 1236)

Cette caractéristique importante de l'engrais granulé a fait l'objet d'une normalisation : NFU 42-401, ISO 8397, EN 1236.

La masse volumique apparente d'un engrais est exprimée en kilogrammes par mètre cube ( $\text{kg/m}^3$ ). Cette mesure résulte de la pesée d'un cylindre de volume déterminé, rempli d'engrais au moyen d'un entonnoir.

Pour un même réglage du distributeur, l'engrais de faible masse volumique est projeté moins loin que celui de masse volumique plus élevée. Pour un même diamètre, les particules les plus denses vont toujours plus loin.

Enfin, la masse volumique apparente intervient dans le réglage de la dose d'engrais à apporter par ha.

La masse volumique apparente doit être bien connue et constante :

Ammonitrates <sup>3</sup>	850 à 1 150 $\text{kg/m}^3$
NP-PK-NPK	900 à 1 200 $\text{kg/m}^3$
Urée granulée	730 à 770 $\text{kg/m}^3$
Urée perlée	720 à 740 $\text{kg/m}^3$

### Masse Volumique Apparente ou densité ?

Le terme technique correct est bien Masse Volumique Apparente, mais en pratique on utilise le terme impropre de densité qui s'exprime sans unité, ainsi :

- Ammonitrates	0,85 à 1,15
- Engrais NP-PK-NPK	0,90 à 1,20
- Urée granulée	0,73 à 0,77
- Urée perlée	0,72 à 0,74

En pratique on peut la déterminer en laissant s'écouler lentement au moyen d'un entonnoir un volume connu d'engrais (dans une éprouvette graduée de 1l par exemple) et en pesant cette quantité.

<sup>3</sup> Ammonitrates : on distingue dans la famille des ammonitrates : les ammonitrates haut dosage ( $N > 28\%$ ), les ammonitrates moyen dosage ( $20 < N < 28\%$ ) dont le nitrate d'ammoniaque calcaire (CAN 27%) est un cas particulier. Les ammonitrates haut et moyen dosage peuvent éventuellement contenir du soufre et/ou du magnésium.

## La Distribution Granulométrique (norme EN 1235 et EN 1235/a1)

Les dimensions des particules ont un effet significatif sur la distribution de l'engrais. A masse volumique identique et pour un même réglage de l'appareil, lorsque le diamètre augmente, la portée de projection s'accroît généralement.

Choisir un maximum de sept tamis de contrôle dans la gamme de tailles principales figurant dans l'ISO 565 : 1990, afin de couvrir l'ensemble des tailles supposées des particules.

On peut, par exemple, choisir la série suivante : 1,0 mm - 1,6 mm - 2,0 mm - 2,5 mm - 3,15 mm - 4,0 mm - 5,0 mm.

On caractérise la distribution granulométrique au moyen de deux paramètres :

**Le diamètre médian** ou  $d_{50}$  est l'ouverture théorique du tamis telle que 50 % des particules, en masse, ont un diamètre supérieur et 50 % un diamètre inférieur.

**L'étalement granulométrique**  $\Delta_{xy}$  est la dimension, en millimètres, résultant de l'équation :  $\Delta_{xy} = d_x - d_y$  où  $d_x$  est l'ouverture théorique de mailles du tamis, en millimètres, pour laquelle la somme du passant est  $x\%$  (fraction de la masse) et  $d_y$  est l'ouverture théorique de mailles du tamis, en millimètres, pour laquelle la somme du passant est  $y\%$  (fraction de la masse), avec  $x > y$  et les deux dimensions ayant été mesurées et calculées par la même méthode que celle utilisée pour déterminer le diamètre médian. Pour pouvoir interpréter les résultats correctement, le système doit comprendre au moins 1 tamis avec une ouverture de mailles inférieures à  $d_y$ , et un autre avec une ouverture de mailles supérieures à  $d_x$ .

Il est toutefois plus commode d'utiliser une seule définition pour l'étalement granulométrique. Il est recommandé que celle-ci soit basée sur la répartition de  $\pm 1$  écart type autour du diamètre médian.

Dans ce cas, l'étalement granulométrique, en millimètres, est défini par l'équation :

$$\Delta = d_{84} - d_{16}$$

EFBA<sup>4</sup> utilise cette formule pour le calcul de l'Indice d'étalement granulométrique :

$$GSI^5 = (d_{84} - d_{16}) * 100 / 2d_{50}$$

Ces valeurs s'obtiennent par interpolation à partir des mesures obtenues après utilisation de tamis ISO de la série principale et d'une des deux séries secondaires, dont les ouvertures de mailles ont les plus voisines de la maille théorique recherchée.

Pour un même type d'engrais, la distribution granulométrique peut varier dans de grandes proportions. Ainsi par exemple, pour l'ammonitrate 33,5, le  $d_{50}$  peut varier de 1,9 à 3,2 mm et l'étalement granulométrique  $\Delta$  de 0,8 à 1,8 mm suivant l'origine de sa fabrica-

tion et le procédé (perlé ou granulé). Les valeurs de 3,2 pour  $d_{50}$  et 0,8 mm pour  $\Delta$  sont des valeurs recommandables pour l'aptitude à l'épandage en grande largeur.

**NB : d'un point de vue réglementaire, l'ammonitrate haut dosage (N > 28 %) ne doit pas présenter plus de 5 % en masse de particules d'un diamètre < 1 mm et 3 % de particules d'un diamètre < 0,5 mm (NFU 42-001 modificatif 1 - mai 1989).**

### Le granulomètre : un outil pour une évaluation simple et rapide

Diamètre médian et étalement granulométrique sont des grandeurs mesurées en laboratoire. Sur le terrain, on peut se faire une idée de la distribution granulométrique d'un engrais au moyen d'un boîtier appelé granulomètre qui peut être fourni par certains fabricants d'engrais ou d'appareils distributeurs d'engrais. Un boîtier à 4 ou 5 compartiments séparés par des tamis ISO, choisis dans l'une ou l'autre des séries, et dont les mailles carrées sont de plus en plus petites. Exemple :

4,75 mm / 3,35 mm / 2,0 mm

(boîtier à 4 compartiments)

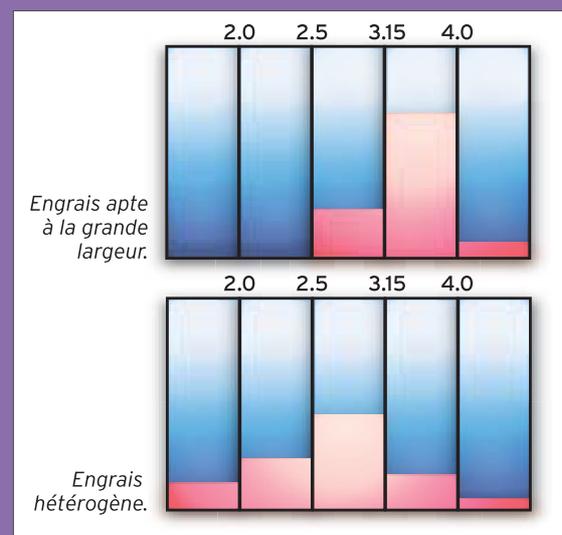
4,00 mm / 3,15 mm / 2,5 mm / 2,0 mm

(boîtier à 5 compartiments)

Après introduction de l'engrais dans la première case, il faut agiter le granulomètre pendant une dizaine de secondes de façon à trier les granules. On peut ensuite visualiser la qualité de l'échantillon. Pour disposer de résultats valides, veiller à réaliser un bon échantillon (cf. "l'échantillon représentatif").

Parmi les paramètres favorables à l'épandage en grande largeur (> 28m), la distribution granulométrique est un élément déterminant. On estime qu'il est possible d'atteindre de grandes largeurs lorsqu'au moins 80 % des grains présentent un diamètre supérieur à 2,5 mm.

La lecture directe renseigne sur l'aptitude probable d'un engrais à être épandu en grande largeur mais ne remplace pas les valeurs de laboratoire.



<sup>4</sup> EFBA : European Fertilizer Blenders Association.

<sup>5</sup> GSI : Granulometric Spread Index.

### La Sphéricité

La géométrie des particules ainsi que leur état de surface influencent l'écoulement de l'engrais et son mode de dispersion.

Plus la particule est sphérique et plus l'écoulement dans la trémie du distributeur est régulier et plus sa résistance aérodynamique est faible. La trajectoire de la particule dans l'air est plus stable et la distance de projection est alors augmentée.

Quand le produit est anguleux et rugueux, le coefficient de frottement entre l'organe de projection et l'engrais augmente. La vitesse d'éjection diminue et le temps de séjour de l'engrais sur le disque s'allonge. De plus, la trajectoire de la particule dans l'air devient tout à fait irrégulière.

La sphéricité peut se mesurer par exemple par la proportion de granulés parcourant totalement un plan incliné de pente 12 %, sur une distance de 600 mm, après lancement par un plan incliné de 4,5 %. D'autres méthodes de mesure existent, toutefois aucune ne fait encore l'objet d'une normalisation.

Si les grains sont sphériques, au moins 60 % d'entre eux arrivent au bas du plan incliné. Avec un engrais sphérique, l'angle de chute est plus faible.

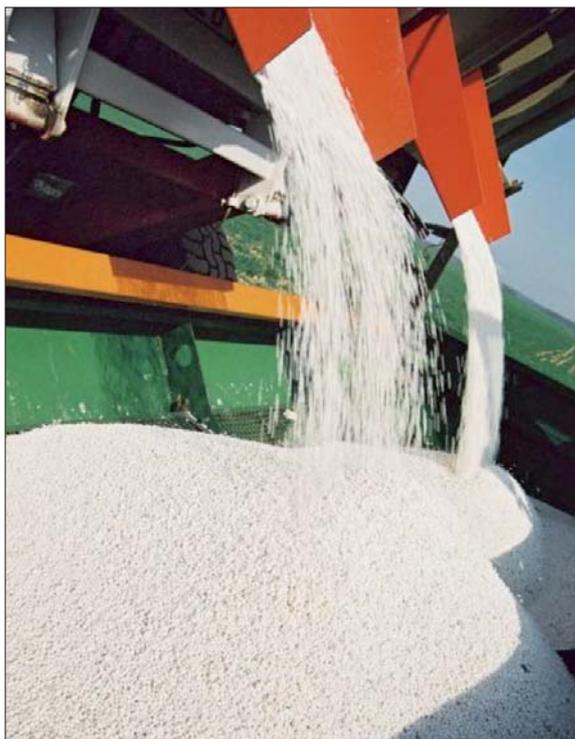


Granulés d'ammonitrate 33.5 % N.

### Le Taux d'Écoulement (Norme EN 13299)

Il apparaît, à la lecture des différentes caractéristiques que nous venons de décrire, que l'un des points importants de la qualité de l'engrais est la manière dont le produit reste fluide et manipulable tout le long de son histoire.

Ce comportement résulte en particulier des 3 premières caractéristiques : masse volumique apparente, distribution granulométrique et sphéricité (état de surface) et de leur aptitude à les conserver, aptitude liée très étroitement aux 5 caractéristiques suivantes.



Chargement de la trémie d'un épandeur.

C'est pourquoi le C.E.N. (Comité Européen de Normalisation) a normalisé un test de taux d'écoulement pour caractériser ce comportement global.

Il consiste à mesurer le temps d'écoulement de 2 kg d'engrais à partir d'un échantillon de 3 kg d'engrais mis dans l'entonnoir normalisé utilisé dans la norme EN 12 36 permettant la mesure de la masse volumique apparente.

Le résultat s'exprime en kilogramme d'engrais par minute. Les valeurs observées varient de 4 kg à 8 kg par minute suivant les produits, avec une très bonne reproductibilité.

L'avantage de cette mesure est sa facilité de mise en œuvre. Au dépôt, au champ, on pourra aisément suivre l'évolution du produit et modifier, en fonction, les réglages du distributeur d'engrais.

### La Dureté

La dureté des particules est une caractéristique à prendre en compte pour l'entreposage, la manutention et l'épandage de l'engrais.

Si les particules sont sensibles à l'écrasement lors de l'entreposage du produit, aux

chocs lors de la manutention et à leur arrivée sur le disque du distributeur, le spectre granulométrique d'origine du produit est profondément modifié.

Si un contrôle de la granulométrie n'est pas effectué au moment de l'épandage, le réglage choisi ne correspondra pas aux caractéristiques réelles des particules.

La dureté se mesure par la force - exprimée en kilogramme force (kgf) ou en Newton (N) - nécessaire pour rompre un grain d'engrais de diamètre convenable (proche du  $d_{50}$ ). Cette force est appliquée de façon croissante et régulière au moyen d'un piston.

Des valeurs élevées doivent être recherchées : au moins de l'ordre de 3 kgf ( $\approx$  30 Newtons) pour l'ammonitrate 33,5 % qui est un engrais sensible au risque d'écrasement. Cette dureté peut parfois atteindre des valeurs très faibles de l'ordre de 0,7 kgf ( $\approx$  7 Newtons) pour des engrais de qualité médiocre.

### **La Friabilité**

Cette notion permet d'apprécier l'importance de l'abrasion due au frottement et aux chocs mutuels que peuvent subir les particules d'engrais, de la sortie de l'atelier à leur arrivée sur le sol de la parcelle de l'agriculteur, au cours de toutes les manipulations effectuées.

Cette mesure a lieu au laboratoire dans des conditions précises. On détermine par exemple la quantité de particules brisées produites par le passage d'un échantillon d'engrais dans un cyclone alimenté par un débit d'air contrôlé. On exprime le résultat par le taux de bris : pourcentage de particules dont le diamètre est inférieur à 1,6 mm de diamètre à l'issue du traitement. Cette méthode est connue sous le nom de test Canada.

D'autres méthodes de mesure existent.

Un ammonitrate résistant bien à l'abrasion a un taux de bris inférieur à 5 %. Toutefois on peut rencontrer, pour l'ammonitrate prillé, des valeurs bien supérieures suivant l'origine de la fabrication, et parfois suite à des problèmes de tenue au stockage.

### **Le Taux de Poussière**

La présence de poussière dans un engrais granulé compromet la bonne tenue du produit.

Elle peut être due à plusieurs raisons :

- fabrication défectueuse
- vieillissement accéléré
- dégranulation due aux variations de température d'humidité et à des réactions chimiques lentes.

La formation de poussière doit être évitée à toutes les étapes. C'est un facteur favorable à la reprise en masse de l'engrais (l'hygroscopie est augmentée). Elle peut nuire également à la qualité de l'épandage (écoulement affecté par un produit plus facilement humide, concentration de la poussière derrière le tracteur).

Pour apprécier le taux de poussière, on détermine par exemple la perte de poids d'un échantillon d'engrais, introduit en haut d'une colonne de 1m de hauteur, équipée de grille pour disperser l'échantillon et dans laquelle circule un courant d'air ascendant. On réalise 6 tests successifs avec le même échantillon. Cette méthode est connue sous le nom de test TVA.

Cette perte de poids doit toujours être la plus faible possible et ne jamais dépasser 0,1 %.

### **La Résistance à la Reprise d'Humidité**

L'excès d'humidité est toujours très nuisible à la conduite du stockage en vrac et à la qualité de l'épandage, surtout dans le cas de produits poussiéreux.

Le taux d'humidité à la sortie de l'usine est variable selon la nature même de l'engrais, normalement de l'ordre de 0,2 % pour un ammonitrate, de 1 % pour des complexes NP, NPK et de 5 %, voire plus, pour les engrais PK. Mais ces valeurs peuvent varier d'une façon importante suivant les origines. On peut apprécier la résistance d'un engrais à la reprise d'humidité par exemple en mesurant l'évolution d'un poids d'échantillon d'engrais exposé pendant 24 heures à une atmosphère avec une humidité relative de 72 % à 25°C.

L'idéal est une évolution de poids proche de zéro.

**La Résistance à la Reprise en Masse**

Les granulés doivent rester séparés les uns des autres durant toute l'existence du produit. Il faut éviter à tout prix l'apparition de mottes plus ou moins consistantes et difficiles à faire disparaître en remuant le produit.

Pour apprécier ce risque, un test est utilisé au laboratoire pour mesurer la charge nécessaire à la rupture d'une pastille d'engrais fabriquée dans des conditions de température, de pression et de durée déterminées. Actuellement, par exemple, on utilise la centrifugation à 4000 tr/min pendant 1 heure à 35°C.

La pastille d'engrais doit se déliter pour une charge inférieure à 5 kgf ( $\approx$  50 Newtons). Au-dessus de cette valeur, les risques de reprise en masse sont importants.

Ces valeurs, pour l'ammonitrate, peuvent varier d'une façon importante de 1 à 20 kgf ( $\approx$  10 à 200 Newtons) suivant l'origine.

Pour éviter ce risque, les granulés font l'objet de traitement d'enrobage, leur formulation constitue le savoir-faire de chaque industriel.

**Les engrais composés de mélange**

La technique des mélanges d'engrais, communément appelés bulk-blending, consiste à effectuer un simple mélange physique de fertilisants de composition différente de façon à obtenir une formulation composée. Ce procédé est simple, économique et offre la possibilité de fournir à l'agriculteur une large variété de formulations au départ de quelques matières premières.



*Engrais composés de mélange (les particules sont d'aspect et de forme différents).*

Le risque lié à ces produits provient de la ségrégation (démélange) éventuelle des particules entraînant des variations de propriétés physiques et/ou chimiques du produit final. La ségrégation est une séparation de particules due à des différences de caractéristiques physiques.

Pour que la séparation ait lieu, il doit y avoir un mouvement entre les particules. Dans la pratique, le démélange peut se produire pendant la fabrication, le transport (et la maintenance) ou lors de l'épandage.

Différentes caractéristiques peuvent provoquer la ségrégation mais les plus courantes sont la taille, la masse volumique et la forme des particules. Pour l'épandage, les trois propriétés jouent un rôle, la forme ayant le moins d'influence et la taille jouant un rôle prépondérant.

Lors de manipulations précédant l'épandage, par exemple par le simple remplissage du distributeur, c'est la taille des particules qui est le paramètre le plus influant dans le processus de ségrégation.

**La compatibilité des matières premières utilisées.**

La qualité d'un engrais de mélange est liée directement à la qualité de ses engrais qui le composent.

Par exemple, si un composant utilisé dans le mélange ne présente pas la bonne composition chimique ou s'il se caractérise par une teneur en poussière très élevée, le mélange qui en résultera n'aura pas la bonne composition chimique ou physique.

La composition chimique des matières premières et des mélanges est soumise à des autocontrôles ce qui limitent fortement les irrégularités.

En revanche aucun critère de qualité physique n'est imposé. Le fabricant des engrais composés de mélange se doit de respecter des spécifications lui assurant que ses matières premières seront bien compatibles pour un mélange d'engrais homogène, comme indiqué dans le tableau ci-contre.

L'utilisateur de l'engrais aura aussi intérêt à vérifier visuellement la qualité physique du produit qu'il doit épandre. La propriété

Tableau 1.2 : Spécifications des matières premières pour mélanges d'engrais granulés.

Objectifs et tolérances			
Critères		Objectif	Tolérance
Dénomination	Correspondance physique <sup>(1)</sup>		
Taille des particules (diamètre médian)	d50 (en mm)	3,25 mm	+/- 0,25 mm
Fines	< 1 mm	0 %	0,25 %
Grosses particules	> 5 mm	0 %	1,00 %
Fraction principale	2,5 - 4,00 mm	90 %	+ / - 5 %
Indice d'étalement granulométrique (GSI) <sup>(2)</sup>	$GSI = ((d_{84} - d_{16}) \times 100) / (2 \times d_{50})$	< 18	

Source : Guide en français de l'EFBA 2005. [www.european-blenders.org](http://www.european-blenders.org) ou [www.afcome.org](http://www.afcome.org).

<sup>(1)</sup> Partant de l'hypothèse que l'analyse s'effectue suivant la norme CEN NF-EN1235/A1, EFBA recommande l'utilisation de 7 tamis : (5, 4, 3.55, 3.15, 2.80, 2.50 et 1 mm)

<sup>(2)</sup> GSI = "Granulométric spread index".

essentielle étant la taille des particules, il vérifiera notamment la quasi absence de particules très fines (<1 mm) et très grosses (>5 mm). Il pourra par exemple s'aider d'une petite boîte granulométrique lui permettant de vérifier en plus qu'il a bien une fraction principale de l'engrais compris entre 2,50 et 4,00 mm.

Outre le fait que cela facilitera le réglage du distributeur, cela aura aussi comme conséquence de limiter les risques de démixage lors des manutentions depuis le chargement d'une remorque jusqu'à la vidange de la trémie du distributeur d'engrais.

#### **La prévention de la ségrégation au cours des manutentions**

Des tests de remplissage et de vidange de remorque ont montré que la ségrégation granulométrique est étroitement liée à l'indice d'étalement granulométrique (GSI). On recommande de limiter l'indice d'étalement granulométrique du mélange à une valeur inférieure à 20.

Les mélanges ne sont pas sujets à d'importantes ségrégations lors du transport. Le niveau des vibrations des véhicules de transport est insuffisant pour induire un mouvement de l'engrais.

#### **La qualité d'épandage**

La qualité physique de l'engrais composé de mélange et la précision des réglages apportés au distributeur d'engrais jouent un rôle primordial dans l'uniformité de la répartition finale du produit sur le champ.

Dans le cas des engrais simples ou composés complexes, le fait d'avoir la même quantité d'engrais en tous points de la parcelle est suffisant étant donné que chaque particule d'engrais contient les mêmes éléments chimiques. En revanche pour les mélanges d'engrais, non seulement, il faut que la quantité épandue soit correcte mais de plus il faut que le mélange qui arrive au sol contienne en chaque point les mêmes proportions de composants que le mélange initial.

L'utilisateur final va donc devoir procéder au réglage de sa machine et être conscient de certaines limites ou prendre certaines précautions pour obtenir un résultat correct.

● **Le premier réglage est celui de la dose à épandre.**

La procédure est identique à celle des engrais simples à ceci près que l'utilisateur ne dispose d'aucune référence dans les tableaux de réglage pour les engrais de mélange (étant donné qu'il y a un nombre trop

important de formules). Il sera donc impératif de procéder à un test de débit statique si on ne dispose pas d'un distributeur avec système de pesée et débit proportionnel à l'avancement. Ce premier réglage est donc relativement simple à contrôler et s'avère précis.

● **Le second réglage est celui de la largeur de travail.**

Pour une largeur de travail de 28m, la largeur totale de projection peut atteindre plus de 50 m. En l'absence de réglage conseillé par le constructeur, ce point est le plus délicat et cependant d'une très grande importance. D'une façon générale, plus la largeur de travail est importante, plus le réglage devient sensible (à l'engrais, à une erreur de réglage, aux conditions extérieures, ...)

Enfin, dernier aspect propre aux mélanges, il s'agit de la ségrégation des composants qui apparaît lors de l'épandage à cause de leurs différences de propriétés. Les particules les plus grosses, lourdes et rondes sont projetées le plus loin. La taille, la masse volumique et la forme étant les paramètres principaux. Dans la pratique, les composants présentent des différences pour plus d'une propriété physique et chaque écart peut accentuer ou réduire la ségrégation finale. Par exemple, une différence de taille entre deux composants peut être compensée par un écart de masse volumique ou l'inverse.

L'utilisateur peut limiter le risque de ségrégation lors de l'épandage en favorisant le recouvrement le plus large possible entre les passages. Si le recouvrement entre les passages est suffisant, à chaque unité de surface du champ, la quantité finale d'engrais provient de deux passages adjacents. Pratiquement, un recouvrement correct signifie que la largeur d'épandage doit être environ le double de la largeur de travail. Donc, pour une largeur de travail de 28m, cela signifie que la largeur de projection doit approcher 56 m.

**Nous recommandons donc de limiter les largeurs de travail à 28 m pour l'épandage des engrais composés de mélange.**

**Bien se rappeler :**

Les engrais de mélange mécanique devront être homogènes et posséder les caractéristiques précitées.

Chaque manutention peut entraîner des modifications d'homogénéité de ces engrais.

La largeur optimale de travail sera d'autant plus facile à déterminer que les caractéristiques des matières premières constitutives du mélange seront plus semblables.

## **Conserver la qualité des granulés au transport, à la manutention et au stockage**

Les caractéristiques physiques conférées en usine aux granulés d'engrais doivent pouvoir être conservées tout au long de la chaîne logistique au cours des opérations de transport, de manutention et de stockage. Cela doit permettre le bon réglage du distributeur au champ pour réussir un épandage précis et homogène.

Les précautions à prendre pour préserver la qualité des engrais solides tout au long de

la chaîne logistique sous emballage ou de la chaîne vrac font partie d'un ensemble plus large de recommandations HSE (Hygiène, Sécurité, Environnement) décrites dans le Référentiel de Bonnes Pratiques (RBP) pour les engrais minéraux solides, et résumées dans le dossier UNIFA des bonnes pratiques de stockage, manutention, transport et épandage des engrais solides (dossier téléchargeable dans les publications sur le site [www.unifa.fr](http://www.unifa.fr)).

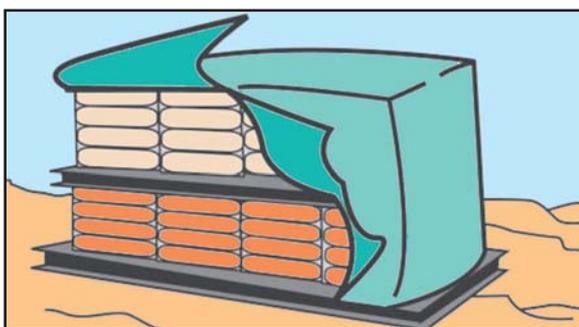
**L'emballage protège les engrais solides**

L'emballage dans un sac (25, 50, 500, 600 kg) hermétiquement fermé supprime le risque de contamination et limite la reprise d'humidité. Il protège le granulé des chocs lors du transport et de la manutention. Il est bien adapté au stockage chez l'agriculteur, mais l'emballage vide doit être collecté et repris dans une filière de valorisation.

Il subsiste cependant des causes possibles de détérioration de l'engrais emballé : infiltration d'eau ou d'humidité, exposition à des cycles de température successifs, déchirures de l'emballage...

**Pour prévenir ces risques, il est recommandé :**

- De stocker sous bâtiment en cas de longue durée sur un sol sec, propre et bien stabilisé ;
- D'utiliser des palettes pour isoler les sacs ou big-bags dans le cas d'un sol non stabilisé ;
- De disposer les sacs ou big-bags en îlots et de les isoler des murs ; de ne pas dépasser 2 à 3 niveaux de palettes pour les sacs de 25 ou 50 kg et 2 hauteurs pour les big-bags ;
- D'utiliser des palettes pour isoler les sacs ou big-bags du sol et de couvrir le stock de sacs avec une bâche blanche bien tendue et solidement arrimée en cas de stockage en plein air de courte durée ;
- D'utiliser les engins de levage adaptés pour éviter d'endommager ou de déchirer des emballages ;



Respecter les emballages et isoler les sacs et les big bags du sol au stockage.

- De vider complètement les sacs ou big-bags dans la trémie du distributeur en évitant une chute trop importante.

**La chaîne vrac exige certaines précautions**

La livraison en vrac s'accompagne d'économies logistiques importantes et supprime l'obligation de recyclage des emballages vides. Le stockage en vrac est le plus souvent assuré par le distributeur qui dispose en général d'un bâtiment réservé au stockage des engrais dans de bonnes conditions de sécurité.

Les agriculteurs soit enlèvent l'engrais vrac à ce magasin eux mêmes avec une benne agricole au moment de l'épandage ou bien se font livrer directement sur la parcelle au cours du chantier d'épandage.

**La détérioration de l'engrais granulé vrac peut résulter :**

- d'une reprise d'humidité : la durée des granulés diminue, l'engrais commence à croûter, le taux de poussière risque d'augmenter ainsi que la prise en masse ;
- d'une abrasion, d'une cassure ou d'un écrasement de certains granulés au cours des manutentions ;
- d'une ségrégation des particules en fonction de leur granulométrie à chaque manutention.

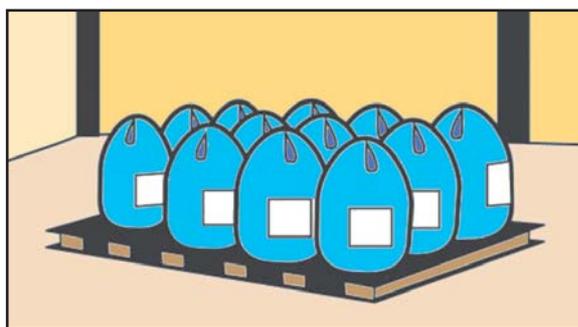




Figure 1.1

Préconisations concernant le stockage d'engrais (source UNIFA).

On peut prévenir tous ces risques en respectant certaines précautions au stockage et dans la manutention, il est recommandé :

- De toujours stocker sous bâtiment sur un sol imperméable, propre et lisse (sans fissure ni cavité) de type dalle en béton. **Il est formellement déconseillé de stocker le produit en vrac à l'extérieur.**
- D'utiliser un bâtiment avec des portes qui se ferment de préférence, mais ventilé et aéré pour éviter la reprise d'humidité.
- De bien séparer physiquement le tas d'engrais vrac par des cloisons étanches pour éviter tout risque de mélange avec un autre engrais ou avec d'autres produits.
- De bâcher le tas dès réception en cas de stockage de longue durée.
- De gérer le stockage selon la règle « first in, first out » premier produit entré, premier sorti.
- D'utiliser des systèmes de convoyage adaptés (de type bande transporteuse).
- De constituer le tas en évitant la formation d'un seul cône favorisant la ségrégation des granules les plus lourds en périphérie du tas : pour cela, déplacer le point de chute plusieurs fois.

L'engrais est plus homogène en granulométrie lors des opérations de reprise.

**Éviter le point de chute unique dans la case :**



**Multiplier les points de chute si possible pendant toute la durée du déchargement :**

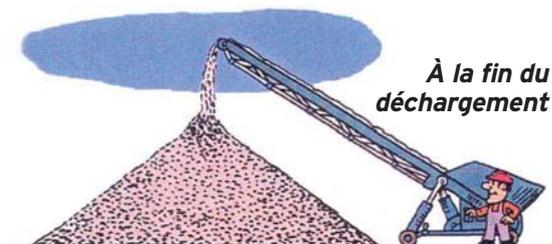
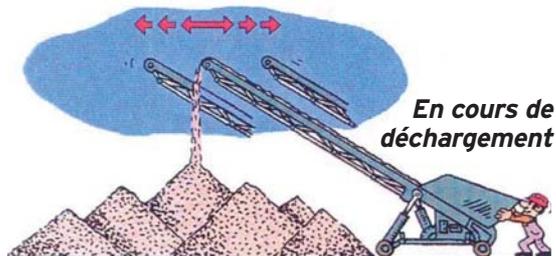


Figure 1.2 : Précautions à prendre pour la réalisation des tas d'engrais.

**Des précautions sont à prendre aussi lors de la reprise du produit et du rechargement en benne :**

- Reprendre l'engrais avec un chargeur en évitant de rouler sur l'engrais et en inclinant le godet par rapport au sol pour ne pas écraser les granulés ;
- Éviter tout chargement de benne sous la pluie ;
- Limiter les hauteurs de chute de l'engrais dans la benne puis dans la trémie du distributeur ;



*La benne transportant l'engrais vrac doit être bâchée.*

- Une bonne gestion du magasin de stockage vrac comprend aussi le nettoyage des cases et du matériel en fin d'opération ainsi que d'autres règles de sécurité dont on peut trouver le détail dans le RBP Transport, stockage, manutention.

Il est possible en respectant des précautions simples de conserver cette qualité tout au long des chaînes logistiques jusqu'au chargement du distributeur au champ tant pour l'engrais livré dans un emballage que pour du vrac ■



*La vidange de l'engrais est faite dans la trémie pour limiter la hauteur de chute.*

### CONCLUSION

Au cours des vingt dernières années, des progrès très importants ont été réalisés sur la qualité physique des engrais granulés (granulométrie, traitements de surface des granulés du type anti-massant, anti-poussière...)



# La qualité d'épandage des engrais minéraux

## Principe et définitions

Le principe de l'épandage consiste à effectuer une **répartition** d'engrais, la plus **juste** et la plus **régulière** possible, sur une culture à l'aide d'un dis tributeur d'engrais. Le distributeur peut être centrifuge, pendulaire, ou pneumatique, et l'engrais simple (simple N) complexe binaire (N-P, N-K, P-K) ou ternaire (N-P-K), mono-composant ou composé de mélange.

Dans le cas des engrais composés de mélange ce sont les éléments fertilisants constituant le mélange qui doivent être uniformément répartis, de façon à obtenir une fertilisation homogène de la culture.

Les préconisations de fertilisation sont issues du raisonnement agronomique et elles sont calculées pour chaque type de culture. Elles sont aussi adaptées à chaque type de sol et dans le cas de parcelles homogènes l'épandage est **uniforme**, dans le cas contraire il est modulé.

Afin d'éviter toutes confusions on définit ici les principales grandeurs liées à l'épandage :

**La dose** est la quantité de produit épandue par unité de surface. L'unité normalisée est le kg/m<sup>2</sup>. L'unité courante est le kg/ha de matière fertilisante épandue.

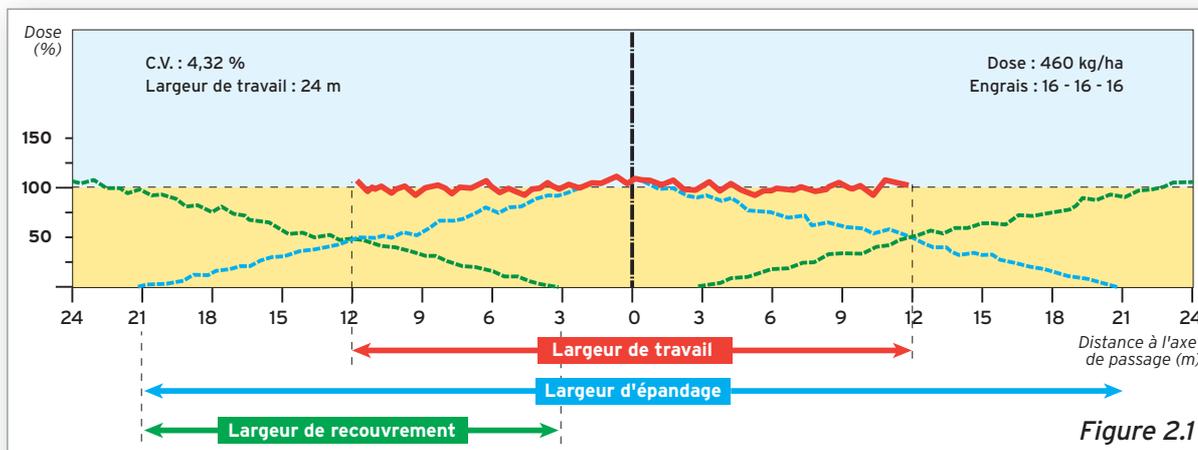
Elle peut aussi être exprimée en g/m<sup>2</sup> si l'on veut mieux apprécier sa répartition : 300 kg/ha = 30 g/m<sup>2</sup>.

**Le débit massique** d'un appareil distributeur est la quantité de produit épandue par unité de temps. L'unité normalisée est le kg/s. L'unité courante est le kg/min. Lorsque le débit est contrôlé sur un seul côté de l'appareil distributeur, il est divisé par 2.

**La largeur de travail** est la distance qui sépare deux passages adjacents de l'appareil distributeur. C'est aussi la distance qui sépare les points de recouvrement entre passages, c'est-à-dire entre les points correspondant à la 1/2 dose en un passage de chaque côté de l'axe. La largeur de travail est optimale lorsque ces distances sont égales. Le coefficient de variation de la répartition est alors minimal et la répartition optimale avec le bon recouvrement.

**La largeur d'épandage** ou de projection est la distance qui sépare les granulés d'extrémité de la nappe d'épandage perpendiculairement au sens d'avancement du distributeur.

**La largeur de recouvrement** est la différence entre la largeur d'épandage et la largeur de travail.



## Le respect de la dose

Lors d'un épandage, la dose est calculée en quantité de matière fertilisante nécessaire à la plante en complément de la fourniture du sol. Elle est calculée en fonction des besoins de la plante et des potentialités du sol et résulte de l'application du raisonnement agronomique de la fertilisation.

Si le sol est homogène, la dose est unique et dans le cas contraire, selon l'importance de la variabilité, la dose sera modulée. Elle sera modulée à la baisse dans les zones de moindre potentiel et augmentée dans les zones à potentiel élevé sans jamais dépasser la dose préconisée par le raisonnement agronomique.

Le calcul de la dose est directement lié au débit, à la largeur de travail, et la vitesse d'épandage selon la formule :

$$Q = D * 600 / L * V$$

Dans laquelle :

Q est la dose, en kg/ha

D est le débit, en kg/min

L est la largeur de travail, en m

V est la vitesse d'avancement, en km/h

Par exemple, si on prend :

$$Q = 200 \text{ kg/ha d'ammonitrate } 33.5 \%$$

$$L = 24 \text{ m}$$

$$V = 8 \text{ km/h}$$

Le débit sera :

$$D = Q * L * V / 600$$

d'où :

$$D = \frac{200 * 24 * 8}{600} = 64 \text{ kg/min}$$

Cette valeur de débit est calculée pour l'ensemble du distributeur. Si le distributeur est un double disque, et que la mesure doit être effectuée sur un seul côté, en enlevant un disque, il faut obtenir la valeur de 32 kg/min soit la moitié dans cet exemple.

Il est important de vérifier la symétrie du débit en contrôlant les trappes d'ouverture à droite et à gauche.

## La régularité d'épandage

La régularité d'épandage est caractérisée par l'apport d'une même quantité d'engrais en tous points de la parcelle. Cette uniformité de l'épandage doit s'appliquer dans le sens de déplacement longitudinal du tracteur et de l'appareil distributeur, et dans le sens transversal, perpendiculaire au sens de déplacement. L'uniformité de la répartition dépend de celle de l'engrais à la sortie du disque, et du recouvrement entre deux passages de l'appareil distributeur, à l'aller et au retour.

Dans le sens transversal, la variation de la répartition est beaucoup plus importante. Elle dépend du type d'appareil distributeur, de son réglage, de la largeur de travail souhaitée et de l'engrais utilisé. Plus techniquement elle dépend de la nappe d'épandage obtenue pour un réglage donné et de son re-

couvrement à la largeur de travail souhaitée. Selon les cas les courbes de répartition prennent la forme d'un triangle, d'un trapèze ou d'un rectangle.

Dans le sens longitudinal, la variation de la répartition est faible voire quasiment nulle. Elle ne dépend que de la variation de la vitesse d'avancement du tracteur. Pour les appareils équipés de système de Débit Proportionnel à l'Avancement (D.P.A.), cette variation est nulle.

**La régularité d'épandage est caractérisée après recouvrement** des nappes d'épandage par le Coefficient de Variation, C.V. (%), de la distribution transversale cumulée.

La distribution transversale cumulée est obtenue après un recouvrement en va et vient.

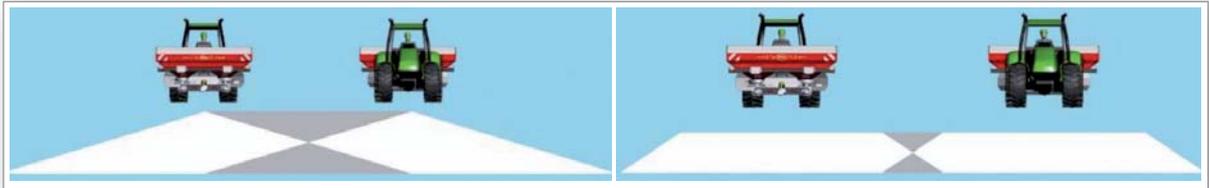


Figure 2.2 : Formes triangulaires et trapézoïdales des courbes d'épandage centrifuge.

Les quantités sont recueillies dans des bacs disposés au sol et pesées.

Le C.V., défini dans la norme EN 13739, est le rapport entre l'écart type et la moyenne de la distribution cumulée :

$$C.V. = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100$$

avec :  $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})^2}$

et  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n xi$

où :

- n est le nombre de bacs sur la largeur de travail ;
- xi est la quantité recueillie dans chaque bac après recouvrement en va et vient.

La régularité d'épandage est exprimée par la valeur du C.V.

Plus elle est faible, meilleure est la répartition, et réciproquement.

Couramment la qualité de la répartition est notée de la façon suivante,

- 0 % < C.V. < 10 % bon
- 10 % < C.V. < 15 % moyen
- 15 % < C.V. mauvais

pour des mesures obtenues, selon des méthodes de contrôle normalisées, au banc d'essai.

Une valeur de C.V. inférieure à 15% est une valeur requise par la norme en épandage plein champ.

Nota : La valeur de C.V dépend de la méthode de contrôle. Pour des mesures obtenues à partir de méthodes de contrôle au champ, se référer au chapitre correspondant dans ce guide.

## Méthodes de contrôle

### La norme EN 13739

La norme européenne EN 13739 "Distributeur d'engrais solides en nappe et centrifuges -Protection de l'environnement" est la norme définissant les méthodes d'essais et les exigences auxquelles doivent satisfaire les machines pour minimiser les risques sur l'environnement.

Elle définit les critères d'exigence, des distributeurs d'engrais en nappe et centrifuge, pour les épandages de plein champ et de bordure.

Pour répondre aux exigences de la norme, les distributeurs doivent avoir un C.V inférieur à 15% en épandage plein champ pour les largeurs de travail déclarées dans la notice d'utilisation.



Figure 2.3 : Marquage de conformité des distributeurs d'engrais aux normes environnementales.

En épandage de bordure, il doit être possible avec ou sans équipements optionnels, de ne pas épandre d'engrais (moins de 0.3%) en dehors de la limite du champ (frontière). Dans la largeur de bordure, les 5m avant la frontière, la dose ne doit pas excéder de plus de 20 % la dose moyenne du champ. Dans la largeur de transition, de la frontière au milieu du premier et du deuxième passage plein champ le coefficient de transition (C.T.) ne doit pas dépasser 25 %.

Un marquage collé sur l'appareil distributeur indique la présomption de conformité à la norme de ce distributeur. C'est une action volontaire de la part des constructeurs. A l'achat il est préférable pour l'agriculteur de choisir un distributeur d'engrais disposant de ce logo.

### Les essais normalisés

Les essais normalisés de distributeurs d'engrais sont réalisés dans des bancs d'essais adaptés et couverts afin de garantir une précision des mesures de répartition d'engrais. L'objectif de ces essais est de contrôler le matériel neuf ou de le mettre au point dans certains cas, et d'apporter une aide aux réglages par exemple en réalisant les tableaux de réglage avec différents engrais.

Les essais de distributeurs d'engrais sont réalisés en France au Cemagref et dans d'autres pays européens avec la même méthode d'essai normalisée.

Les principales exigences mesurées lors des essais sont conformes à la norme. Elles portent sur les critères de qualité en répartition transversale, C.V., largeur de travail optimale, et sur les mêmes indicateurs en répartition en bordure.

Pour la bordure, deux niveaux d'exigences sont admis selon que l'on est en bordure "environnement" ou en bordure "rendement".

En bordure "environnement" celle décrite dans la norme, aucun engrais (moins de 0,3%) ne doit être épandu en dehors de la limite du champ.

En bordure "rendement", dans le cas d'une parcelle adjacente à une autre parcelle, la

dose "objectif" peut être appliquée jusqu'à la limite du champ.

Les résultats des essais permettent de comparer les performances des matériels en situation d'épandage. Ils contribuent à optimiser les pratiques de fertilisation en fonction des types d'engrais et de l'augmentation des largeurs d'épandage.

Les méthodes d'essais doivent évoluer pour tenir compte de nouvelles exigences réglementaires ou de nouvelles exigences en matière de recherche. L'objectif est toujours le même, d'améliorer la qualité de répartition des appareils distributeurs, mais aussi de tester et de valider les techniques innovantes de demain. Ce nouvel objectif permet de développer de nouvelles voies de progrès, et de raisonner la qualité de l'épandage à l'échelle de la parcelle.

### Un nouveau banc d'essais au Cemagref

Un nouveau banc d'essais, conçu et développé au Cemagref, est utilisé en complément du dispositif d'essais normalisés pour des travaux de recherche. L'objectif est de mesurer les caractéristiques de la nappe d'épandage c'est-à-dire la variabilité de la dose épandue au sol en trois dimensions.

De nom de code "Cemib" ce dispositif révolutionne la méthode d'essais puisqu'il permet de fournir la totalité des informations relatives à la répartition spatiale au sol de l'engrais par une simple rotation du distributeur.

Le distributeur est attelé à un support rotatif à axe vertical et il effectue un mouvement de rotation autour de cet axe de manière à ce que la nappe d'épandage passe en totalité au dessus d'une rangée de bacs de collecte instrumentée de capteurs de pesée. La rotation s'effectue dans un temps très court et dans un espace réduit.

La méthode de mesure utilisée pour déterminer la répartition spatiale au sol de l'engrais, la nappe d'épandage réalisée par le distributeur, consiste à mesurer en temps

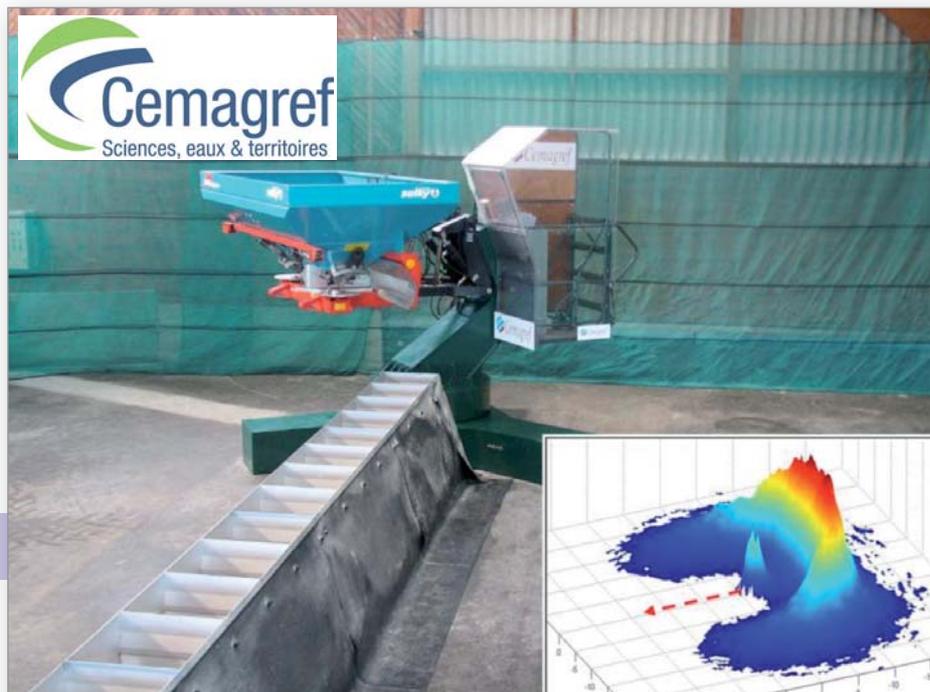


Figure 2.4

*Le banc rotatif "Cemib" permet d'obtenir la nappe d'épandage.*

réel les quantités d'engrais distribuées radialement au disque d'épandage en tous points de la nappe. Afin de limiter la surface à couvrir et le nombre d'unités de mesure nécessaire, une seule rangée de collecteurs équipés de capteurs de pesée (80 au total) est disposée radialement au distributeur. C'est ce dernier qui réalise une rotation sur lui-même lors de l'épandage pour décrire la totalité de la nappe. En une durée variant de l'ordre de 1 à 2 min, la distribution de la nappe d'engrais au sol est mesurée. Il est alors possible d'en extraire les grandeurs caractéristiques (portée de projection et angle moyen de projection) ainsi que les courbes transversales et de coefficient de variation obtenues avec la méthode d'essai classique.

L'ensemble nécessite une surface couverte de 500 m<sup>2</sup> environ et des largeurs de travées faibles (10 m) contre 4 800 m<sup>2</sup> et des portées de l'ordre de 60 m avec la méthode traditionnelle.

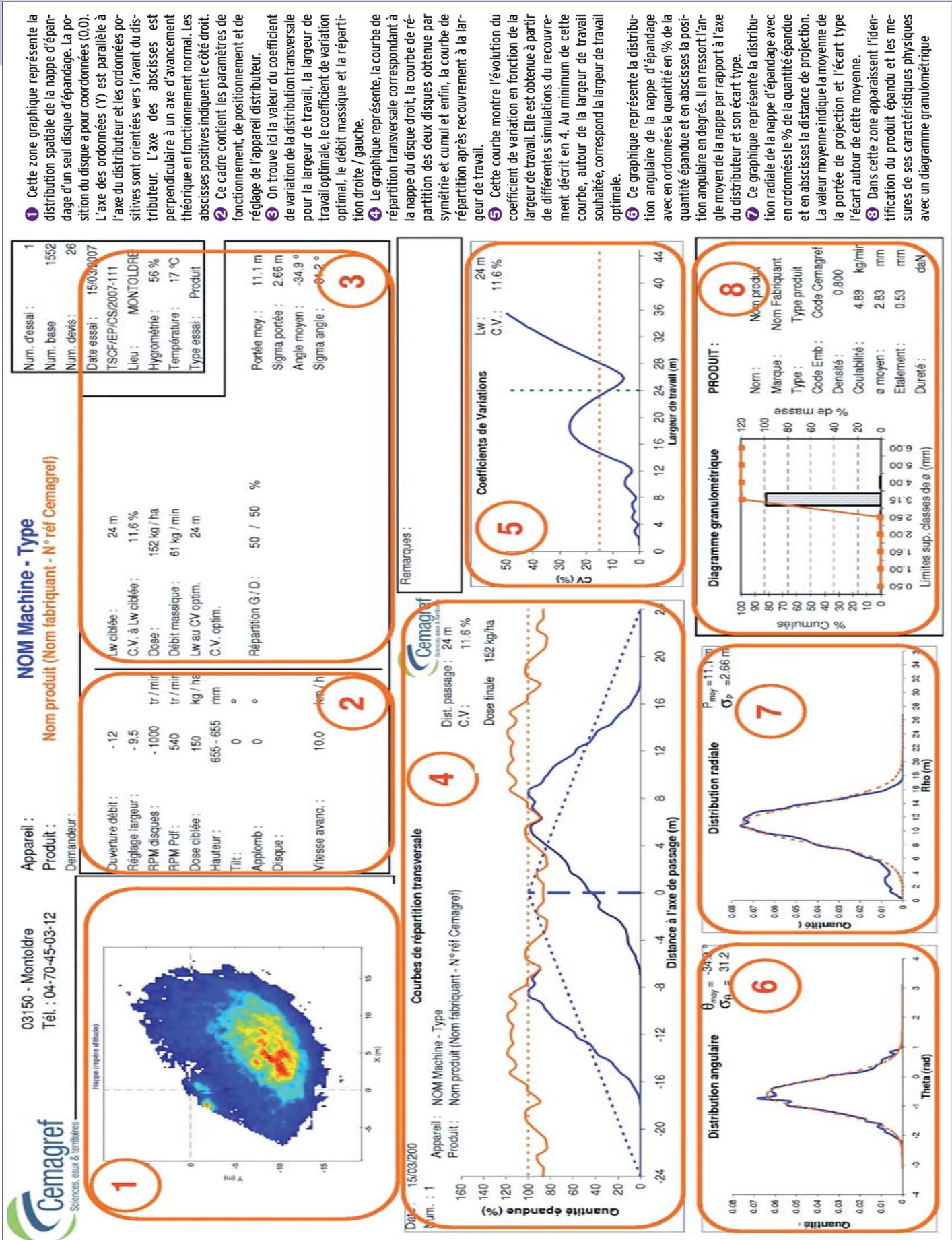
Le dispositif permet d'une part de mener des travaux de recherche sur les caractéristiques des engrais eux-mêmes (aptitudes à l'épandage, caractéristiques aérodynamiques...), mais aussi sur les systèmes

d'épandages. La validation des modèles d'épandage est aussi possible par l'ajout de capteurs.

Ce dispositif d'essai est breveté et la méthode de mesure est en cours de normalisation.

Les résultats obtenus apparaissent sur une fiche récapitulative (voir page suivante) qui regroupe les informations relatives à la machine, marque, type, les indications de réglage, le type d'engrais utilisé, avec son identification et ses principales caractéristiques physiques mesurées ainsi que les conditions d'essais.

Les différentes parties de la fiche ont été encadrées et numérotées pour mieux montrer les types de résultats obtenus et les commenter ■



Num. d'essai : 1562  
Num. base : 26  
Num. devis : 15/03/2007  
Date essai : 15/03/2007  
TSCF/EP/CS2007-111  
Lieu : MONTOLDRE  
Hygrométrie : 56 %  
Température : 17 °C  
Type essai : Produit

Lw ciblée : 24 m  
C.V. à Lw ciblée : 11.6 %  
Dose : 152 kg / ha  
Débit massique : 61 kg / min  
Lw au CV optim. : 24 m  
C.V. optim. : 11.1 m  
Répartition G / D : 50 / 50 %

Portée moy. : 11.1 m  
Sigma portée : 2.66 m  
Angle moyen : -34.9 °  
Sigma angle : 04.2 °

Remarques :

**5** Coefficients de Variations

Lw : 24 m  
C.V. : 11.6 %

**8** Diagramme granulométrique

PRODUIT :

Nom :  
Nom produit :  
Marque :  
Type produit :  
Code Cemagref :  
Densité : 0.800 kg/m<sup>3</sup>  
Coulabilité : 4.89 mm  
Ø moyen : 2.83 mm  
Etalement : 0.53 mm  
Duraté : daN

Appareil : NOM Machine - Type  
Produit : Nom produit (Nom fabricant - N° réf Cemagref)

Date : 15/03/2007  
Num. : 1

**4** Courbes de répartition transversale

Dist. passage : 24 m  
C.V. : 11.6 %  
Dose finale : 152 kg/ha

**6** Distribution angulaire

$\theta_{moy} = -34.9^\circ$   
 $\sigma_\theta = 31.2$

**7** Distribution radiale

$P_{moy} = 11.1$   
 $\sigma_p = 2.66$  m

**1** Nappe (nappe d'épandage)

**2** Ouverture débit : -12  
Réglage largeur : -9.5  
RPM disques : -1000  
RPM Pdf : 540  
Dose ciblée : 150 kg / ha  
Hauteur : 655 - 655 mm  
Tilt : 0 °  
Applomb : 0 °  
Disque :  
Vitesse avanc. : 10.0 km/h

Figure 2.5 : Fiche de résultats obtenus à l'issue des essais réalisés au Cemib.

# L'épandage par projection

## Principe

Le principe de l'épandage par projection, qu'il soit centrifuge ou pendulaire, est de répartir l'engrais projeté à l'aide d'un disque en rotation, ou d'un tube oscillant. Cet organe distributeur éjecte et répartit l'engrais selon une nappe en forme, plus ou moins circulaire, de croissant. Cette distribution appelée "nappe d'épandage" est caractéristique des épandages par projection. Sa forme est dépendante de l'appareil distributeur, de son réglage ainsi que de l'engrais utilisé. La nappe d'un seul disque représente une caractéristique élémentaire de la distribution.

### La nappe d'épandage

La nappe d'épandage est l'image réelle d'un épandage à poste fixe. Elle donne la répartition instantanée de l'engrais lorsque le distributeur se déplace dans le champ. Le gradient de couleurs représente la variabilité de dose d'engrais apportée en chaque point de la nappe. Sa forme peut changer en fonction de l'engrais et des réglages ce qui permet de l'optimiser. Sa représentation en deux dimensions donne une vision directe et complète de la répartition. La forme et les autres caractéristiques de la répartition au sol, rayon et angle moyen de projection, ainsi que portées de projection sont mesurées.

Les grandeurs maximales qui caractérisent l'empreinte de la nappe sont :

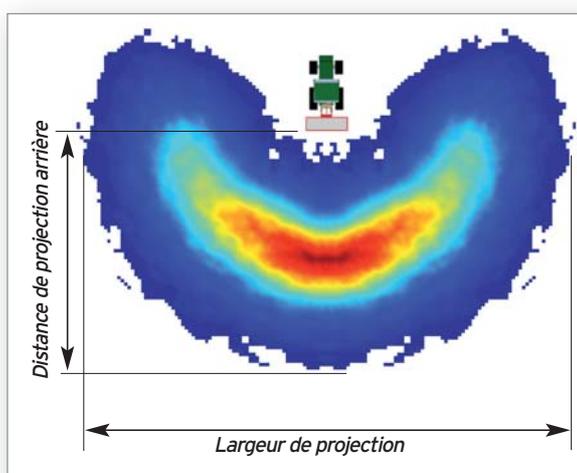


Figure 3.1 : Caractéristiques d'une nappe d'épandage centrifuge.



Photo 3.1 : Épandage d'engrais centrifuge.

**La largeur de projection** est la distance qui sépare les extrémités de la nappe.

**La distance de projection arrière** est la distance de projection dans l'axe de passage du distributeur mesurée à partir du disque du distributeur. En toute rigueur il faudrait tenir compte de la distance de projection avant mais celle-ci a très peu d'influence sur le recouvrement final en fourrière.

### Le recouvrement des nappes

La nappe d'épandage traduit la répartition au sol de l'engrais épandu par un distributeur d'engrais par projection. Sa forme, en épandage centrifuge, est caractérisée par une double variation de la répartition à la fois radiale et angulaire.

Avec ce principe, la répartition est obligatoirement irrégulière lorsqu'elle est réalisée en un seul passage.

La dose d'engrais, à la sortie du distributeur, diminue du centre de la nappe vers les extrémités. Il est donc nécessaire d'effectuer un recouvrement des nappes pour obtenir un épandage régulier.

La forme de la nappe peut changer en fonction des réglages, ce qui permet d'optimiser la gestion des recouvrements, et donc celle de la fertilisation au sein de la parcelle. Il est aussi possible de prendre en compte tous les recouvrements en bordures de champ et

en fourrières afin d'améliorer la qualité de la répartition en gérant les zones "de début et de fin" d'épandage.

### Réglages

Les réglages de dose et de largeur du distributeur d'engrais se font toujours en référence aux engrais. Le schéma de principe de réglage propose une marche à suivre selon que les engrais sont répertoriés ou non.

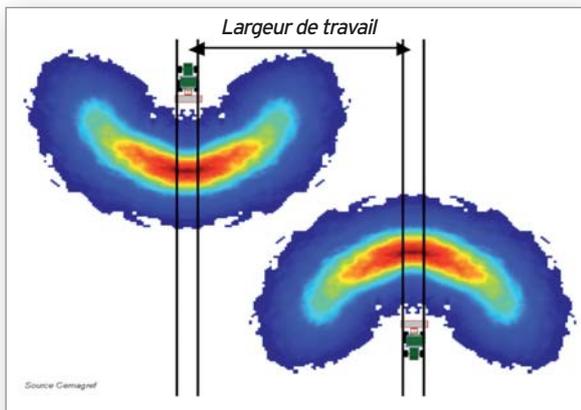


Figure 3.2 : Recouvrement des nappes d'épandage.

Photo 3.2 : Identification de l'engrais.

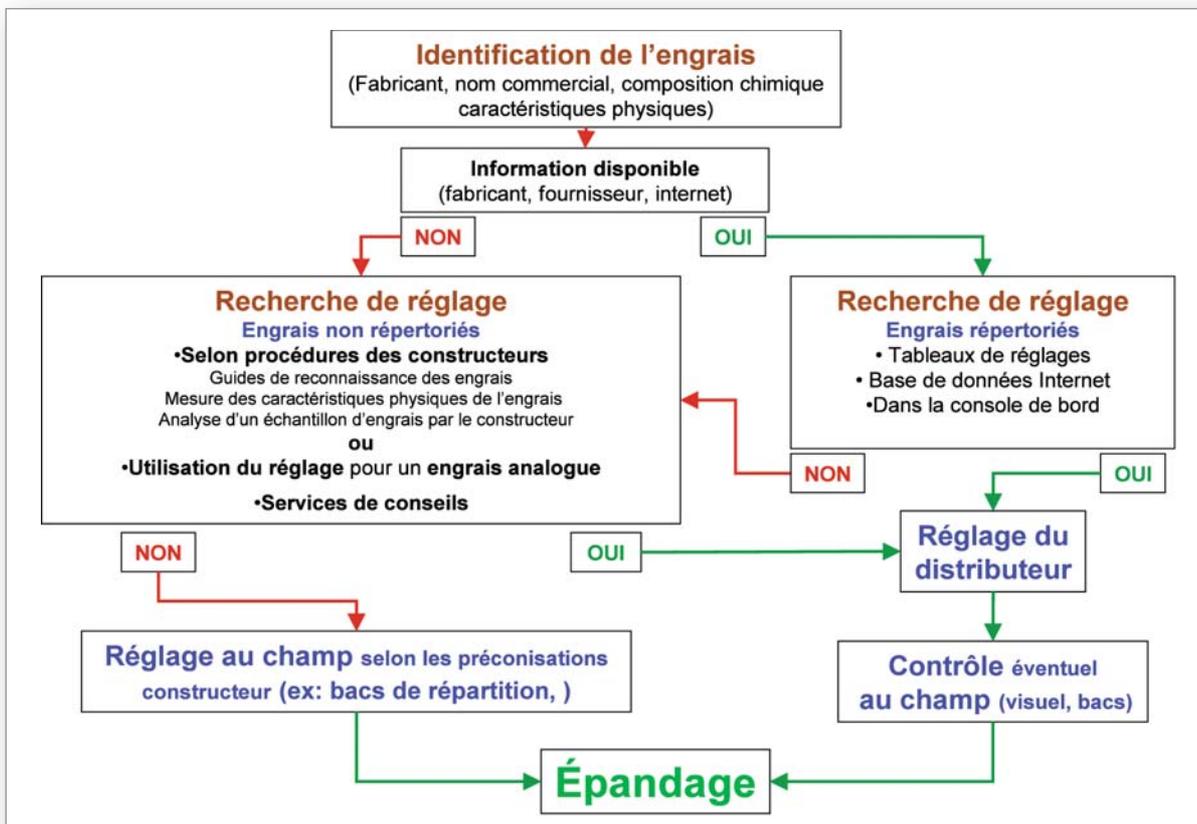


Figure 3.3 : Principe de réglage du distributeur d'engrais - dose, largeur de travail, répartition.

Si, après contrôle de la répartition au champ, il s'avère que le réglage n'est pas correct, il convient de suivre les préconisations mentionnées dans le manuel d'utilisation, fourni par le constructeur, afin de parvenir au réglage approprié.



Photo 3.2 : Réglage du distributeur d'engrais.

## Réglage de la dose

### Calcul du débit

Pour déterminer le débit d'engrais en sortie de la machine et obtenir ainsi la dose par hectare à épandre, il est nécessaire de connaître 3 éléments :

- la dose à épandre  $Q$  en kg/ha ;
- la largeur de travail  $L$  en m ;
- la vitesse d'avancement du tracteur ; pendant l'épandage  $V$  en km/h.

Formule de calcul du débit d'engrais  $D$  à doser par la machine :

$$D = \frac{Q \times L \times V}{600}$$

Exemple : 200 kg/ha / 24m / 10 km/h.

$$D = \frac{200 \times 24 \times 10}{600}$$

$$D = 80 \text{ kg/min}$$

Pour respecter une dose de 200 kg/ha en 24 m de large et à 10 km/h, l'épandeur doit doser 80 kg d'engrais par minute.

En fonction des tableaux d'épandages du constructeur, il faut déterminer la position de la butée d'ouverture de la vanne. Les tableaux d'épandages étant donnés à titre indicatif, il faut toujours vérifier la quantité d'engrais sortant réellement de la machine en effectuant soit :

- un contrôle de débit à poste fixe ;
- un contrôle de débit sur une distance précise ;
- un épandage sur une surface connue et en comparant la quantité d'engrais introduite dans la cuve et la quantité restante (conseillé pour les épandages à faibles dosages : anti-limaces, engrais verts...)



Photo 3.3 : Contrôle de débit à poste fixe.

## Contrôle de débit, règles à respecter

- Le régime de rotation de la prise de force pendant l'essai doit être le même que durant l'épandage, car le régime de rotation de l'agitateur peut avoir une incidence sur l'écoulement de l'engrais et donc sur le dosage.
- Un contrôle de débit à poste fixe doit être effectué sur une durée la plus longue possible (généralement sur 1 min, minimum 30 secondes pour les gros dosages)

En fonction du type d'engrais, de son stockage (vrac, big-bags), des conditions climatiques (variation d'hygrométrie), contrôler régulièrement la quantité d'engrais épanchée par rapport à la surface travaillée. En effet l'écoulement de certains engrais peut évoluer rapidement en fonction de l'hygrométrie de l'air.

Lors de l'épandage, respecter la vitesse d'avancement prévue pour éviter les surdosages ou les sous dosages.

## Contrôle de la vitesse d'avancement

- Mesurer précisément au champ une distance de 100 m.
- Chronométrer le temps nécessaire pour parcourir cette distance, en effectuant un départ lancé.

Exemple : temps  $t = 40$  secondes

$$\text{Vitesse (V)} = \frac{100 \text{ mètres} \times 3,6}{40 \text{ secondes}} = 9 \text{ km/h}$$

Le respect des différentes étapes conditionnera le respect des dosages.

## Régulation DPA (Débit Proportionnel à l'Avancement)

Elle assure le respect de la dose/ha en cas de variation de la vitesse d'avancement.

Deux systèmes de mesure de vitesse sont utilisés :

- Mécanique : par une roue
- Électronique : par un capteur sur une roue, sur l'arbre de transmission de pont avant ou de boîte de vitesse (par la prise ISO 11786), par le radar, par un capteur GPS.

En fonction de la vitesse d'avancement, le système électronique modulera l'ouverture des vannes de manière à adapter le débit d'engrais.

Ex. : si la vitesse d'avancement augmente de 10 %, le débit d'engrais doit augmenter de 10 % et inversement.

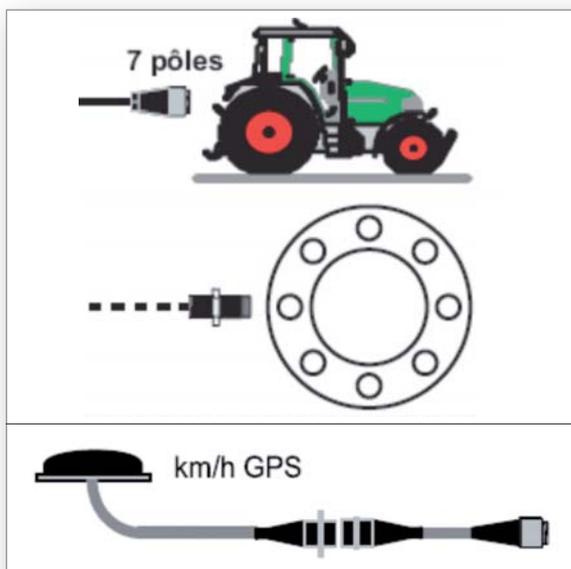


Figure 3.4 : Capteur sur roue ou GPS pour la vitesse.

## Système de correction du débit :

- Par modification de la vitesse d'un tapis entraîné mécaniquement ou par un moteur hydraulique (exemple : sur épandeur trainé).



Photo 3.4 : Système DPA mécanique sur épandeur trainé.

- Par modification de l'ouverture de la vanne de dosage par un vérin électrique. Un contrôle de débit est nécessaire pour calibrer la régulation. Il permet le calcul d'un coefficient reflétant la capacité d'écoulement de l'engrais. Ce contrôle peut être assisté par le boîtier de commande en cabine.

## Régulation DPAE (Débit Proportionnel à l'Avancement Électronique) avec contrôle massique du débit

Il existe deux systèmes :

### 1 - Système de pesée

En fonction du type d'engrais, de son stockage (vrac, big-bags), des conditions climatiques, l'écoulement de l'engrais peut se modifier durant l'épandage. Ceci nécessite de contrôler régulièrement la quantité d'engrais épanchée. Un système de pesée intégré complète celui du DPA électronique et évite de réaliser des contrôles de débit.

La charge appliquée sur le peson (ou jauge de contrainte) va générer un effort sur des composants électroniques. En fonction de l'effort mesuré, le système pourra déterminer la charge d'engrais. Un calibrage des pesons est donc nécessaire pour pouvoir faire correspondre une charge et une information électronique (calibrage en usine ou chez l'agriculteur selon les constructeurs).

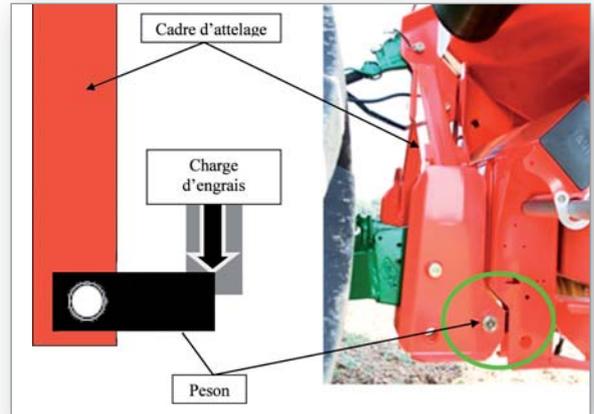


Figure 3.5 : Capteurs de pesée sur l'attelage pour la mesure de débit.

Le boîtier va mémoriser la quantité d'engrais présente dans la trémie.

### Modes de régulation :

- **Étalonnage automatique à l'arrêt** : épanche environ 200 kg, ensuite le système calcule le coefficient d'écoulement, puis passe en contrôle automatique (figure 3.6).

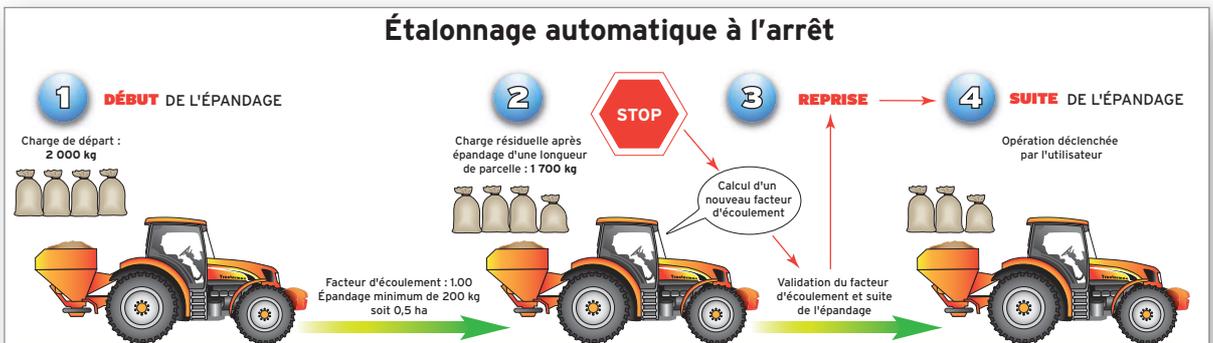


Figure 3.6 : Étalonnage automatique à l'arrêt.

### Fonctionnement :

En fonction de la dose programmée dans le boîtier, de la surface travaillée (largeur x distance), le boîtier électronique va vérifier si la quantité d'engrais qui sort de la machine est correcte. Si un écart de dosage apparaît, une correction des ouvertures de vannes sera effectuée.



Exemple de boîtier de commande et de réglage des ouvertures de vannes.

- **Étalonnage automatique en continu** : l'appareil lance automatiquement des comparaisons de l'épandage réel mesuré par le système de pesée et le théorique calculé et

corrige instantanément le coefficient. La fréquence de mesure varie selon les constructeurs.

Étalonnage automatique en continu

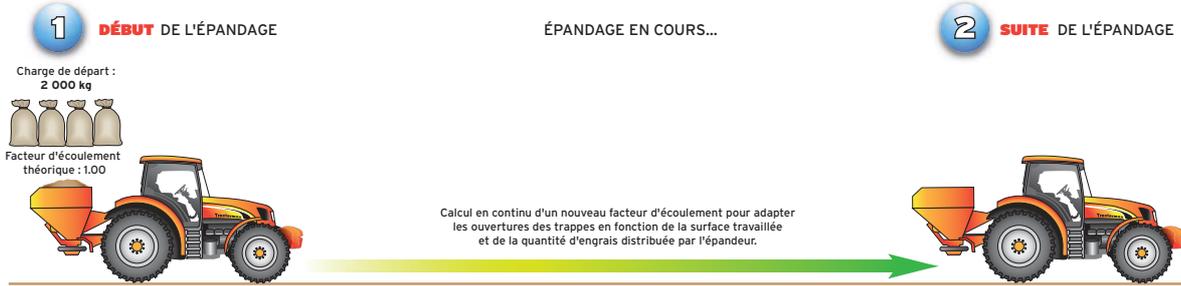


Figure 3.7 : Étalonnage automatique en continu.

**Fonctionnement :**

Si les caractéristiques physiques de l'engrais varient au cours du travail, les paramètres de coefficient d'écoulement de

l'engrais seront alors modifiés automatiquement, et les ouvertures des trappes seront réajustées pour maintenir le dosage par hectare.

**2 - Système de mesure de couple sur le disque**

Les disques sont entraînés par des moteurs hydrauliques. Au niveau de chaque moteur, un capteur va mesurer la pression nécessaire à la rotation à vide du disque puis à charge (lorsque les trappes seront ouvertes et que l'engrais est épandu).

La différence de pression entre la rotation à charge et la rotation à vide est directement proportionnelle à la quantité d'engrais à épandre et donc du débit d'engrais. Le régime de rotation des disques doit être pris en compte.

Chaque disque est entraîné séparément ce qui permet un contrôle individuel du dosage à droite et à gauche du distributeur.

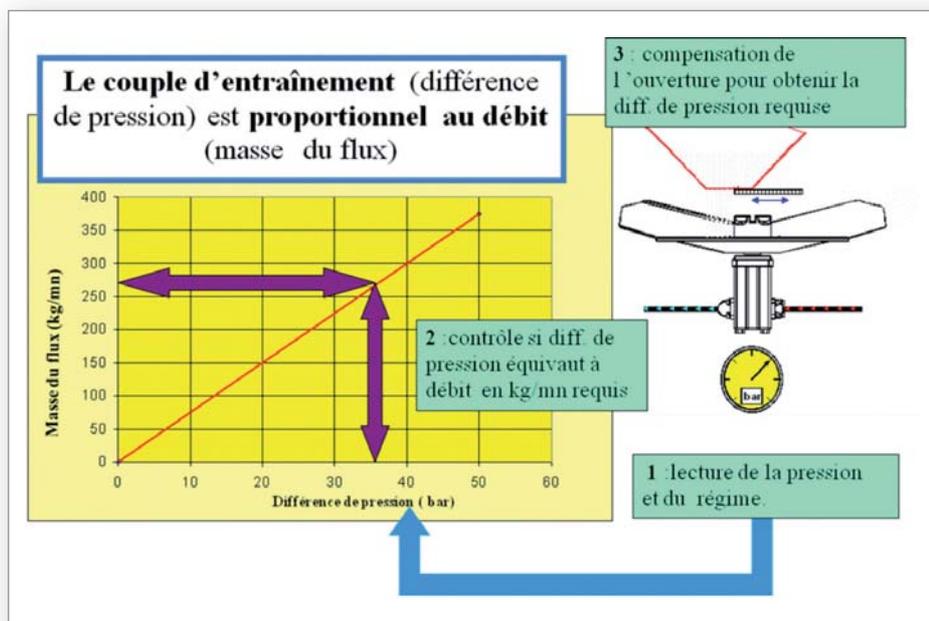


Figure 3.8

Contrôle du débit d'engrais à l'aide du couple mesuré sur le disque.

### Intérêt économique des systèmes de contrôle à débit massique :

Le coût des engrais étant de plus en plus élevé, une connaissance des dosages appliqués en temps réel permet à l'agriculteur d'apporter la juste dose. Des économies de 5 à 7 % d'engrais sont réalisables en utilisant des systèmes de pesées. Les apports d'engrais sont de plus en plus fractionnés pour être adaptés au strict besoin des cultures et de ce fait la précision doit être accrue



Photo 3.6 : L'option pesée apporte une économie par la précision d'épandage.

sur de faibles doses. L'aspect environnemental est un argument supplémentaire à l'épandage de la dose au kilogramme près.

## Réglage de la largeur de travail

### Identifier l'engrais

Un distributeur d'engrais doit être réglé pour un engrais donné à une largeur de travail prédéterminée en recherchant le réglage optimal pour cet engrais. Il apparaît d'emblée nécessaire d'identifier chaque cas précis, (type d'engrais avec ses caractéristiques physiques (cf. chapitre 1) et largeur de travail) pour régler le distributeur à son optimum. L'identification des engrais peut se faire en mesurant ses caractéristiques physiques, (masse volumique, granulométrie, etc.) ou par analogie à l'aide de photos présentes dans le tableau de réglage.



Photo 3.7 : Distributeur d'engrais en utilisation.



Photo 3.8 : Guide d'identification des engrais.

L'exemple de la photo ci-dessus représente un éventail de solutions utilisables pour identifier l'engrais à l'aide de cartes plastifiées.

### Précautions à prendre

#### Règles à observer :

- Utiliser des engrais d'origine connue de bonne qualité balistique (proscrire les engrais contenant des poussières ainsi que ceux ayant de mauvaises caractéristiques physiques)
- Lors de l'épandage, de nombreux facteurs peuvent intervenir et modifier la répartition transversale de l'engrais ainsi que le coefficient de variation de la courbe après recouvrement :

● **Facteurs climatiques (vent, humidité de l'air, etc....) et conditions de terrain.**

L'épandage centrifuge est soumis à la résistance de l'air. La répartition est d'autant plus affectée que la largeur d'épandage est importante. En aucun cas, on ne doit faire de contrôle ou d'épandage au-delà d'une vitesse de vent supérieure à 15 km/h.

Attention à l'état du terrain qui, s'il est meuble, peut induire une erreur de réglage de hauteur et donc une erreur de largeur d'épandage.

● **Facteurs liés à la mécanique du distributeur d'engrais.**

**Usure et corrosion :** l'abrasion mécanique et la corrosion des métaux sous l'action des composants de l'engrais peuvent être importantes et altérer la qualité de la répartition. En particulier, l'usure des pales de projection liée au tonnage passé est à surveiller attentivement (formation de « vagues » en fond de pales). Ce phénomène est normal (pièces d'usure à changer régulièrement).

**La dissymétrie d'ouverture des trappes en fond de trémie des appareils double disques.** Elle est à l'origine dans bien des cas, d'une dissymétrie droite gauche de la répartition transversale. La symétrie d'ouverture doit être surveillée fréquemment.

● **Facteurs liés à l'utilisateur.**

Respect des techniques d'application : vitesse d'avancement, surveillance du régime de prise de force qui doit rester constant, entretien du matériel et respect des prescriptions du constructeur.

Maintien d'une hauteur constante par rapport au sol : influences de l'état du sol en surface, d'un pont avant suspendu, de pneumatiques grand volume (pression d'utilisation faible).

**Techniques de réglages des distributeurs**

Les distributeurs d'engrais centrifuges projettent l'engrais à une certaine distance de leur axe de passage, avec une quantité décroissante par rapport à cet axe. Pour obtenir une dose fixe en tous points de la parcelle, il faut donc apporter une dose complémentaire en recouvrant partiellement le passage précédent.

Pour obtenir la distance de projection recherchée pour assurer un recouvrement correct, les constructeurs ont développé différents choix techniques. Plusieurs **techniques de réglage peuvent être combinées** pour parvenir à la largeur souhaitée.

Techniques de réglage de la largeur de travail	Conséquence du réglage	Illustrations
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modification du point d'alimentation de l'engrais sur le disque.</li> <li>• Réglage de l'angle des pales sur le disque.</li> </ul>	Modification de l'angle de sortie de la nappe d'engrais.	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modification de l'angle d'éjection de l'engrais en bout de pale.</li> <li>• Inclinaison de l'appareil.</li> </ul>	Modification de l'angle d'éjection de l'engrais par rapport à l'horizontale.	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modification de la vitesse de rotation des disques.</li> <li>• Changement de disques ou de pales.</li> <li>• Réglage de la longueur des pales (téléscopiques).</li> </ul>	Modification de la vitesse d'éjection de l'engrais.	

Tableau 3.1 : Principes de réglage de la largeur de travail des distributeurs centrifuges.

**Contrôle et assistance au réglage de la répartition à l'aide de dispositifs électroniques.**

Le contrôle et la correction de la répartition depuis la cabine du tracteur ne peuvent être effectués que via des systèmes compatibles avec une commande à distance :

- Modification du point de chute de l'engrais.
- Modification de la vitesse de rotation des plateaux.

Ces systèmes d'asservissement électroniques ne dispensent pas l'utilisateur de vérifier la répartition au champ, à l'aide de bacs. Certains constructeurs proposent une console de commande permettant l'encodage des mesures réalisées et offrant une assistance au réglage de l'appareil.

**Mesure de l'angle d'éjection de la nappe d'engrais.**

Le cœur du dispositif de contrôle est basé sur deux capteurs piézo-électriques. Leur rôle est de tester le réglage de répartition de départ en déterminant si l'éjection de s granulés s'effectue dans l'axe idéal. Des travaux de recherche sur banc d'essai ont en effet montré que, pour une largeur de travail déterminée (exemple : 28 mètres), les courbes d'épandage doivent respecter un **axe commun** dès l'éjection des granulés, quel que soit le débit/ha ou la nature physique des engrais. Une console en cabine confirme que le réglage de largeur est cor-

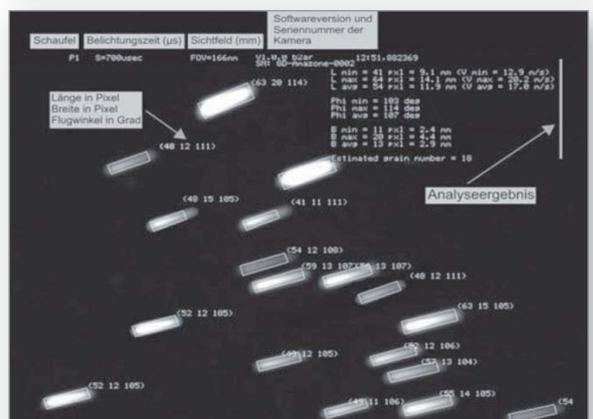


Photo 3.9 : Système de réglage de largeur par capteurs.

rect si les deux capteurs mesurent une valeur identique. Dans le cas contraire, la console indique au chauffeur dans quel sens **corriger** le point de chute de l'engrais sur le disque au moyen d'un asservissement électronique en cabine.

**Mesure de la vitesse et de la trajectoire d'éjection des grains d'engrais.**

Une **caméra** placée à l'arrière du distributeur d'engrais mesure et enregistre le flux d'engrais à la sortie d'un des deux disques. La **vitesse et la trajectoire des grains d'engrais sont alors comparées à une base de données d'engrais** enregistrée dans la console électronique en cabine. Le système détermine alors quel engrais dans la base présente les caractéristiques balistiques les plus proches et ajuste la vitesse de rotation des disques du distributeur d'engrais, ces derniers étant entraînés par des moteurs hydrauliques.



Photos 3.10.1 et 3.10.2 : Mesure des vitesses et trajectoires des grains d'engrais par caméra.

**Assistance au réglage du point de chute de l'engrais sur le disque par appel à une base de données d'engrais.**

Une **base de données d'engrais** est préenregistrée dans la console électronique placée en cabine. Les réglages du point de chute sur le disque pour chaque engrais enregistré et chaque largeur de travail sont associés au nom de l'engrais. L'utilisateur choisit alors son engrais sur la console et selon la largeur de travail programmée, un vérin électrique positionne directement le point de chute de l'engrais sur chaque disque



Photo 3.11 : Assistance au réglage de largeur par vérin électrique.

à la position déterminée par la console électronique.

## L'épandage de bordure



Photo 3.12 : Épandage d'engrais en bordure de parcelle.

Il peut se faire indifféremment avant ou après l'épandage en plein champ. D'une façon générale, il est conseillé de suivre les préconisations du constructeur.

En l'absence de règles précises, on peut donner comme recommandations de commencer par les bordures et les fourrières. Les tracés laissés au sol par le passage du tracteur servent de repères d'ouverture et de fermeture du distributeur lors de la fertilisation du reste du champ.

### La norme EN 13739 « Protection de l'environnement »

L'épandage de bordure est encadré par la Norme EN 13739 « protection de l'environnement ». Elle implique de limiter les quantités d'engrais à l'extérieur de la parcelle (moins de 0,3 %), d'assurer une qualité de répartition (écart de dose inférieur à 20 % dans une zone de 5 m avant la bordure) et de justifier d'un

coefficient de transition (CT) inférieur à 25 % dans la zone de transition. La zone de transition se situe entre les deux premiers passages d'épandage et le bord du champ.

Il existe deux types d'épandage de bordure possibles sur les distributeurs d'engrais, reconnus par la norme :

- la bordure rendement, plutôt recommandée lorsque la parcelle touche une autre parcelle de culture,
- la bordure environnement, préconisée à proximité des fossés, des cours d'eau, des routes et des habitations.

*Le logo, lorsqu'il est apposé sur le distributeur d'engrais, indique la présomption de conformité du distributeur à la norme EN 13739, y compris pour les bordures.*

### Le principe d'épandage de bordures des distributeurs à projection (centrifuges et pendulaires)

Le principe d'épandage pose un problème quand il s'agit d'épandre de l'engrais en bordure de champ sans équipement spécifique d'épandage de bordure :

- Soit la bordure est sous-dosée si l'on ne veut pas avoir d'engrais à l'extérieur de la limite du champ.
- Soit il y a projection d'engrais à l'extérieur du champ avec risque de pollution et perte d'engrais.



Figure 3.9 : Principe de l'épandage de bordure.

Pour ne pas projeter l'engrais en dehors de la limite du champ et pour épandre une dose régulière dès le premier passage, il est fortement conseillé d'utiliser un appareil équipé d'un dispositif d'épandage de bordure.

### Contour du champ Épandage en bordure

#### *Avec dispositifs d'épandage de bordure*

Deux solutions existent pour réaliser l'épandage de bordure soit en effectuant un passage depuis la bordure soit depuis le premier jalonnage. Les constructeurs proposent plusieurs types d'équipement et la possibilité d'effectuer une bordure de type « environnement » ou une bordure de type « rendement ». La bordure de type « environnement » est utilisée quand la bordure jouxte un cours d'eau et la bordure « rendement » lorsqu'elle est contiguë à une autre parcelle.



Photo 3.13 : Épandage de bordure "environnement".



Photo 3.14 : Dispositif d'épandage de bordure relevé.

Il est recommandé de suivre les préconisations du constructeur pour le réglage et la mise en œuvre du dispositif de bordure. En cas de bordure "environnement" il est conseillé de réduire la dose du côté de la bordure.

#### *Sans dispositif d'épandage de bordure*

Pour les appareils ne possédant pas de dispositif d'épandage de bordure, il est fortement recommandé de faire le premier passage de la bordure à une distance égale à la demi-largeur totale d'épandage, en fermant le disque côté bordure, de façon à ce qu'il y ait une dose nulle à l'extérieur de la limite du champ. Cela implique un sous dosage en bordure qui supprime tout risque de pollution.

#### *Ouverture et fermeture du débit en bout de champ*

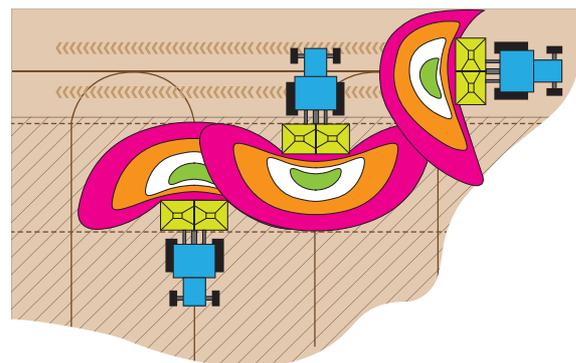


Figure 3.10 : Positions du tracteur aux ouvertures et fermetures en bout de champ.

Les épandeurs d'engrais centrifuges projettent l'engrais vers l'arrière sur une distance qui correspond en général à la largeur de travail. Il faut donc tenir compte de ce fait en ce qui concerne l'instant d'ouverture et de fermeture du débit en bout de champ pour bien fertiliser tout en évitant les projections d'engrais en dehors de la parcelle

- **au départ** : L'ouverture des trappes doit se faire à une distance égale à la largeur de travail, à partir du passage de fourrière.
- **à l'arrivée** : La fermeture des trappes doit se faire en arrivant sur le passage de fourrière.

Dans tous les cas, se référer aux préconisations du constructeur.

## Les dispositifs de bordure

Plusieurs solutions techniques existent chez les différents constructeurs pour réaliser l'épandage de bordure depuis le premier passage de pulvérisateur ou depuis la bordure

du champ. Les dispositifs de bordures sont censés remplir les exigences de la norme en suivant les recommandations du manuel du constructeur.

Ces dispositifs sont présentés dans le tableau ci-dessous ■

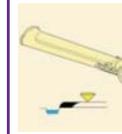
Type de dispositif	Inclinaison de l'appareil	Disque de bordure	Orientation et longueur des pales	Inversion du sens de rotation	Variation de la vitesse de rotation	Variation du point de chute	Déflecteurs	Déflecteur sur tube oscillant
<b>Photos</b>								
<b>Description du dispositif</b>	Un vérin hydraulique sur l'attelage permet d'incliner latéralement le distributeur.	Un disque plat « spécifique bordure » limite la distance de projection.	Des pales sur le disque sont modifiées en longueur et en orientation.	Des pales permettent d'épandre en plein champ ou en bordure (généralement à droite).	Un moteur hydraulique par disque équipé d'un limiteur de débit variable.	Une pale courte spécifique alimentée spécialement pour faire les bordures.	Plusieurs déflecteurs multidirectionnels au travers desquels l'engrais va passer.	Un déflecteur limite la projection sur un côté.
<b>Principe de fonctionnement</b>	Inclinaison du distributeur depuis la cabine. L'engrais est projeté moins loin du côté de la bordure.	L'agriculteur change un des deux disques sur son distributeur d'engrais.	L'utilisateur raccourcit la longueur des pales et/ou leur orientation.	En inversant le sens de rotation des disques, l'engrais est projeté par la face "bordure" (opposée à la face "plein champs") des pales.	En diminuant la vitesse de rotation d'un disque et en corrigeant le point de chute, la distance de projection de l'engrais est réduite.	Un vérin électrique permet d'orienter le point de chute de l'engrais sur cette pale spécifique.	L'agriculteur commande hydrauliquement la mise en œuvre du limiteur de bordure, pré-réglé en fonction de la largeur de travail et du type d'engrais.	L'agriculteur remplace le tube oscillant par un tube "bordure".
<b>Particularités</b>	Rien à déréglé au niveau des disques.	Le côté droit ou gauche peut être choisi.	Le choix du côté est possible.	L'agriculteur inverse simplement le sens de rotation des disques du distributeur.	Côté gauche ou droit par variation de la vitesse de rotation depuis le boîtier d'épandage.	L'agriculteur effectue l'opération depuis le boîtier d'épandage de son distributeur.	Une fois réglé, la mise en œuvre se fait depuis le poste de conduite. L'épandage en bordure peut se faire à partir du premier passage.	Convient aux différentes amplitudes (largeurs).
<b>Intérêts pour l'utilisateur</b>	Simple d'utilisation depuis le poste de conduite.	Choix du côté.	Pas besoin de démonter le disque.	Mise en œuvre en actionnant un levier ou depuis le boîtier du distributeur.	Simple d'utilisation depuis le poste de conduite. Les deux côtés sont possibles.	Simple d'utilisation et de conception, depuis le poste de conduite.	Simple d'utilisation pour passer de l'épandage normal à l'épandage de bordure.	Choix du côté

Tableau 3.1 : Dispositifs de bordures des distributeurs centrifuges et pendulaires.

# L'épandage pneumatique

## Principe

Le distributeur d'engrais pneumatique est un distributeur à rampe avec une alimentation mécanique et une projection pneumatique des granulés. Il épand en nappe sur une largeur légèrement supérieure à sa largeur de rampe ou sa largeur de travail.

La quantité d'engrais distribuée lors d'un passage aller est homogène sur la majeure partie de la rampe et décroît rapidement aux deux extrémités de celle-ci.



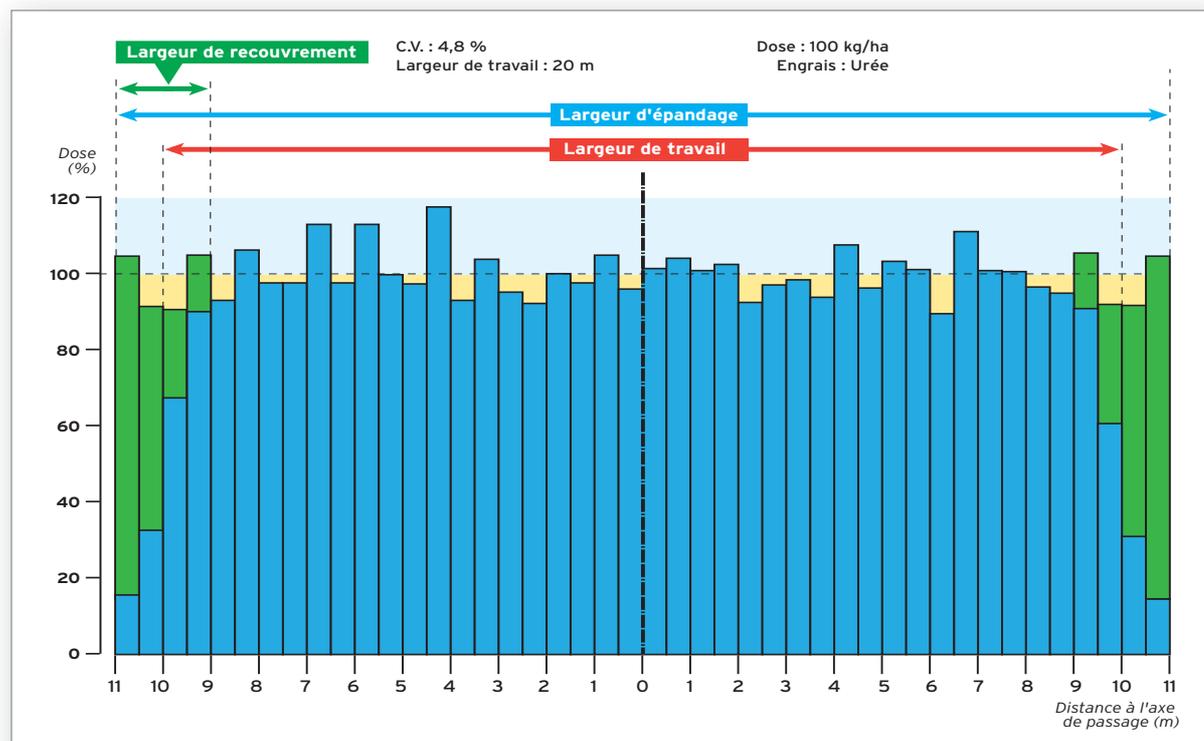
Photo 4.1 : Épandage avec un distributeur pneumatique.

## Répartition et recouvrement

Pour distribuer la même quantité d'engrais en tout point de la parcelle, il est nécessaire de respecter rigoureusement une distance de passage égale à la largeur de travail. Il se produit alors un recouvrement uniquement

aux extrémités des nappes d'épandages qui vient compenser les décroissances d'apport en bout de rampe.

Il est donc important d'avoir un bon jalonnage et de ne pas dévier de la trajectoire.



## Réglage de dose

Le dosage de l'engrais est réalisé par des rouleaux doseurs à ergots. Le réglage de la dose est obtenu à partir du débit en fonction du type de rouleaux et de leur régime de rotation. Ceci détermine avec précision la quantité d'engrais extraite de la trémie et qui sera épandue. Une vérification de ce débit est possible par un contrôle à poste fixe.

Les modèles avec système D.P.A.E amélioreront la précision d'épandage au niveau de la dose/ha. Le système adapte le régime de rotation des rouleaux doseurs en fonction de la vitesse d'avancement. Ainsi, l'agriculteur pourra adapter sa vitesse d'avancement en fonction de l'état du terrain tout en conservant un dosage constant et optimum.

## Modulation - tronçonnement

L'obtention de la dose à épandre étant fonction du régime de rotation des rouleaux doseurs, en modulant leur régime, les apports d'engrais sont modulés.

La commande de modulation électronique peut être manuelle ou automatique (couplée

avec un système embarqué (contrôlé par GPS ou du type N-Sensor,) permettant la modulation de dose. Il est possible d'apporter une dose différente à chaque tronçon pour adapter l'apport au contour de chaque zone de potentiel.

## L'épandage de bordure

Pour épandre avec précision le long des bordures, les épandeurs à rampes peuvent disposer d'un déflecteur de bordure se fixant sur la buse externe qui limite ainsi la largeur de projection.

L'extrémité de la rampe se trouve donc en limite de parcelle.



Photo 4.2 :  
Déflecteur d'extrémité de rampe pour les bordures.

## Gestion des fourrières

De part leur conception et leur mode de distribution les ouvertures et fermetures de débit (mise en marche et arrêt des rouleaux doseurs) se font en limite d'épandage.

● **Au départ** : L'ouverture du débit doit se faire lorsque la rampe est à une distance égale à la demi-largeur de travail à partir du passage de fourrière.

● **À l'arrivée** : La fermeture du débit doit se faire lorsque la rampe arrive à la demi-largeur de travail du passage de fourrière ■

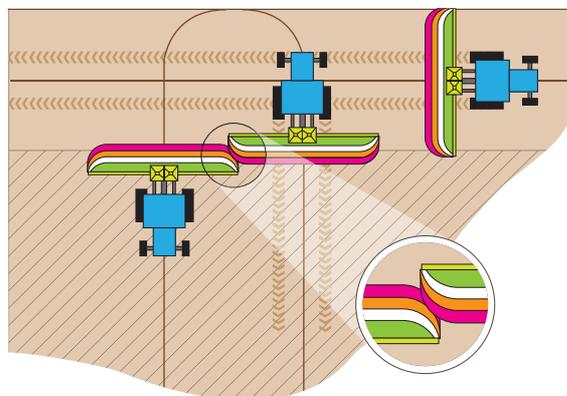


Figure 4.1 : Positions du tracteur et de l'épandeur aux ouvertures et fermetures en bout de champ.

# Les nouvelles technologies en « agriculture de précision »

## Modulation des doses

L'objectif de l'agriculture de précision est d'apporter la bonne dose au bon endroit. Pour ce faire il faut caractériser la variabilité de la parcelle. Cette caractérisation peut être faite au niveau du sol (données pérennes) ou au niveau du couvert végétal (données spécifiques de l'année culturale).

À l'heure actuelle il est possible de moduler la fumure de fonds et les densités de semis à partir des informations liées au sol. Cependant, la modulation la plus pratiquée concerne l'azote à partir des informations liées à la plante (biomasse et teneur en chlorophylle).

### Choix des parcelles pour la modulation

Toutes les parcelles ne peuvent pas faire l'objet d'une modulation. Pour valoriser cette technique, plusieurs conditions doivent être réunies :

- une forte hétérogénéité intra-parcellaire entraînant des variations importantes des préconisations ;
- une bonne structuration de la variabilité, c'est-à-dire la possibilité de distinguer des zones homogènes à l'intérieur de la carte de préconisation ;
- une taille de zones homogènes compatible

avec une gestion modulée des apports, c'est à dire avec la largeur de travail. En France, une parcelle sur deux en blé est intéressante à moduler (apport d'azote tardif) alors que sur colza (deuxième apport d'azote), quatre parcelles sur cinq peuvent faire l'objet d'une modulation.

Des essais (entre 2004 et 2007), en parcelles d'agriculteurs, montrent que dans les parcelles les plus hétérogènes et les plus structurées (variation importante de la dose modulée), le gain de rendement sur blé peut atteindre 3 q/ha.

Ce gain est uniquement dû à une meilleure répartition de l'engrais dans la parcelle lors de l'apport tardif puisque la dose moyenne épandue reste équivalente.

### Comment ça marche ?

Pour moduler un intrant, il faut disposer d'une carte de préconisation. Celle-ci peut être obtenue de trois façons :

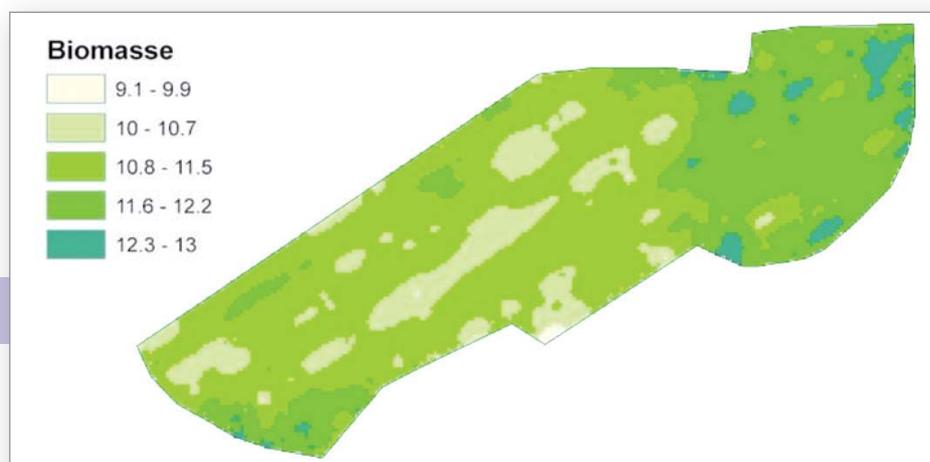


Figure 5.1

Variation d'indice de biomasse d'une parcelle à l'aide du N-Sensor.

## ● *via la connaissance de l'agriculteur*

Ce dernier définit des zones homogènes dans sa parcelle et leur attribue des doses différentes. Pour l'azote sur blé, par exemple il faut calculer la dose d'azote à appliquer, (par la méthode du bilan par exemple) pour chaque zone et donc disposer d'un objectif de rendement et de reliquat azoté sur chacune de ces zones. Cette carte est ensuite matérialisée sur un logiciel qui va transférer l'information vers le boîtier de l'épandeur.

## ● *via les images satellites*

Certains conseils associent les images satellites à des modèles agronomiques (Farmstar par exemple) pour délivrer un conseil directement utilisable par les agriculteurs (carte de dose d'azote pour l'apport tardif sur blé, par exemple). Certains de ces conseils sont envoyés sous format numérique pour réaliser la modulation dans la parcelle. Ils comportent une information de position (longitude, latitude) et de dose en chaque endroit de la parcelle. Les formats les plus courants sont les fichiers txt et des fichiers shp (associé à un dbf et shx) qui peuvent être utilisés par n'importe quel logiciel de SIG (Système d'Information Géographique). Ils sont compatibles et utilisables par la majorité de logiciels



Photo 5.1 : Le N-Sensor visualise l'état de la nutrition azotée de chaque côté du tracteur.

« constructeur » qui vont permettre de les transférer vers le boîtier de l'épandeur. Certains boîtiers d'épandeurs sont capables de les lire directement, sans passer par une console "constructeur".

## ● *via des capteurs embarqués sur le tracteur*

Les capteurs embarqués sur le tracteur permettent de moduler les doses d'azote (N-Sensor par exemple) en instantané en fonction de l'état de nutrition azotée de la plante. Le modèle agronomique est intégré dans la console qui pilote le capteur. D'autres capteurs embarqués permettent de capter la variabilité intra-parcellaire de la végétation mais ne permettent pas de réaliser la modulation de façon simultanée.

## **Modulation manuelle ou automatique**

Pour moduler la dose d'engrais à apporter, deux solutions sont possibles.

● **En version manuelle**, l'agriculteur change de dose en fonction de repères visuels dans la parcelle ou de la carte de préconisation. Visualisé sur un écran de pocket-PC ou un boîtier de constructeur (ou équipementier) lié à un GPS, l'agriculteur voit son tracteur se déplacer dans la parcelle. Il modifie lui-même la dose sur le boîtier de l'épandeur. Les imprécisions de ce système proviennent de la modification des doses :  $\pm 5$  ou 10% de la dose de référence selon les épandeurs. C'est donc une dose approchante qui est épandue. La plus grande source d'erreur peut provenir de l'oubli d'un changement de dose.

● **La solution entièrement automatique**. À l'aide du GPS, le tracteur se localise sur la

carte de préconisation. La dose correspondante à son emplacement est envoyée par le boîtier qui gère la carte de préconisation (boîtier RDS, John Deere, Satplan...) au boîtier de l'épandeur qui va ouvrir ou fermer les trappes en fonction de la dose à appliquer. C'est entre ces deux boîtiers que peuvent se poser des problèmes de compatibilité. Chez certains constructeurs, c'est le boîtier de l'épandeur qui gère directement les cartes de préconisation, évitant ainsi les problèmes de compatibilité. Compte tenu de la lecture automatique de la carte de préconisation, les erreurs sont limitées sauf en cas de problème sur la carte de préconisation elle-même. Cette solution a également l'intérêt de permettre de vérifier, dans la majeure partie des matériels, les doses réellement épandues sur la parcelle grâce à la carte de retour.

## Positionnement dans la parcelle : le GPS

### Précision

GPS signifie Global Positioning System. Ce système, mis en place par le département américain de la Défense en 1978 s'appuie sur un réseau de 24 satellites. Il est opérationnel depuis 1994 pour les utilisations civiles. Il permet à ses utilisateurs de connaître leur position, leur vitesse et l'heure à n'importe quel endroit du globe, 24 heures sur 24. La précision de ce signal varie de 1 à 15 mètres. La position dans une parcelle est déterminée par la distance entre le satellite et le récepteur GPS au sol. Il faut donc recevoir au minimum le signal de 4 satellites.

#### La précision dépend :

- de la qualité du matériel utilisé : un GPS de randonnée sera moins précis qu'un récepteur professionnel. Cela s'explique par la sensibilité du récepteur (horloge, ...) ;
- du nombre de satellites reçus. Plus le nombre de satellites est important et meilleure sera la précision ;
- de la géométrie des satellites. La précision sera meilleure si les satellites sont répartis régulièrement plutôt que tous ensemble ;
- de la présence d'un masque (bâtiment, bois) qui réduit le nombre de satellites visibles ;
- de la présence d'une correction différentielle.

### Systèmes de correction

L'utilisation de corrections différentielles, en temps réel, permet de réduire cette erreur. Elle est calculée en comparant la position d'un point parfaitement connu (balise de référence) à sa position mesurée par les satellites à ce même mo-

ment. Le décalage mesuré est envoyé au tracteur qui va se décaler d'autant. Si la correction est transmise par un satellite géostationnaire, on parle de dGPS (GPS différentiel), si elle est transmise en directe au tracteur on parle de RTK (Real Time Kinematic).

### Critères de choix

La précision varie de 2 à 60 cm entre deux passages de tracteur consécutifs selon la correction utilisée :

- les corrections entre 20 et 60 cm sont conseillées pour les systèmes d'aides au guidage : Des diodes lumineuses ou un écran donnent une information au chauffeur pour le guider dans la parcelle.

Ces systèmes (entre 1 000 et 5 000 euros) sont adaptés à des travaux réalisés à forte vitesse et en grande largeur : épandage par exemple.

- les corrections entre 2 et 10 cm sont conseillées pour les systèmes d'autoguidage : Le tracteur se guide seul dans la parcelle en fonction d'une ligne de référence. Ces systèmes (entre 9 000 et 40 000 euros) sont adaptés à des travaux réalisés à faible vitesse et de petite largeur : semis de précision par exemple.

Si l'on utilise une correction à 60 cm sur un système d'autoguidage, le tracteur risque de slalomer dans la parcelle. De même, il ne sera pas possible pour un chauffeur de suivre les indications données par une correction à 5 cm de précision sur un système à diode. Pour une utilisation de modulation d'intrant seule (sans guidage), toutes les corrections peuvent être utilisées ■

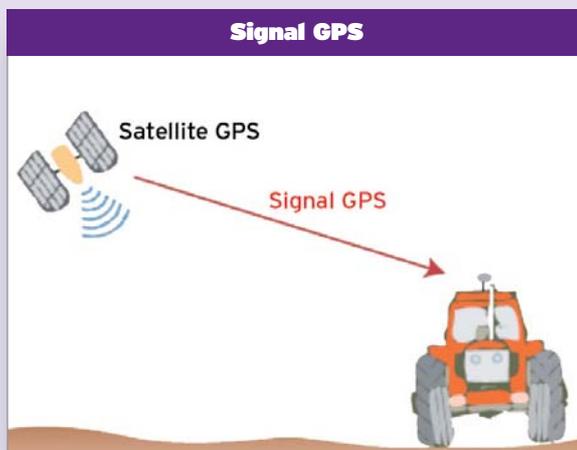


Figure 5.2 : La précision du positionnement peut aller jusqu'à 15 m sans correction.

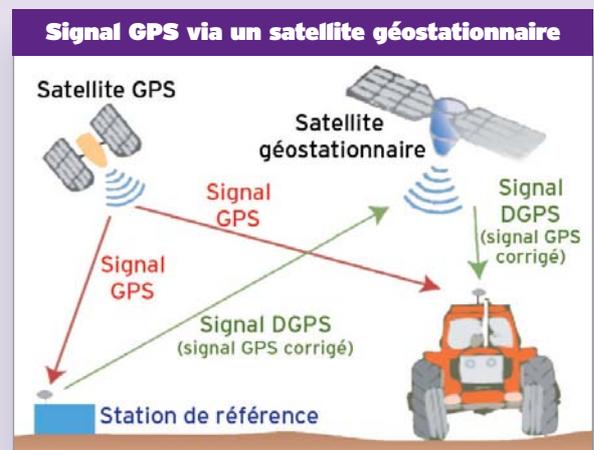


Figure 5.3 : Une correction est nécessaire pour avoir une bonne précision à l'épandage.

## Gestion des recouvrements - Modulation de largeur

### Gestion des recouvrements

L'épandage centrifuge se caractérise par des passages "aller" et "retour" du distributeur générant une zone de recouvrement entre passages. L'optimisation de ce recouvrement permet d'obtenir aux bancs d'essai, un Coefficient de Variation (C.V.) pouvant être inférieur à 10% voire 5%, même en très grande largeur, pourvu que l'engrais ait des qualités physiques adaptées (cf. chapitre 1 sur les caractéristiques physiques de l'engrais).

En épandage au champ, le principe de recouvrement entre deux passages doit être conservé pour obtenir une dose homogène au sein de la parcelle mais il faut en plus tenir compte des recouvrements en bordure et en extrémités de parcelles (fourrières).

S'il est généralement admis, en plein champ que le recouvrement est bon, les passages en bordure, en fourrières, et en pointes de parcelles génèrent quant à eux des zones moins bien fertilisées, sous et sur-dosées.

D'autres paramètres peuvent également avoir une influence négative sur la répartition au champ : une erreur de jalonnage par exem-

ple, ou un obstacle au milieu de la parcelle (pylônes, ...) occasionnant une déviation de la trajectoire.

L'objectif de la gestion automatique des recouvrements est de pouvoir corriger ces erreurs au cours de l'épandage pour réduire au maximum les surfaces des zones sous- ou sur-fertilisées.

Ainsi, pour notre exemple sur une parcelle de 22 ha, les surfaces concernées par des zones sous ou sur-fertilisées représentent 22 % de la surface totale avant optimisation et elles sont réduites à 15 % après optimisation (tableau 5.1).

Les intérêts de la gestion des recouvrements sont :

- **Environnementaux** : réduction des zones sur-fertilisées ;
- **Économiques** : optimisation de chaque unité fertilisante et meilleur rendement ;
- **Agronomiques** : réduction des risques de verse et amélioration de la qualité de cultures (taux de protéines...).

La gestion automatique des recouvrements est d'autant plus intéressante que les parcelles sont de petites tailles et de formes non géométriques.

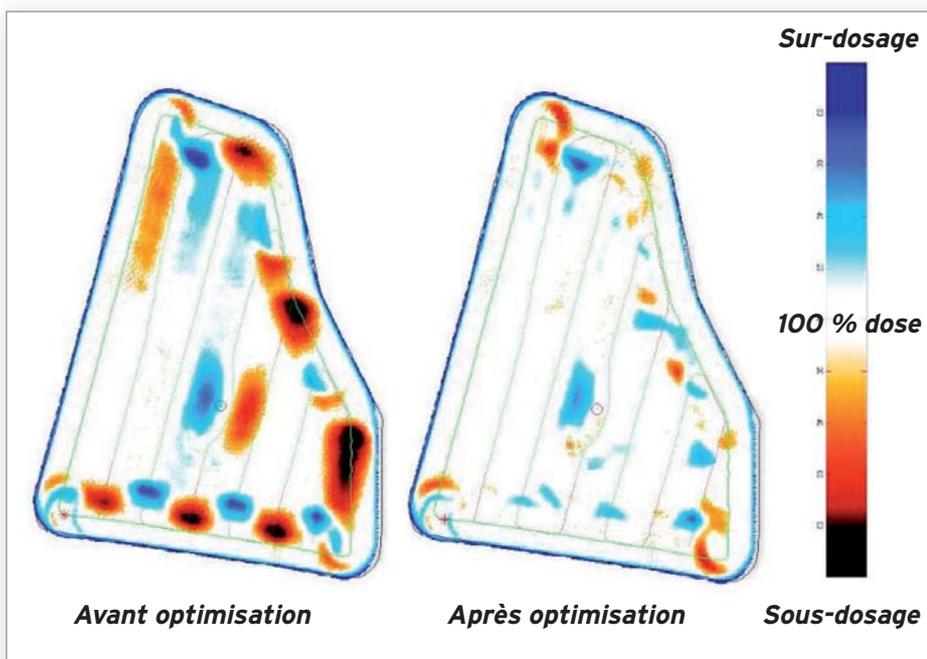


Figure 5.4

Exemple de parcelles avant et après optimisation du recouvrement.

% de la surface d'une parcelle correctement dosée <sup>(1)</sup> <b>avant optimisation</b>	% de la surface d'une parcelle correctement dosée <sup>(1)</sup> <b>après optimisation</b>
<b>78 %</b>	<b>85 %</b>

<sup>(1)</sup> On considère la dose comme étant correcte si elle est à + ou - 15 % de la dose de référence.

Tableau 5.1 : Résultats comparatifs avant et après optimisation du recouvrement.

### Modulation de largeur

Pour pouvoir moduler le recouvrement, il faut pouvoir faire varier la largeur de travail à distance. Les techniques développées par les constructeurs s'y prêtant le mieux sont :

- la modification du point d'alimentation des disques en engrais
- la modification de la vitesse de rotation des disques (plateaux animés par des mo-

teurs hydrauliques ou électriques indépendants, à droite et à gauche).

Pour que le distributeur puisse moduler automatiquement, il faut un géo-référencement suffisamment précis de la machine au travail (positionnement GPS) et un pré-enregistrement du contour de champ afin de déterminer la position relative de la machine dans la parcelle.

## Gestion des contours et des bouts de champs

Ces systèmes de gestion des contours et des bouts de champs permettent de régler automatiquement la largeur de travail par "zones" dans les pointes, ainsi que les ouvertures et fermetures automatiques des trappes de débit en bout de champ. Selon les cas, l'entraînement hydraulique des plateaux faisant varier la vitesse de rotation des disques, ou la modification du point de chute de l'engrais, permettent de moduler la largeur de travail.

### Le contour de la parcelle est réalisé en premier

Dans certains cas le contour de la parcelle est réalisé en premier afin que le système détermine automatiquement la zone d'épandage et délimite les zones d'ouverture et de fermeture.

Le distributeur est alors réglé en mode d'épandage "bordure".

En passage en mode "plein champ" l'ordinateur de bord détermine ensuite la **vitesse de rotation idéale de chaque plateau** en fonction de la position GPS de la machine pour adap-

ter la largeur d'épandage à la zone restant à fertiliser.

**En bout de champ**, l'ouverture/fermeture des trappes de débit est immédiate et automatisée grâce au géo-positionnement. Cette ouverture/fermeture varie :

- selon la largeur de travail programmée,
- selon que l'utilisateur arrive en bout de champ ou en reparte.

### Le contour de la parcelle est réalisé en dernier

Dans d'autres cas le premier passage est effectué en plein champ car il sert de référence aux passages suivants (le passage de bordure sera effectué en dernier). Le système va alors enregistrer le niveau de la nappe d'engrais apporté et le mémoriser à chaque position géo-référencée du distributeur.

Ce système va alors moduler, en temps réel le recouvrement des nappes en tous points de la parcelle. A partir de l'enregistrement de la forme de la nappe et de sa position en temps réel au passage "aller", il adapte la forme de la nappe, au passage "retour" afin d'obtenir le meilleur recouvrement.

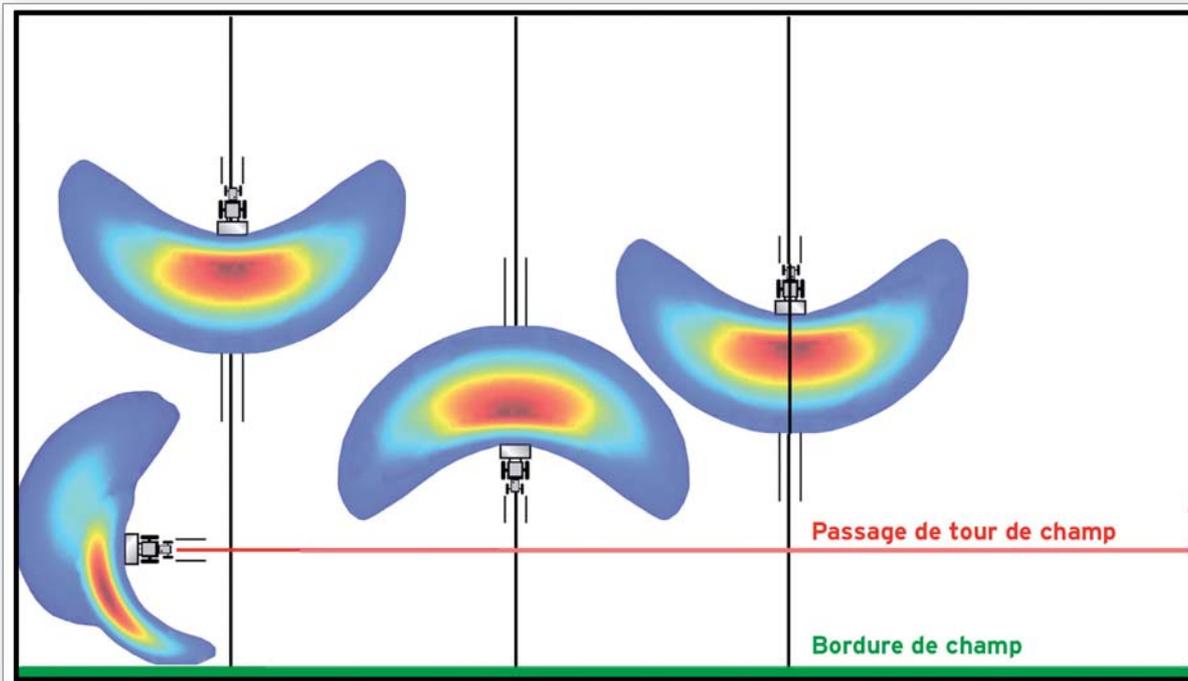


Figure 5.5 : Gestion automatisée des contours en fin de parcelle.

Il mémorise ces différentes nappes / position pour adapter les réglages aux passages suivants. **L'utilisateur termine son travail par la bordure de la parcelle** où le système d'épandage de bordure s'enclenche automatiquement pour optimiser l'épandage du côté concerné. De l'autre côté, côté intérieur de la parcelle, le système adapte le débit et la largeur de travail de façon à corriger la nappe d'épandage aux zones déjà fertilisées.

**En bout de champ**, l'ouverture / fermeture des trappes de débit est entièrement auto-

matisée, à condition d'avoir préalablement géo référencé la parcelle et paramétré le système de commande d'ouverture / fermeture en fonction de la nappe et de la position de l'antenne GPS.

Le paramétrage du système de commande d'ouverture / fermeture prend en compte :

- la forme des nappes correspondant à l'engrais utilisé et à la largeur d'épandage.
- le positionnement de l'antenne GPS sur le tracteur et sa position par rapport aux disques d'épandage. ■

## Les contrôles au champ

### Constat sur les pratiques d'épandage

Des essais réalisés dans les années 2000, dans le cadre d'une opération de diagnostic de fonctionnement des distributeurs d'engrais, ont montré un besoin d'amélioration des pratiques d'épandage.

Sur 72 % des appareils testés, les réglages doivent être améliorés car ils présentent une répartition hétérogène. Dans ces situations, un ou plusieurs paramètres de réglages doivent être améliorés.

Par ordre d'importance, il s'agit :

- du réglage de la largeur d'épandage (69%)
- d'un problème de trappes (39%)
- du régime prise de force (26%)
- de l'attelage de l'appareil
- de disques ou pales non adaptés

(source Dynatest DSM Agro).

Les résultats montrent que le réglage de la largeur de travail est le problème le plus fréquent, soit par manque de références sur le produit, soit par un réglage de la largeur inadapté à l'engrais.

En modifiant le réglage de la largeur et en effectuant un contrôle de répartition avec des bacs, on retrouve un bon épandage.

Les autres problèmes constatés peuvent être résolus en se conformant aux critères de réglages définis par le constructeur, et en maintenant un appareil en bon état de fonctionnement.

Ces constatations montrent donc tout l'intérêt d'effectuer des autocontrôles, les besoins de formation, et la nécessité de réaliser des tests complets permettant d'obtenir des réglages optimaux.

### Les contrôles sur le terrain

Des méthodes de contrôle de terrain ont été développées afin de compléter les résultats acquis aux bancs d'essais. Elles apportent la possibilité d'ajuster le réglage optimal, en fonction de l'engrais, pour la largeur testée, et de vérifier que l'appareil ne comporte pas de défauts majeurs liés à l'usage ou à une pièce défectueuse.



Photo 6.1

Mesures et descriptif pour bien préparer la machine aux mesures de répartition.

Elles présentent aussi l'avantage d'apporter une formation à l'agriculteur lorsqu'elles sont réalisées par des techniciens spécialisés.

Il existe différentes méthodes d'aide au réglage au champ adaptées à la précision et à la rapidité souhaitée. Ces méthodes utilisent des bacs - de 3 bacs au minimum jusqu'au banc complet - pour faire un autocontrôle minimum ou maximum afin d'optimiser le réglage.

## Précautions à prendre avant de réaliser ces contrôles

### Conditions climatiques et de terrain

Réaliser les essais :

- par temps sec ;
- avec vent inférieur à 15 km/h ;
- sur terrain plat et uniforme (bacs bien à plat) ;
- sur terrain avec couverture végétative basse ou souple pour éviter les rebonds de granulés ;
- avec des bacs munis de cloisons anti-rebonds.

### Conditions d'essais

- contrôler préalablement l'état et le fonctionnement de l'ensemble des organes à droite et à gauche (trappes, agitateurs, disques, pales, etc...) ;
- vérifier le régime de la prise de force ;
- ajuster les réglages de base (hauteur, aplomb, inclinaison) selon les données du constructeur ;
- vérifier la vitesse d'avancement ;
- pendant le test, s'assurer que la nappe d'épandage couvre l'aire de collecte des granulés ;
- si le test nécessite un passage retour, respecter les mêmes bases qu'à l'aller ;
- bien respecter le jalonnement (distance de passage).

### Le matériel utilisé

Pour recueillir les granulés, il faut disposer de bacs munis de croisillons anti-rebonds. Ces bacs peuvent être fournis ou disponibles auprès du constructeur, sous forme de kit comprenant plusieurs bacs, des éprouvettes, une notice explicative et d'interprétation.

## Méthodologie de contrôle

### Méthodes pratiques de contrôle de recouvrement

Ce sont les méthodes souvent préconisées par les constructeurs ou mise en place par les techniciens (cf. la méthode ESTER en annexe).

Ce sont des méthodes rapides à mettre en œuvre, faciles à utiliser.

Elles utilisent de 3 à 16 bacs normalisés de 0,50 m x 0,50 m, sur un passage simple sur un côté ou avec un aller-retour.

Le contenu recueilli dans chacun des bacs est vidé dans les éprouvettes fournies. Le contenu est éventuellement pesé. Il faut s'assurer que la dose est suffisante pour permettre une interprétation.



Photo 6.2 : Passage au dessus des bacs pour la mesure de la répartition transversale sur un côté.

Les explications concernant la disposition et l'interprétation des résultats sont fournies avec les kits et les méthodes proposées.

Reportez vous systématiquement aux indications données par le constructeur.

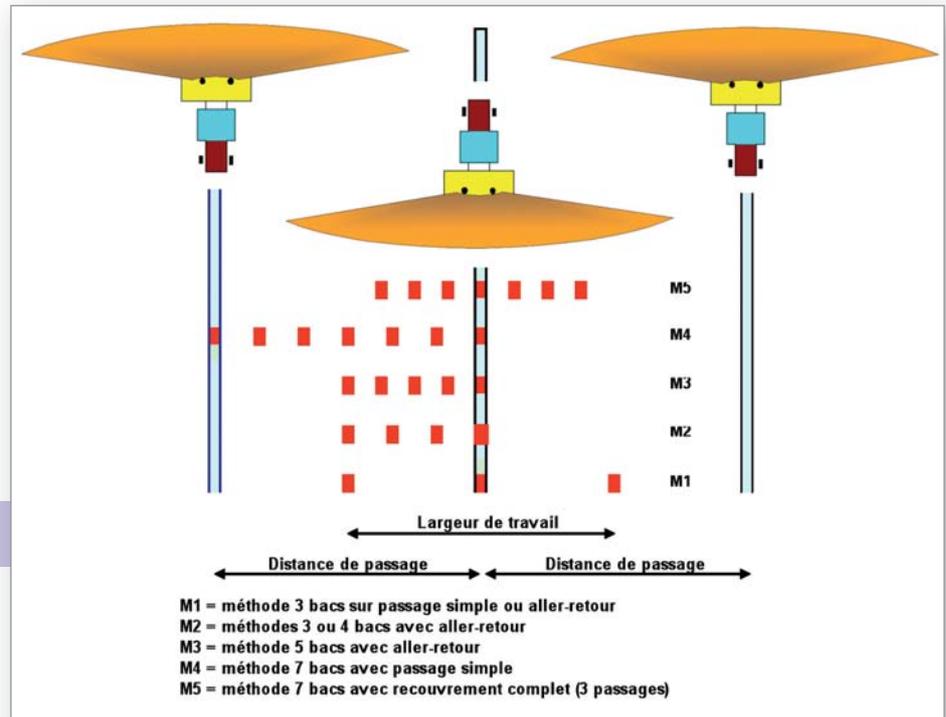


Figure 6.1

Exemple de différentes méthodes de contrôle du recouvrement.



Photo 6.3 : Recueil de l'engrais épanché dans des bacs normalisés.

#### La méthode ESTER

La méthode "ESTER" est une méthode d'essai développée dans le cadre d'une démarche globale ayant pour objectif de rationaliser et d'encadrer les ESSAIS de TERRAIN (ESTER). C'est donc une méthode d'essais labélisée et identifiable par son logo (cf Annexe 3).



#### Les méthodes complètes de contrôle de la répartition transversale

Ces méthodes sont la transposition directe des méthodes d'essai utilisées en halls de tests et adaptées au terrain. Elles permettent donc d'effectuer des mesures plus approfondies, de calculer le coefficient de variation, permettant de qualifier les contrôles de répartition obtenus. Grâce à ces méthodes, il est possible d'affiner encore plus les réglages et de déceler le moindre problème de la machine.

#### Établissement de la courbe de répartition transversale

Pour les méthodes les plus complètes, il faut disposer au sol une ligne continue de bacs perpendiculaires à l'axe d'avancement du tracteur, avec un espace central pour le passage du tracteur.

La longueur de la ligne de bacs doit être comprise entre 1,5 fois et 2 fois la largeur de travail pratiquée.

Le contenu de chaque bac peut être soit pesé, soit mesuré en volume, avec sa référence de distance.

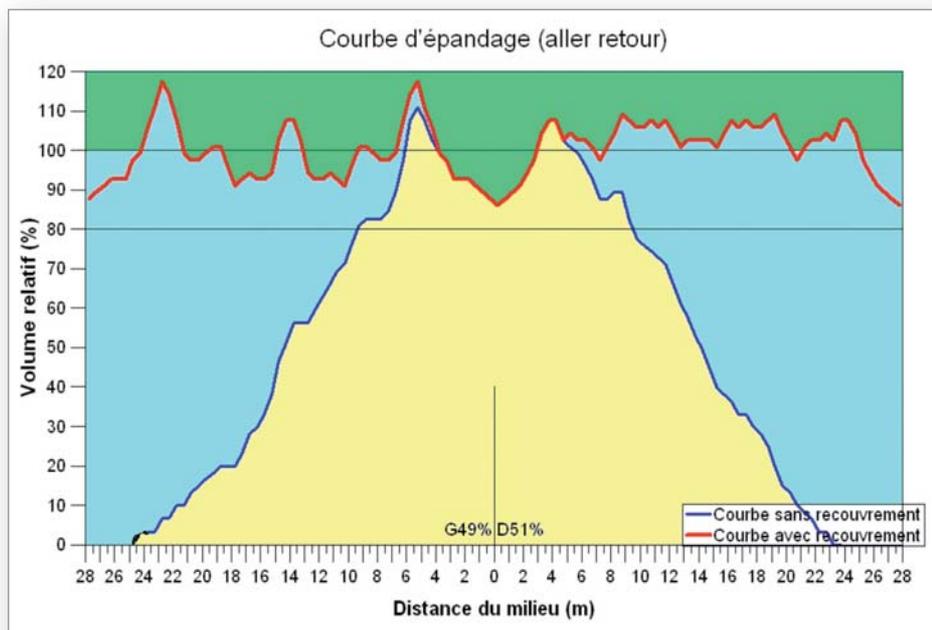


Figure 6.2

Exemple de courbe d'épandage au champ avec CV de 7,1 %.

Les poids ou volumes obtenus permettent de tracer le diagramme de distribution, et ainsi d'obtenir la courbe de recouvrement.

### Calcul du coefficient de variation

Le coefficient de variation (CV) mesure la répartition moyenne de la dose sur la largeur de travail. Le logiciel mesure la courbe d'épandage avec recouvrement, et calcule le CV, avec éventuellement sa courbe correspondante.

Pour les mesures effectuées sur le terrain, le Cemagref a établi une gamme de valeurs permettant de classer le réglage selon les valeurs suivantes :

●  $0 \% < CV < 15\%$  :

La qualité d'épandage est très bonne à bonne.

●  $15 \% < CV < 25\%$  :

La qualité d'épandage est moyenne.

●  $CV > 25\%$  :

La qualité d'épandage est mauvaise et à éviter.

## CONSEILS PRATIQUES

La qualité de l'épandage est dépendante de trois paramètres indissociables que sont l'appareil, le produit épandu, et les réglages utilisés (associé aux conditions de réalisation).

À chaque produit correspond un réglage spécifique, aussi bien pour la dose épandue que pour la largeur d'épandage.

Étant donné les manques de références, l'évolution du lot d'engrais dans le temps, il convient d'effectuer des contrôles sur le terrain pour être certain du réglage. Et ceci dans les conditions réelles de matériel et de produit.

Les différentes méthodes expliquées précédemment peuvent être utilisées. Cela va des méthodes simples des constructeurs que l'agriculteur peut mettre en œuvre lui-même, ou bien des méthodes plus complètes réalisées par des techniciens spécialisés utilisant plus de bacs, et permettant le calcul des courbes d'épandage, de CV, analysant de manière précise le réglage.

### RÈGLES À RESPECTER POUR UN BON ÉPANDAGE

Procédez aux vérifications suivantes avant de partir épandre :

- ne pas épandre par un vent supérieur à 15 km/h (une brise agitant les feuilles) pour un épandage par projection en grande largeur ;
- attendre que le sol soit suffisamment ressuyé pour permettre une vitesse d'avancement régulière, sans patinage ;
- utiliser un produit adapté à sa largeur de travail ;
- vérifier le bon fonctionnement de sa machine (état) ;
- vérifier les équités des ouvertures avant de mettre l'engrais dans la machine ;
- vérifier le régime de la prise de force ;
- ajuster la hauteur de travail selon les préconisations du constructeur ;
- vérifier l'aplomb de la machine ;
- Prendre en compte les effets éventuels d'un pont avant suspendu sur la hauteur de l'inclinaison du distributeur ;
- effectuer un étalonnage de la dose par une mesure de débit ;
- régler la largeur d'épandage selon le carnet, ou les données sur site Internet, ou autres informations ;
- il peut être judicieux d'effectuer ou de faire effectuer un contrôle sur le terrain avec des bacs ;
- bien mesurer et respecter le jalonnement.

### ENTRETIEN

**Avant usage :**

- nettoyer l'appareil ;
- vérifier le bon fonctionnement des parties mobiles ;
- vérifier le bon état des organes d'épandage (disques, pales).

**Après chaque journée de travail :**

- vider et laver l'appareil en évitant les parties électriques ;

- dépoussiérer à sec l'appareil à l'air comprimé lorsqu'il n'est pas trop sale ;

- remplacer les pièces d'usure s'il y a lieu (pales de projection, disques...).

**Avant remisage :**

- vider et laver complètement l'appareil et bien le laisser sécher ;
- graisser/huiler les parties mobiles ;
- entreposer l'appareil au sec sous abri.

## Autres moyens de réglages

### Le carnet de réglage

C'est la base principale que l'agriculteur doit utiliser. Les réglages indiqués ont été mesurés en hall de test. Il est malheureusement impossible pour le constructeur de tester toutes les formules d'engrais existantes. D'autant plus qu'il existe aussi des formules d'engrais de mélange à la carte.

De plus, la qualité physique des fertilisants peut évoluer dans le temps. Les propriétés entre la sortie de la chaîne de fabrication et l'utilisation finale peuvent avoir évolué. Ainsi les réglages peuvent être différents de ceux indiqués par le carnet.

C'est pour cela que le carnet de réglage est une base indicative. Seule, l'utilisation de bacs permet de répondre à une situation donnée, avec son matériel, son produit.

### Les réglages en ligne

Par téléphone, Internet, ou Wap, on peut avoir accès aux tableaux de réglage. Cela permet d'avoir une base de données plus complète et mise à jour. Lorsqu'il existe, ce service est proposé sur les sites web des constructeurs et des fabricants d'engrais pour leurs propres produits. Ces sites sont répertoriés en Annexe 4 à la fin du document.

### Réglages selon échantillonnage

Déterminer les réglages en fonction de son lot de produit. Pour cela deux possibilités :

1 - Envoyer un échantillon de produit (proposé par certains constructeurs).

2 - Mesurer soi-même la granulométrie, la densité et la forme de son produit. Ensuite via le site Internet du constructeur ou le carnet de réglage, on obtient des conseils de réglage par analogie avec des engrais répertoriés dans le tableau ■



## Annexe 1

### Textes réglementaires

- **Directive 91/676/CEE du Conseil du 12 décembre 1991,**  
concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates  
à partir des sources agricoles.
- **Décret 93-1038 du 27 août 1993,**  
relatif à la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole.
- **Arrêté du 22 novembre 1993,**  
relatif au Code des bonnes pratiques pris en application  
du décret n°93-1038 du 27 août 1993.
- **Décret n° 2001-34 du 10 janvier 2001,**  
relatif aux programmes d'action à mettre en œuvre en vue de la protection des eaux  
par les nitrates d'origine agricole.
- **Arrêté du 7 mars 2002,**  
relatif au projet d'amélioration des pratiques agronomiques.
- **Arrêté du 16 septembre 2005,**  
modifiant l'arrêté du 7 mars 2002 relatif au projet d'amélioration  
des pratiques agronomiques.

*Les textes réglementaires listés ci-dessus sont en vigueur à la date de préparation du présent document : le lecteur est invité à s'assurer de leur actualité. Cette liste n'est pas exhaustive de la réglementation s'appliquant aux produits faisant l'objet du présent document : le lecteur est invité à se rapprocher des services officiels compétents en la matière.*

# Annexe 2

## Qualification des entreprises d'épandage



### Fiche Technique de Qualification

## Travaux d'épandage de matières fertilisantes ATEMF

Rédaction	Comité Professionnels d'Attribution « Agricole – Travaux d'épandage de matières fertilisantes »	18 mai 2009
Approbateur	Conseil d'Administration QualiTerritoires	26 mai 2009
Version	Commentaires	Date
V.1	Version initiale	26 mai 2009

Le N° de version en cours est visible sur [www.QUALITERRITOIRES.org](http://www.QUALITERRITOIRES.org)

### QualiTerritoires

Association loi 1901  
Organisme Professionnel de Qualification des Entreprises de Travaux Agricoles, Forestiers et Ruraux  
QualiTerritoires  
44, Rue d'Alésia – 75682 Paris Cedex 14  
Tél. 09 79 21 93 14 - Télécopie 01.53.91.44.85 – Courriel : [infoqlt@qualiterritoires.org](mailto:infoqlt@qualiterritoires.org) – [www.QUALITERRITOIRES.org](http://www.QUALITERRITOIRES.org)

*Les entrepreneurs des territoires ont établi une charte de qualité des épandages,  
labellisée "QualiTerritoires".*

## Annexe 3

### Protocole ESTER



#### LA DÉMARCHE

Un collectif représentant les organismes de la profession, sous l'impulsion du CEMAGREF a initié des groupes chargés d'établir des protocoles d'essais de terrain. Ces groupes et les règles de mise en œuvre des protocoles sont placés sous l'autorité d'un COMITÉ DE PILOTAGE, où siègent un représentant de chaque organisme ainsi que les animateurs de groupe. Une charte a été élaborée à partir des travaux de ce comité de pilotage.

#### *Extraits de la charte « ESTER »*

**LES ORGANISMES COLLABORANT À L'ÉLABORATION DE RÉFÉRENTIELS D'ESSAIS TERRAIN « ESTER »**  
ANITA, APCA, BCMA, CA, Cemagref, CTIFL, FNCUMA, ARVALIS, ITB, ITV, Ministère de l'Agriculture, SECIMA, SEDIMA, SNCVA et SYGMA,

#### CONSTATANT :

- que les utilisateurs de machines agricoles ont besoin de références techniques fiables pour choisir les équipements en toute connaissance de cause;
- que parmi ces références, les performances occupent une place primordiale. Ces performances peuvent être évaluées par des essais en laboratoire dans des conditions de fonctionnement contrôlées. Mais que ces essais de laboratoire doivent souvent être complétés par des essais menés dans les champs dans les conditions réelles d'utilisation, pour prendre en compte l'incidence du milieu sur l'action du matériel ;
- que dans ce domaine, des exigences, garantes de la production de références exploitables, doivent alors être respectées :
  - protocoles formalisés;
  - instruments de mesure précis et fiables ;
  - personnels compétents et indépendants ;
  - conditions d'essai parfaitement identifiées ;

#### ET SOUHAITANT :

- promouvoir les essais de terrain selon des pratiques professionnelles ;
- développer les compétences des intervenants ;
- renforcer le dialogue entre fabricants et utilisateurs ;

#### ONT CRÉÉ :

un réseau de coordination des essais de terrain des agroéquipements piloté par un comité au sein duquel elles sont toutes représentées. Ce réseau coordonne les travaux de groupes spécialisés par type de matériels chargés d'élaborer des **guides pour les essais de terrain** dans un cadre consensuel.

## Domaines concernés par le protocole « distributeurs d'engrais minéraux solides »

### À L'AIDE D'UN DESCRIPTIF :

*L'aptitude à l'emploi.* Par exemple : l'accessibilité aux organes de réglage, la lisibilité et la richesse des documents d'accompagnement et du guide de réglage, la fourchette des débits annoncés, la mise en œuvre d'un dispositif de bordure et lequel, etc.

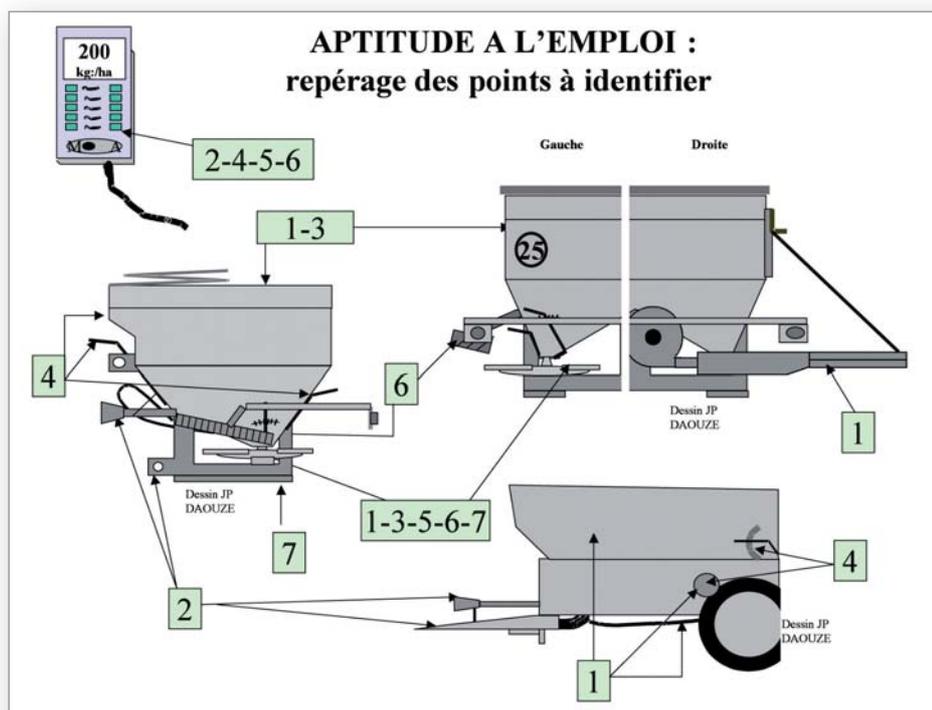


Figure 7.1

*Aide aux observations à réaliser dans la procédure ESTER.*

### À L'AIDE DE MESURES :

- *Le montage des commandes de réglage* : ouverture des trappes, tringleries, équité entre les débits constatés droit/gauche.
- *La précision du réglage de débit*, par pesée pour un temps d'écoulement donné.
- *La précision du dispositif DPA*, le cas échéant, par pesée pour trois consignes de vitesse.
- *La caractérisation de l'engrais* : poids volumique, granulométrie.
- *La qualité de la répartition transversale* par mesure volumétrique, ou mieux, pesée d'engrais, recueilli dans des bacs de 0.5\*0.5\*0.15 m.
  - **Il a été prévu quatre situations distinctes** :
    - Épandage de pleine largeur, cas courant ;
    - Épandage tardif ;
    - Épandage de bordure « environnement ou rendement » ;
    - Épandage par vent latéral en deçà de la tolérance prévue au protocole ou en pente/dévers.



Photo 7.1

Mesure de la granulométrie en boîte à 5 compartiments.

## Dispositif de mesure de la répartition transversale

Le dispositif vise à recueillir l'engrais réparti sur **toute la distance** de projection afin de pouvoir **simuler les distances** de recroisement et en définir l'optimum. Il est applicable par un vent inférieur ou égal à 4m/s (soit 14.4km/h).

Il s'agit à l'origine de **trois rangées** de bacs espacés de 5 m. Les bacs sont distants les uns des autres de 2 m. Le distributeur passe à la hauteur conseillée par le constructeur au dessus des trois rangées alternativement pour recueillir l'engrais épandu sur son coté gauche puis après vidange des bacs sur son coté droit. Après un test de faisabilité, il sera proposé de ramener le dispositif à **deux rangées** afin de disposer d'une largeur supé-

rieure et de pouvoir recueillir simultanément l'engrais distribué par le coté gauche et le coté droit. En effet une perturbation peut altérer le travail d'un sens et pas de l'autre, en cas de séquences de mesures différées entre l'un et l'autre coté.

La présence d'au moins deux rangées de bacs est justifiée par la volonté de **limiter** les imprécisions, **mais pas de les quantifier**.

Le sol est obligatoirement plan (pente  $\leq$  2%), en herbe très rase ou déchaumé. Des chaumes de plus de 3 à 4 cm perturberaient la stabilité des bacs.

L'essai est effectué sur un sol préparé avec une herbe rase.

## Référentiel disponible en ligne

Il est disponible sur les sites des partenaires : BCMA, FNCUMA, CEMAGREF, APCA,

Par exemple à l'adresse suivante : <http://www.bcma.fr>, rubrique essais de terrain.

## Conception par modules

Le guide d'essais de terrain est un guide conçu pour répondre aux besoins des prescripteurs souhaitant effectuer des contrôles de répartition sur des essais ciblés. Les essais sont séparés en modules pour tester les

configurations d'épandages de pleins champs, d'épandage de bordures, d'épandages tardifs, en pente ainsi que les débits. Le sommaire ci-après présente le contenu du guide avec ses différentes fiches.

# Guide d'essai de terrain - ESTER

## Distributeurs d'engrais minéraux

Le présent guide est un référentiel de pratiques et un recueil de modèles de fiches d'enregistrement.

Son objectif est d'aider à la préparation d'essais de terrain de distributeurs d'engrais, à leur mise en œuvre et à l'exploitation des résultats concrétisée par le rapport d'essai.

Les textes de références présentés sont numérotés dans l'ordre chronologique de leur utilisation potentielle lors d'un essai :

**1** - documents relatifs à des actions à mener

avant l'essai en relation avec le matériel (fiche descriptive et fiche de contrôle préalable), avec l'engrais à épandre (enregistrement des caractéristiques) ;

**2** - documents précisant l'environnement de l'essai (parcelle et conditions météorologiques) ;

**3** - documents relatifs à l'essai proprement dit (fiche générale d'essai, procédures diverses pouvant être mises en œuvre selon les objectifs recherchés, fiches d'enregistrement utilisables en cours d'essai) ;

**4** - documents relatifs à l'exploitation des données pour la rédaction du rapport d'essai.

## Sommaire du guide d'essai de terrain ESTER

### Présentation de la démarche.

#### Documents généraux :

- N°1.1 Fiche matériel.
- N°2.1 Fiche parcelle d'essai.
- N°2.2 Fiche conditions météorologiques.
- N°3.1 Fiche générale d'essai.
- N°4.1 Fiche modèle de rapport d'essai.

#### Protocole d'essai des distributeurs d'engrais :

- Paramètres spécifiques aux essais de distributeurs d'engrais minéraux.
- Protocole pour les essais de distributeurs d'engrais minéraux.

#### Procédures :

- N°1.2 Contrôle préalable du matériel.
- N°1.3 Caractéristiques de l'engrais.
- N°3.2 Mesure du débit du distributeur.
- N°3.3 Contrôle de la vitesse de passage du distributeur.
- N°3.4 Vérification du dispositif DPA.

- N°3.5 Implantation du dispositif d'essai.
- N°3.6 Mesure de la répartition transversale à plat sans vent.
- N°3.7 Mesure de la répartition transversale avec un dispositif de bordure.
- N°3.8 Mesure de la répartition transversale en épandage tardif.
- N°3.9 Mesure de la répartition transversale en dévers, en pente ou par vent.
- N°4.1 Exploitation des données de l'essai.

#### Enregistrements :

- N°1.3 Fiche caractérisation de l'engrais.
- N°3.2 Fiche débit du distributeur.
- N°3.4 Fiche répartition transversale, dispositif DPA.
- N°3.6 Fiche répartition transversale, cas général.
- N°3.7 Fiche répartition transversale, dispositif de bordure.

#### Annexes :

- I Glossaire.
- II Textes de référence.

## Annexe 4

### Adresses utiles des organismes

### ayant participé à la réalisation de cet ouvrage

#### Constructeurs de distributeurs d'engrais

##### **KVERNELAND France S.A.**

55, avenue Ampère  
45800 SAINT JEAN DE BRAYE  
Tél. : 02 38 52 42 00 - Fax : 02 38 61 50 75  
[www.kvernelandgroup.com/fr](http://www.kvernelandgroup.com/fr)

##### **SULKY-BUREL**

Rue Fabien Burel - 5220 CHATEAUBOURG  
Tél. : 02 99 00 84 84 - Fax : 02 99 62 39 38  
[www.sulky-burel.com](http://www.sulky-burel.com)

##### **KUHN S.A.**

4, Impasse des Fabriques - 67700 SAVERNE  
Tél. : 03 88 01 81 00 - Fax : 03 88 01 81 01  
[www.kuhn.fr](http://www.kuhn.fr)

##### **AMAZONE**

Zone artisanale du Pays Alnéolois  
28700 AUNEAU  
Tél. : 02 37 91 89 11 - Fax : 02 37 91 89 00  
[www.amazone.fr](http://www.amazone.fr)

##### **JF-LEMKEN-STOLL**

**Importateur  
BOGBALLE et BREDAL**

94, avenue Denis Papin  
45800 SAINT JEAN DE BRAYE  
Tél. : 02 38 61 11 12 - Fax : 02 38 84 03 56  
[www.jflemkenstoll.fr](http://www.jflemkenstoll.fr)

#### Fabricants d'engrais

##### **AGRICULTURE BALTHAZARD & COTTE**

Le Puy Clermont  
03800 GANNAT  
Tél. : 04 70 90 27 27 - Fax : 04 70 90 18 28  
[www.lhoist.fr](http://www.lhoist.fr)

##### **Groupe ROULLIER**

27, avenue Franklin Roosevelt  
35400 SAINT MALO  
Tél. : 02 99 20 65 20 - Fax : 02 99 20 65 01  
[www.roullier.com](http://www.roullier.com)

##### **GPN**

16-32, rue Henri Regnault  
92902 PARIS LA DEFENSE  
Tél. : 01 47 96 97 66 - Fax : 01 47 78 11 60  
[www.gpn.fr](http://www.gpn.fr)

##### **K+S KALI France**

5, rue Gaston Boyer - 51100 REIMS  
Tél. 03 26 84 22 35 - Fax: 03 26 84 22 01  
[www.kalifrance.com](http://www.kalifrance.com)

##### **YARA**

100, rue Henri Barbusse  
92000 NANTERRE  
Tél. : 01 55 69 96 00 - [www.yara.fr](http://www.yara.fr)

##### **DSM Agro France**

119, rue des quarante Mines  
ZAC de Ther - 60000 ALLONNE  
Tél. : 03 44 89 42 00 - Fax : 03 44 02 27 14  
[www.dsm-agro.fr](http://www.dsm-agro.fr)

##### **K+S NITROGEN France**

49, avenue Georges Pompidou  
92593 LEVALLOIS PERRET  
Tél. : 01 49 64 52 10 - Fax : 01 49 64 52 52  
[www.ks-nitrogen.com](http://www.ks-nitrogen.com)

## Organismes autres

### **Chambre d'agriculture de la Marne**

Route de Suippes  
51009 CHALONS EN CHAMPAGNE  
Tél. : 03 26 64 08 13 - Fax : 03 26 64 95 00  
[www.marne.chambagri.fr](http://www.marne.chambagri.fr)

### **ARVALIS Institut du végétal**

Station expérimentale  
91720 BOIGNEVILLE  
Tél. : 01 64 99 22 00 - Fax : 01 64 99 33 30  
[www.arvalisinstitutduvegetal.fr](http://www.arvalisinstitutduvegetal.fr)

### **AXEMA**

19, rue Jacques Bingen  
75017 PAT+RIS  
Tél. : 01 42 12 85 97 - Fax : 01 40 54 95 60  
[www.axema.fr](http://www.axema.fr)

### **CRA Gembloux (B)**

Chaussée de Namur, 146  
B 5030 GEMBLoux Belgique  
Tél. : +32 81 62 71 40 - Fax : +32 81 61 58 470  
[www.cra-wallonie.be](http://www.cra-wallonie.be)

### **CEMAGREF**

Domaine des Palaquins  
03150 MONTOLDRE  
Tél. : 04 70 47 74 10 - Fax : 04 70 47 74 11  
[www.cemagref.fr](http://www.cemagref.fr)

### **UNIFA**

Le Diamant A - 92909 PARIS LA DEFENSE  
CEDEX  
Tél. : 01 46 53 10 30 - Fax : 01 46 53 10 35  
[www.unifa.fr](http://www.unifa.fr)

### **COMIFER**

Le Diamant A - 92909 PARIS LA DEFENSE  
CEDEX  
Tél. : 01 46 53 10 75 - Fax : 01 46 53 10 35  
[www.comifer.asso.fr](http://www.comifer.asso.fr)

### **TRAME BCMA**

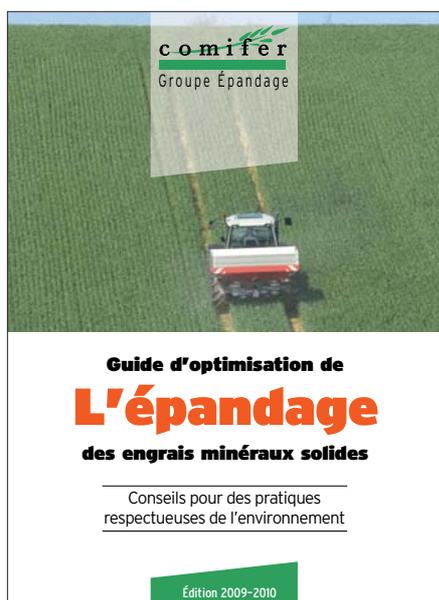
6, rue de la Rochefoucauld, 75009 PARIS  
Tél. : 01 44 95 08 18 - Fax : 01 40 74 03 02  
[www.bcma.fr](http://www.bcma.fr)



# Guide d'optimisation de **L'épandage** des engrais minéraux solides

Conseils pour des pratiques  
respectueuses de l'environnement

c o m i f e r



Comment épandre ? Et surtout comment bien épandre les engrais minéraux solides ? À cette question, ce guide apporte des éléments de réponse en indiquant, après un rappel des différents types d'engrais disponibles sur le marché, le rôle et l'importance des caractéristiques physiques de l'engrais dans la qualité de l'épandage. Des précautions sont mentionnées pour qu'au niveau du stockage ces caractéristiques soient bien conservées. Enfin, les qualités balistiques étant ce qu'elles sont, il est souvent sage de se poser la question de la limite de grande largeur acceptable lors de l'achat d'un nouvel équipement. Celui-ci est le plus souvent un distributeur centrifuge et ce guide rappelle l'importance des réglages pour

la qualité de l'épandage en plein champ mais aussi pour celle en bordures en réponse aux questions posées pour la protection de l'environnement.

Enfin un chapitre sur les nouvelles technologies montre les progrès réalisés en utilisant des automatismes au niveau de la modulation des doses et de la largeur de travail. Plus récemment ces développements se sont portés sur la gestion des bordures et des fourrières, ils sont soit commercialisés soit au stade de recherche.

**L'ÉPANDAGE** - Novembre 2009

ISBN 978-235253-0459

**Prix : 15,00 €**



9 782352 530459

Éditions **Book Emissaire**