

Étude d'outils simplifiés pour la caractérisation physique des fumiers et composts

Jean-François Devaux et François Gaillard

Les volumes de matières organiques solides épandues chaque année en France sont très importants. Les procédés et technologies pour maîtriser les épandages doivent donc évoluer pour diminuer les impacts sur l'environnement et augmenter leur efficacité agronomique.

Dans cet article, les auteurs nous présentent la problématique de la réalisation d'outils de mesure simples et fiables des propriétés physiques des produits à épandre afin d'améliorer le réglage des épandeurs et de mieux respecter les doses d'épandage.

D'une manière générale, la maîtrise des épandages des fumiers et composts consitue une étape importante pour prévenir les pollutions d'origine agricoles. Plus particulièrement, la détermination des caractéristiques physiques des fumiers et composts est décisive pour le réglage correct des épandeurs et donc la maîtrise des doses épandues. Or, si les méthodes de caractérisation de ces produits existent en laboratoire, celles-ci nécessitent des équipements spécifiques assez longs et compliqués à mettre en œuvre, compte tenu des variations fréquentes et importantes des produits à épandre. Ces difficultés sont bien connues des agriculteurs, des CUMA¹ et des entreprises d'épandage qui, finalement, ne disposent pas de moyens adaptés en dehors de leur propre expérience.

Dans le cadre de l'activité du Pôle Épandage Environnement du Cemagref, installé à Montoldre dans l'Allier, où de nombreux tests et analyses en laboratoire et au banc doivent être réalisés pour l'essai des matériels d'épandage de matières organiques, la problématique de la caractérisation physique rapide et suffisamment fiable des produits destinés à être chargés dans les épandeurs (fumier, compost ou boue), est étudiée.

Rappelons que la précision de l'épandage est liée à la capacité du produit épandu à se fragmenter en petites particules et que les propriétés physiques des produits dépendent :

– du type de produit (selon les animaux, leur mode d'élevage, d'alimentation et de litière),

- de son humidité,
- de sa densité,
- de la présence de fibres (nombre, taille et qualité),
- de sa cohésion,
- de sa résistance au cisaillement,
- de son coefficient de frottement, etc.

C'est l'ensemble de ces variables que l'on doit qualifier sous forme de grades ou de chiffres caractéristiques pour ajuster le réglage optimal des épandeurs ou comprendre leur comportement.

L'objectif de l'étude présentée ici est d'évaluer dans quelle mesure il est possible de réaliser des outils simples de mesure des propriétés physiques des produits à épandre, capables de donner des informations utiles pour régler les épandeurs. Après leur qualification, ces outils pourraient alors être à disposition des utilisateurs ou, le cas échéant, vendus avec les épandeurs.

Après un rappel des différentes méthodes classiques de caractérisation des produits organiques, nous abordons dans cet article l'influence de la paille dans la cohésion des produits, puis nous décrivons les résultats d'une étude au cours de laquelle trois procédés simples de mesure rapide ont été conçus et testés ; enfin nous mettons en perspective cette étude en vue du développement d'outils simplifiés et rapides à mettre en œuvre.

1. Coopérative d'utilisation de matériel agricole.

Les contacts

Cemagref, UR
Technologies et
systèmes d'information
pour les agrosystèmes,
Les Palaquins,
Montoldre, 03150
Varenes-sur-Allier

Les dispositifs de mesure existants

Pour caractériser la matière organique, il existe aujourd'hui plusieurs systèmes de mesure avec leurs insuffisances et leur mise en œuvre assez fastidieuse. Parmi les mesures les plus courantes, citons le taux de matière sèche en étuve, la densité, le taux de cohésion, la résistance au cisaillement et la boîte de Casagrande.

Le taux de matière sèche en étuve

Cette analyse classique de dessiccation se fait en 24 heures dans une étuve réglée à 105 °C. La taille de l'échantillon doit être importante pour éviter que l'hétérogénéité du produit fausse la mesure. L'échantillonnage peut se faire par carottage ou à la tranche.

La densité

Le contenu de référence peut être un seau d'une dizaine de litres, mais cette mesure étant très sensible à la taille de l'échantillon, on peut la réaliser également avec une grande caisse remplie avec le chargeur du tracteur. C'est le cas par exemple de la méthode utilisée par la *Swedish Institute of Agricultural Engineering* (1,3 m³). On obtient dans ce cas une bonne répétabilité, mais la méthode est lourde.

Une autre méthode consiste à peser l'épandeur (dont on connaît le volume) une fois chargé. Mais, outre l'importante masse à peser, le résultat peut être très imprécis en raison de l'inégalité de répartition et d'homogénéité du chargement.

Le taux de cohésion

Il peut être mesuré avec un pénétromètre qui mesure la force qu'il faut exercer pour enfoncer sa pointe dans le produit, au fur et à mesure de sa pénétration. Que le pénétromètre soit mécanique (courbe force/course sur papier) ou électronique (courbe ou coefficient de variation), le résultat sera toujours très dépendant du point de mesure. Pour nos essais, nous avons utilisé un appareil muni d'une pointe de 30 mm de diamètre.

La résistance au cisaillement

Elle peut être appréciée grâce au scissomètre : appareil composé d'une tige sur laquelle un jeu de pales est fixé. L'ensemble est enfoncé à la profondeur souhaitée et on applique alors un mouvement de torsion sur la tige qui oppose une résistance croissante jusqu'au cisaillement du produit. L'enregistrement de la valeur maximale

obtenue (à l'aide d'une clef dynamométrique, par exemple) permet de connaître la valeur de cisaillement du produit testé. On rencontre le même souci de répétabilité que pour le pénétromètre. Pour nos essais, nous avons utilisé un appareil muni de pales disposées en croix de 5 cm de large pour 34,5 cm de haut.

La boîte de Casagrande

Cet appareil permet aussi d'évaluer la valeur de cisaillement d'un échantillon placé entre deux demi-coquilles. Dans un premier temps, on exerce une pression perpendiculairement au plan de jonction des deux demi-coquilles, pour compacter le produit ; ensuite, l'une des deux coquilles étant fixe, on exerce alors une force latérale, tendant à faire glisser l'autre parallèlement à leur séparation. En augmentant progressivement cette contrainte, on constate que la résistance de l'échantillon croît, passe par un maximum, puis décroît jusqu'au moment où se produit le cisaillement.

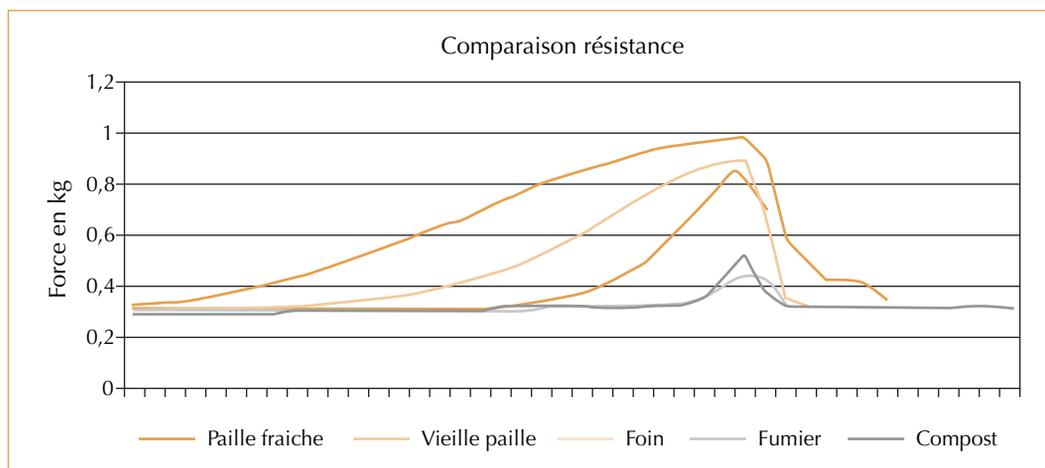
Outils et méthode

Détermination de l'influence des fibres végétales

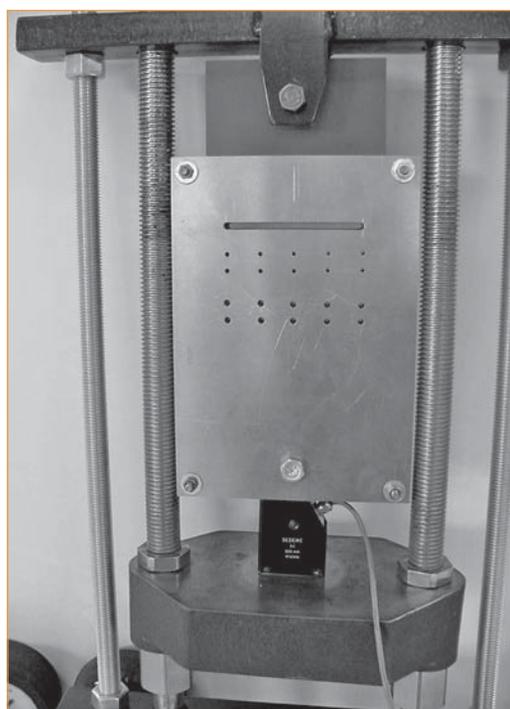
Notre pratique des essais d'épandeurs et notre expérience issue de nos travaux sur la caractérisation des ensilages nous a montré l'importance que jouent les fibres longues (paille, foin...) dans la texture des produits : la présence ou non de brins longs modifie certes logiquement la capacité du produit à se diviser, mais dans des proportions très importantes. En transposant cette approche à l'influence de la paille sur la cohésion des fumiers, il nous a paru indispensable de déterminer un mode de mesure pour quantifier cette résistance. Nous avons tout d'abord réalisé un outil (photo 1) destiné à évaluer « l'effet fibres » pour les échantillons de produits utilisés par la suite pour les tests de mise au point des nouveaux outils présentés ci-après.

Cet outil détermine la solidité des fibres grâce à un capteur de force qui mesure la résistance au cisaillement qu'oppose une plaque mobile glissant entre deux autres plaques fixes, les brins de paille étant au préalable introduits dans des trous alignés dans les trois plaques.

Les indications ainsi obtenues nous ont permis de mieux cerner l'influence du niveau de dégra-



◀ Figure 1 – Influence du vieillissement de la paille sur la force de cisaillement et comparaison avec le foin et des brins extraits du fumier ou du compost.



▲ Photo 1 – Outil de mesure de la résistance au cisaillement des fibres végétales.

ation (vieillesse) des brins végétaux des différents fumiers comme le montre la figure 1.

Les échantillons de produits utilisés pour les essais

Pour la comparaison des outils, nous avons retenu un assortiment de sept tas de matières différentes dont la représentativité était proche des produits

rencontrés dans les exploitations. Les différences entre ces tas apparaissent dans le tableau 1.

Les trois outils mis au point pour l'analyse à l'échelle « macro »

Face à nos objectifs de simplicité et de rapidité de mesure, nous avons cherché à mettre au point et tester différents instruments de « caractérisation globale », capables de déterminer de manière synthétique plusieurs paramètres comme l'humidité, la densité ou la cohésion, le teneur en fibres longues...

Les résultats obtenus avec ces outils ont été comparés avec une combinaison de données obtenues par des mesures effectuées individuellement pour chaque paramètre.

Trois outils sont apparus très prometteurs : le tire-bouchon, la foëne et le pénétro-extractomètre. Ils sont tous les trois basés sur le même principe : la mesure de la force d'extraction de l'outil planté dans le tas.

LE « TIRE-BOUCHON » (PHOTO 2)

C'est une tige d'acier de forme hélicoïdale de 14 cm de diamètre pour 40 cm de hauteur. Après l'avoir vissé dans le matériau à caractériser (comme un tire-bouchon), il suffit de l'extraire verticalement du tas et de mesurer la résistance opposée à l'extraction du produit.

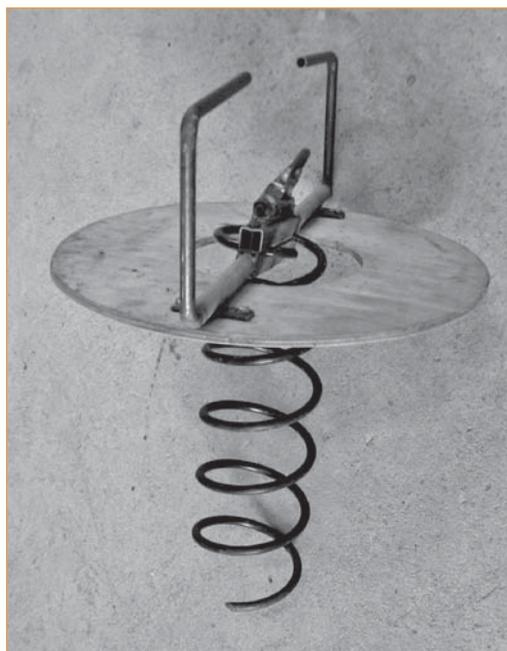
LA « FOËNE » (PHOTO 3)

C'est une sorte de harpon constitué d'une lame triangulaire de 12 cm de large pour 60 cm de hauteur, garnie de dents dont les pointes sont

Tas	1	2	3	4	5	6	7
Type	Compost	Fumier	Compost	Compost	Compost	Compost	Co-compost
Origine	Raclage couloir stabulation Cemagref	Stabulation Cemagref	Usine de Paray-le-Monial (71)				
Paille au moment du paillage		Brins longs		Brins courts	Brins longs	Brins longs	Non : déchets végétaux et ménagers fermentescibles
Quantité de paille		6 kg/UGB*/j		9 kg/UGB/j	6 kg/UGB/j	6 kg/UGB/j	
Traitement	Non	Non	Non	Non	Non	Oui avec Cobiolitière	
Couverture	Sans	Sans	Bâche non tissée	Bâche non tissée	Bâche non tissée	Bâche non tissée	Bâche non tissée
Année	2004	2005	2004	2005	2005	2005	2005

* Unités de gros bovins.

▲ Tableau 1 – Caractéristiques des 7 tas de l'expérimentation.



► Photo 2 – Le « tire-bouchon ».

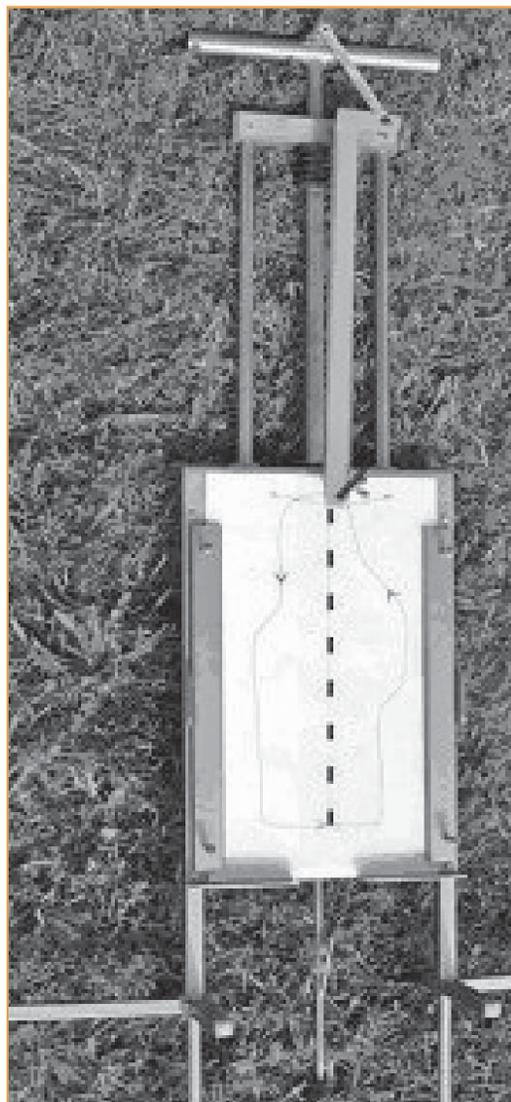


▲ Photo 3 – La « foëne ».

dirigées vers le haut. Enfoncée dans le tas, elle oppose une résistance à l'extraction que nous mesurons.

LE « PÉNÉTRO EXTRACTOMÈTRE » (PHOTO 4)
Il a été réalisé à partir d'un pénétromètre manuel à enregistrement sur feuille de papier, utilisé

pour étudier le sol. La pointe et les ressorts de compensations ont été modifiés pour mesurer et tracer la courbe liée aux efforts d'extraction en plus des efforts de pénétration.



▲ Photo 4 – Le « pénétroextractomètre ».

Résultats

Informations fournies par le tire-bouchon (figure 2 et photo 5)

La comparaison des résultats d'essai avec les mesures individuelles classiques nous permet de remarquer que le tire-bouchon présente une courbe de même allure que la courbe obtenue par la combinaison de la matière sèche et des résultats donnés par le pénétromètre. On a donc avec le tire-bouchon une information qui prend en compte l'humidité du produit (taux de matière sèche) et sa cohésion (résistance à la pénétration



◀ Photo 5 – Le tire-bouchon après extraction.

mesurée au pénétromètre). Cette courbe marque pour le tas 2 une augmentation de valeur assez prononcée ; c'est la présence de paille dans le fumier qui gêne l'arrachement et augmente donc la valeur de l'effort mesuré. La mesure obtenue avec **le tire-bouchon nous donne une information sur l'humidité, la cohésion et la proportion de brins longs solides.**

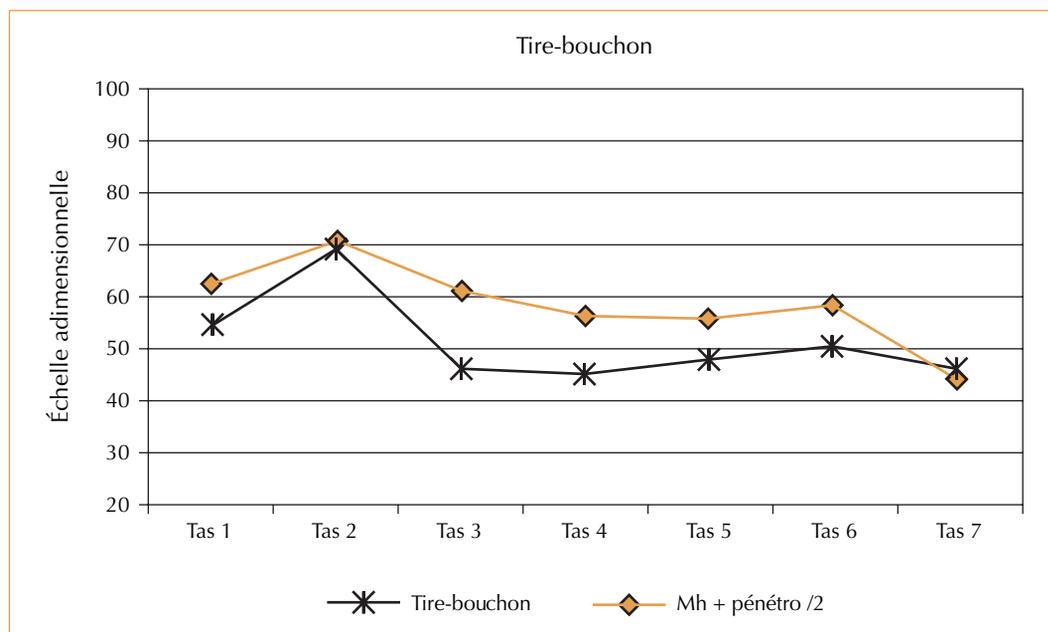
Informations fournies par la foëne (figure 3 et photo 6)

La foëne comparée aux mesures individuelles classiques présente une courbe de même allure que la courbe obtenue par la combinaison de la matière sèche et des résultats donnés par le scissomètre (figure 3). On a donc, avec la foëne, une information qui prend en compte l'humidité du produit (taux de matière sèche) et sa cohésion (résistance à la pénétration mesurée au scissomètre). Cette courbe marque, comme pour le tire-bouchon sur le tas 2, une augmentation de valeur très prononcée ; c'est la présence de paille dans le fumier qui gêne l'arrachement de l'outil en s'accrochant dans les dents et augmente ainsi la valeur de l'effort mesuré. La mesure obtenue avec **la foëne nous donne une information sur l'humidité, la cohésion et la proportion de brins longs solides.** Ce constat est comparable à celui que nous avons fait avec le tire-bouchon mais ici, notre valeur de référence pour la cohésion provient du scissomètre et non pas du pénétromètre. Cette référence au scissomètre peut présenter l'intérêt d'une information obtenue de manière plus dynamique qu'avec un pénétromètre.

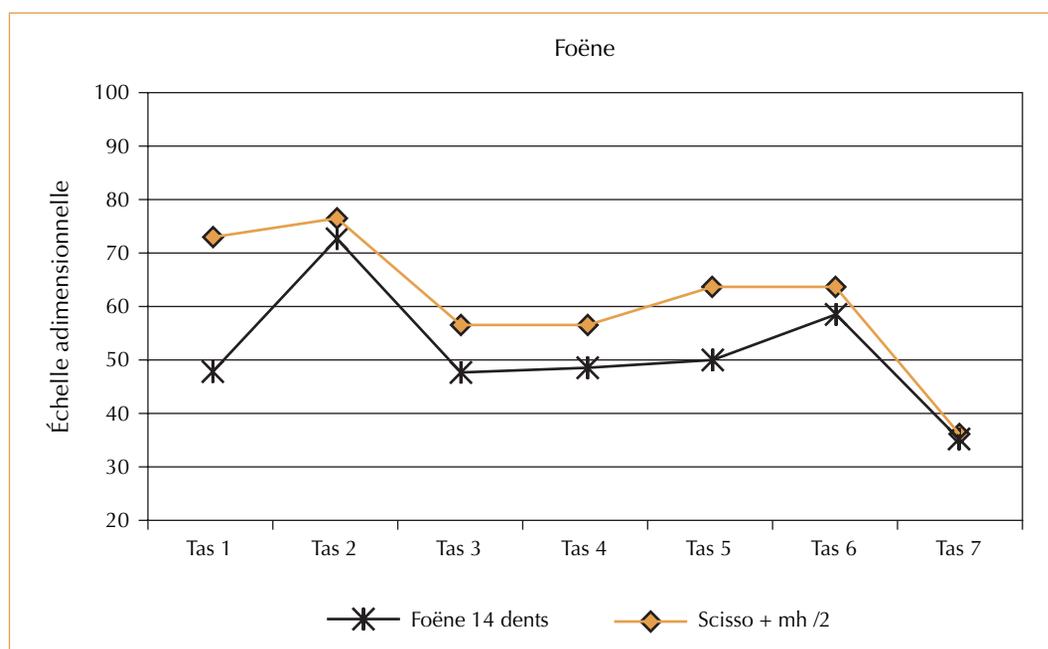
REMARQUE SUR LA PRÉSENCE DE BRINS LONGS SOLIDES

Pour différencier l'influence des brins longs de celle de l'adhésivité du produit, nous avons utilisé

► Figure 2 – Valeurs obtenues avec le tire-bouchon comparées à la demi-somme de mesures classiques.



► Figure 3 – Valeurs obtenues avec la foëne comparées à la demi-somme de mesures classiques.



2. Le terme « foëne sans dents » est ici un raccourci de langage, car par définition, une foëne est un instrument à dents.

parallèlement une foëne sans dents², pourvue seulement d'une lame triangulaire lisse de même taille que celle avec dents.

En pratiquant, dans nos essais, l'introduction de cette lame lisse dans le tas, au plus près (10 à 15 cm) de la foëne munies de dents, nous avons

pu vérifier que la résistance à l'extraction que nous mesurons est liée pour une part au « colant » du produit (lame lisse), et pour une autre part à la résistance des fibres (foëne à dents) qui s'accrochent dans les dents en accroissant l'effort de remontée.



▲ Photo 6 – La foëne chargée de paille après extraction.

Cette résistance accrue est mise en évidence pour le tas 2 dans le graphique de la figure 4 ; ce tas est du fumier de stabulation à brins longs (tableau 1) dont la résistance à l'extraction de la foëne à dents est ici de 73 daN, soit 16 à 28 % de plus que pour les autres produits.

C'est aussi sur le tas 2 que l'écart-type est des plus importants, montrant bien que le matériau testé est très hétérogène et que la répétabilité est une gageure, quel que soit le dispositif de mesure. Il faudra toujours prendre les résultats comme une indication et les utiliser dans des classes qui se chevauchent.

On remarque aussi sur ce graphique un écart notable entre la foëne à 14 dents et la foëne sans dents pour le tas 5, qui indique là aussi une présence de brins longs. Le tableau comparatif des

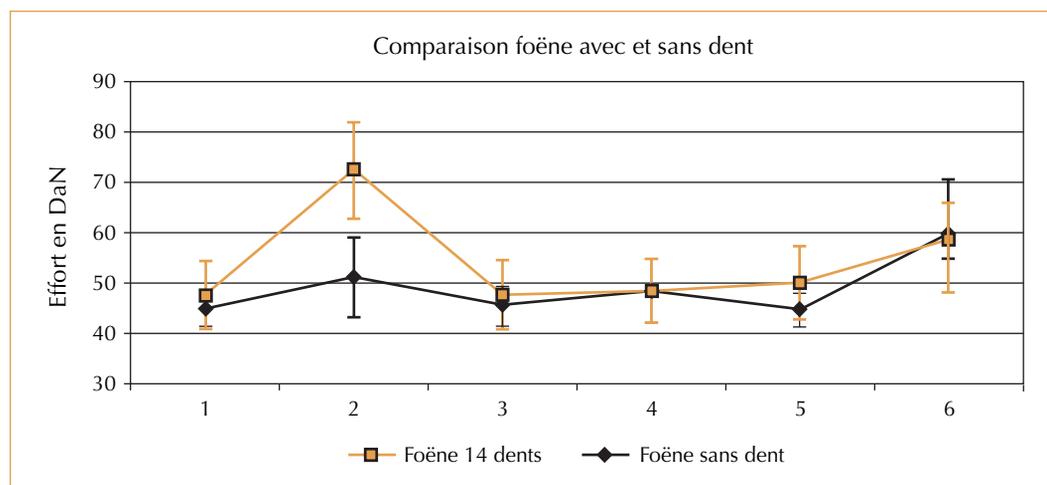
tas confirme, malgré le compostage, la présence de brins longs résistants.

Dans les autres tas, les brins sont soit courts (cas des tas 1 et 4), soit dégradés (cas des tas 3 et 6), et donc de résistance moindre (se reporter à la courbe de résistance au cisaillement de la figure 1). Le vieux compost (tas 3) et des brins longs du tas 6, traité avec un produit bactérien de compostage, illustrent bien cette dégradation.

Informations fournies par le pénétromètre

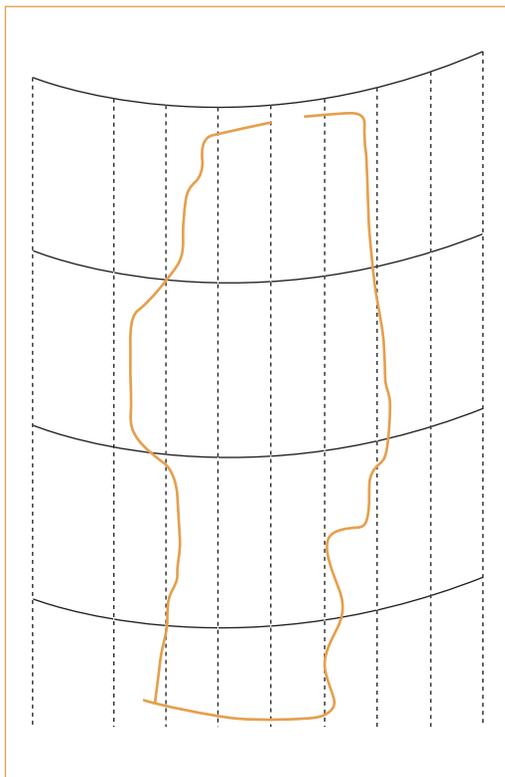
La force qu'il faut exercer sur la pointe dont on équipe un pénétromètre ordinaire tout au long de sa descente restitue une information sur la cohésion. L'appareil que nous avons réalisé nous fournit toujours cette information, mais nous l'avons équipé d'une « pointe de flèche » à la place du cône de 30 mm habituellement utilisé pour le fumier.

Dans cette configuration, la résistance à la descente est moindre bien que toujours sensible aux zones « dures ». C'est lors de la remontée que la différence est notable par rapport à un pénétromètre classique. En effet, en plus de l'information sur d'éventuelles zones dures, s'ajoute une information sur la présence ou non de brins longs résistants qui s'opposent à la remontée de la pointe. Plus le produit est compact, plus le tracé à gauche de la descente s'écarte de l'axe médian (figure 5). Plus le produit contient de brins longs résistants, plus le tracé de la courbe de droite s'éloigne de l'axe médian (figure 5). Les zones d'effort sont parfois situées à la même profondeur,



◀ Figure 4 – Courbe d'effort d'extraction des foënes avec et sans dents des 6 tas.

► Figure 5 –
Courbe obtenue
avec le péné-
tractomètre.



mais ce n'est pas toujours le cas ; l'humidité du produit en est probablement la cause.

Discussion

Les trois outils étudiés ont un point commun : la mesure de l'effort d'arrachage. De nombreux essais sont encore à faire avec des produits variés pour parvenir à qualifier des outils suffisamment fiables et trouver des solutions améliorantes.

La **foëne** serait *a priori* l'instrument le plus simple à mécaniser puisque, contrairement au tire-bouchon, il n'y a pas de rotation lors de mise en œuvre. Des mesures avec des dents en nombre différent (nous n'avons travaillé qu'avec 10 ou 14 dents pour le moment) ou de formes différentes nous permettront de progresser vers la structure idéale. Une mesure de l'effort au moment de

l'enfoncement jouerait le rôle du pénétromètre. Cette mesure associée à celle de l'arrachement permettrait d'être plus précis. En pratique, on pourrait par exemple envisager un outil de base avec un choix de lames dentées correspondant aux principales catégories de produits.

Le **tire-bouchon** n'a pu être testé qu'avec un seul diamètre. Il serait également nécessaire de tester d'autres prototypes pour affiner l'influence du diamètre ou de l'écartement des spires. Cet outil n'a été testé qu'en arrachement alors que des mesures en pénétration seraient très instructives. Ainsi, il serait intéressant de mesurer la force nécessaire pour faire remonter les spires à l'intérieur du tas, en continuant par exemple de faire tourner le tire-bouchon dans le même sens que pour l'enfoncer, mais en bloquant sa course par un disque-butée placé en partie haute.

Le **pénétré-extractomètre** est très facile d'emploi, mais l'information sous forme de courbe papier n'est pas très exploitable sans une certaine expérience de l'opérateur. Les informations cohésion et présence de brins longs résistants sont bien présentes, mais avec une présentation différente des deux systèmes précédents.

Perspectives

Ces nouveaux outils, et tout particulièrement la foëne à dents, sont intéressants car ils ouvrent la voie à une grande simplification de la caractérisation des fumiers, des composts ou autres solides organiques hétérogènes. L'acquisition, en une seule manipulation, des valeurs relatives à l'influence des brins longs et solides dans le produit, en plus des facteurs habituels de densité, cohésion ou humidité, devrait conduire à une amélioration sensible de la conduite des épandages.

L'objectif de proposer une méthode « rapide et facile à mettre en œuvre » est en bonne voie et, le cas échéant, ces travaux peuvent concourir à la définition d'une norme, sans toutefois oublier que la répétabilité des mesures est en revanche illusoire dans des tas hétérogènes. □

Résumé

Dès qu'il désire réaliser des essais ou des tests d'épandage avec des fumiers et composts, un opérateur est confronté à la difficulté d'évaluer les caractéristiques physiques des produits. Il existe aujourd'hui des outils ou des méthodes, parfois normalisées, pour appréhender le taux de matière sèche, la densité, la résistance au cisaillement, la présence ou non de brins végétaux longs... Mais aucune de ces mesures individuelles ne permet de qualifier globalement le produit et leur mise en œuvre est longue et compliquée. C'est l'association de plusieurs de ces données qui peut fournir une appréciation des propriétés physiques du produit utilisé. Un outil synthétique, qui fournirait lors de son emploi une information globale regroupant plusieurs des paramètres simples de caractérisation serait très utile. C'est ce que nous avons recherché dans cette étude, à partir de la mesure de l'effort nécessaire à l'arrachement du produit à épandre.

Abstract

As soon as the operator wishes to realize attempts or tests of spreading with manures and composts, he is confronted with the difficulty in evaluating the physical characteristics of the products. Today there are tools or methods, sometimes standardized, to estimate the dry matter rate, the density, the shear strength, the presence or not of long vegetable bits... But none of these individual measurements makes it possible to qualify the product overall and their implementation is long and complicated. It is the association of several of these data which can provide an appreciation of the physical properties of the product used. A synthetic tool, which would provide an aggregate information, at the time of its employment, gathering several of the simple parameters of characterization would be very useful. It is what we sought in this study, using the measurement of the effort necessary to extract from the product to spread.

Bibliographie

- BODET, J.-M., BOUTHIER, A., 2006, Produits résiduels organiques – Une valeur fertilisante à ne pas négliger, *Perspectives Agricoles*, n° 326, p. 29-43.
- LANDRY, H., LAGUE, C., ROBERGE, M., 2004, Physical and Rheological Properties of Manure Products, *Applied Engineering in Agriculture*, vol. 20(3), p. 277-288.
- PICAUD, D., 2001, *Importance des caractéristiques des fumiers sur les performances d'épandage*, mémoire ingénieur des techniques agricoles, ENITA Clermont-Ferrand, 40 p.
- PIRON, E., BAUDEZ, J.-C., CHABOT, F., 2003, *Écoulement des produits dans les épandeurs à fond mouvant – Mise en évidence de la relation qualitative entre les caractéristiques mécaniques du produit et celles de la caisse de l'épandeur*, 49 p.
- THIRION, F., CHABOT, F., ANDELER, D., 1999, Physical characterisation of animal manure, in *Ramiran 98 – FAO : 8th international conference on management strategies for organic waste use in agriculture*, Rennes 26-29 mai 1998, p. 457-469.