

Valorisation des boues traitées en lits plantés de roseaux : premiers retours d'expérience des curages-épandages sur quelques stations françaises

Alain Liénard ^a, Stéphane Troesch ^b, Pascal Molle ^a, François Thirion ^c,
Philippe Héritier ^c, Jean-Christophe Baudez ^c et Dirk Esser ^b

En 2001, l'agence de l'eau Seine-Normandie a réalisé une étude sur le traitement des boues en lits plantés de roseaux. Les résultats ont été présentés à la huitième conférence internationale de l'IWA¹ à Arusha en 2002 (Lesavre *et al.*, 2002). Les informations recueillies portaient sur un échantillon représentatif des stations d'une capacité comprise entre 200 et 12 000 EqH². Cette étude a permis de dégager une image de l'état du parc français, des règles de dimensionnement utilisées ainsi que des performances obtenues. Dans cet article, ces résultats sont résumés et intégrés à des informations plus récentes obtenues dans le cadre d'une convention entre l'Ademe³ et le Cemagref portant sur les qualités rhéologiques des boues issues des lits de séchage plantés, d'une part, et l'étude de l'homogénéité de leur épandage ainsi que des risques de reprise éventuelle des roseaux sur les parcelles agricoles, d'autre part. Dans un premier temps nous abordons la caractérisation mécanique des boues traitées et les indicateurs de stabilité biologique, puis nous décrivons le processus de curage des lits et d'épandage. Enfin, nous apportons une réflexion sur la dissociation du curage et de l'épandage au regard du statut des boues.

La caractérisation mécanique des boues issues de lits de séchage plantés de roseaux

Les données nécessaires à obtenir pour apprécier l'aptitude à l'épandage des boues sont les suivantes :

- le seuil de contrainte, qui délimite les régimes solide et liquide du matériau. Cette grandeur sera déterminée à l'aide du *slump-test* (annexe 1, extrait de Baudez *et al.*, 2002) ;
- le pouvoir collant de la boue, qui permet d'évaluer si le matériau va adhérer aux outils ou au contraire s'il va être facilement projeté (annexe 2 et *cf.* article de Héritier *et al.*, Le chaulage des boues : qualité du mélange et impact sur ses propriétés mécaniques, p. 33-40 de ce même numéro) ;
- la compressibilité du matériau, qui débouche sur la détermination du module de rigidité et de la limite élastique des échantillons (annexe 3) ;
- les efforts de cisaillement nécessaires pour rompre le matériau, qui seront mesurés à l'aide d'une boîte de Cassagrande (annexe 4).

Les contacts

a. Cemagref Lyon,
UR QELY, Qualité des
eaux et prévention des
pollutions, 3bis quai
Chauveau, CP 220,
69336 Lyon Cedex 09
b. SINT, Société
d'Ingénierie Nature et
Technique, 5 rue Boyd,
73100, Aix-les-Bains
c. Cemagref Clermont-
Ferrand, UR TSCF,
Technologies et
systèmes d'information
pour les agrosystèmes,
Domaine
des Palaquins,
03150 Montodre

1. International Water Association.

2. Équivalents-habitants.

3. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.

4. Syndicat intercommunal d'assainissement du Pays d'Albion.

5. Cf. article de Liénard *et al.*, Traitement des boues par lits plantés de roseaux : rappels des points clés de cette technique, p. 41-49 de ce même numéro.

▼ Tableau 1 – Caractéristiques des lits de séchage et des boues qui y ont été prélevées fin août 2007.

Contexte

Les mesures ont été réalisées au Cemagref de Montoldre sur deux échantillons provenant des lits de séchage de la station d'épuration du SIAPA⁴ à Andancette (Drôme)⁵. Les échantillons prélevés fin août 2007 sont issus d'un mélange de prélèvements réalisés dans les horizons superficiels et profonds des lits D et F de cette station, les principales caractéristiques sont résumées dans le tableau 1. La charge de matière sèche (MS) reçue par les lits a été voisine de 25 kg de MS.m⁻².an⁻¹ au cours des deux premières années. Elle correspond à la phase normale de développement-acclimatation des roseaux qui s'est étalée sur une année et demie. Le lit F a ensuite été alimenté à 50 kg de MS.m⁻².an⁻¹, alors que le lit D a reçu une charge moindre pour vérifier d'éventuelles différences de comportement d'une part, et aussi parce que

la station est sous-alimentée d'autre part, et ne permettrait pas d'alimenter tous les lits à pleine charge.

Les échantillons ont été prélevés au cours de périodes de repos, assez longues (respectivement 97 et 51 jours pour les lits D et F). La hauteur de boues dans chacun de ces lits n'est que de 30 et 40 cm et la revanche encore disponible dépasse 1 m, ce qui laisse encore un temps de chargement d'environ 4 à 5 ans pour le lit F qui recevra toujours une charge proche de 50 kg de MS.m⁻².an⁻¹, afin de mesurer sur une longue période la croissance de la hauteur du stock de boues et sa colonisation par de nouveaux rhizomes et racines.

Résultats

Les boues analysées possèdent un seuil de contrainte très élevé (de l'ordre de 3 200 Pa.) : cette valeur est proche de celles mesurées avec des boues chaulées qui auraient des siccités supérieures à celles-ci qui sont encore relativement humides (entre 19 et 26 %). Nous voyons d'ailleurs que les valeurs obtenues sur deux échantillons prélevés dans chacun des lits diffèrent sensiblement. L'échantillonnage est par conséquent crucial dans ce genre d'étude pour avoir des données représentatives de l'ensemble d'un lit de séchage.

Du point de vue structurel, ces boues peuvent être considérées comme un matériau solide, en dépit des faibles teneurs en matière sèche qui sont voisines de celles d'une boue pâteuse classique pour laquelle on obtiendrait un seuil de contrainte oscillant entre 100 et 500 Pa selon la composition de la matière organique. La teneur en eau n'est donc pas un facteur discriminant pour le choix de l'épandeur le mieux adapté ; l'utilisation d'un épandeur traditionnel est possible. Les racines et rhizomes des roseaux contenus dans la boue participent à la bonne structure du matériau et, indirectement, aux transformations biochimiques que la matière organique a subies au cours des trois années et demie où elle a été au contact de la rhizosphère et de sa vie microbienne active qui ont modifié sa texture. Une phase d'humification a vraisemblablement lieu dans les couches profondes du lit qui sont les plus vieilles, étant donné que la boue se dépose par strates successives. À la fin de ce processus, la boue peut donc s'apparenter à un humus principalement composé de matières organiques stables difficilement dégradables, notamment parce qu'elles

	Lit D	Lit F
Années	Doses annuelles apportées (kg MS.m⁻².an⁻¹)	
2004	19	22
2005	23	24
2006	35	50
2007 (jusqu'à fin août)	36	43
Moyenne des 4 années (kg MS.m ⁻² .an ⁻¹)	28	35
Temps de repos depuis dernière alimentation (jours)	97	51
Qualité des boues		
Hauteur de boue (m)	0,30	0,40
MS (% de matière brute)	26,4 (22,9)*	19,4 (22,8)*
MV** (% de MS)	62,9	62,9
Caractéristiques rhéologiques des boues		
Seuil de contrainte – Slump-test (Pa)	3243	3225
Module élastique (Pa)	234	447
Raideur (N.m ⁻¹)	2 564	4 257
Cohésion (kPa)	0,75	1,09
Angle de frottement interne (tan phi)	0,1148	0,0489

* Valeurs de MS trouvées sur l'échantillon transmis à Montoldre, comparativement à celle d'un autre échantillon prélevé simultanément et analysé par l'exploitant.

** MV : matières de vidange.

sont composées de longues chaînes carbonées et ramifiées, comme les débris celluloseux et ligneux. La partie flétrie des roseaux, progressivement enfouie d'année en année dans la masse de boue, a vraisemblablement un rôle encore mal connu dans la minéralisation et la structuration de la boue ; il importe donc, encore, de souligner l'importance du développement végétal. Du point de vue physique, à l'image du corps humain pourtant majoritairement composé d'eau, ces éléments forment un vrai squelette qui confère à la boue sa structure solide : toute la matière organique labile, polymères à courtes chaînes, a disparu ; seuls subsistent les éléments les plus « rigides ».

Concernant la raideur, celle d'une boue chaulée (semblable à de la pâte à modeler) à 5 % est de 220 N.m⁻¹ et celle d'une boue chaulée à 20 % (franchement solide, comme un sol glaiseux sec) est de 7 500 N.m⁻¹. Avec des valeurs comprises entre 2 500 et 4 200 N.m⁻¹, la boue étudiée résiste bien à la compression, tout en n'étant absolument pas collante : c'est donc un matériau bien structuré et peu déformable.

Les valeurs de cohésion et d'angle de talus sont relativement faibles, ce qui indique que la boue résiste mal au cisaillement, contrairement à la compression. À titre de comparaison, les boues issues de lits plantés de roseaux se situent, du point de vue de la cohésion et de l'angle de frottement interne, entre le compost sec (3 kPa et tan(phi) = 0,3) et le fumier (23 kPa et tan(phi) = 0).

En outre, les deux échantillons ont des teneurs en eau peu différentes, la même contrainte seuil, mais une cohésion et un angle de frottement interne différents : le lit F est plus cohésif mais

a un angle de talus plus faible, ce qui signifie qu'il est plus « souple » et qu'il a davantage tendance à s'affaisser sous une contrainte. Il est plus élastique, ce qui explique sa cohésion plus importante : les liaisons entre l'eau et la matière solide sont vraisemblablement moins rigides et peuvent donc davantage se déformer.

Pour prendre pleinement en compte ce que devraient être les caractéristiques d'une boue au moment du curage après sept à huit années de séjour dans des lits de séchage correctement dimensionnés et exploités, il faudrait refaire des analyses sur des échantillons provenant de sites choisis sur ces critères ou sur de nouveaux échantillons d'Andancette, mais uniquement prélevés dans les trente derniers centimètres près du fond des lits pour que les effets induits par la rhizosphère soient plus marqués.

Autres indicateurs de la stabilité biologique des boues de lits de séchage plantés de roseaux

La stabilité de la matière organique peut être décrite comme le degré de biodégradation au-delà duquel l'activité biologique est fortement ralentie et ne redémarre pas.

Aussi, outre le caractère structuré des boues dû au processus d'humification, leur stabilité peut également être appréciée par un certain nombre d'indicateurs physique, chimique ou biochimique. Afin d'évaluer cette stabilité sur les boues extraites des lits de séchages, différentes analyses ont été effectuées, sur le produit prélevé sur un horizon profond (des lits F et G) après une période de repos d'environ trois mois (tableau 2), représentatif de la qualité « finale » à l'issue d'une

	Lit F	Lit G
Charge moyenne des 4 années, depuis les 1 ^{ères} alimentations (en kgMS.m ⁻² .an ⁻¹) y compris période d'acclimatation-développement	35	30
Temps de repos depuis dernière alimentation (jours)	100	86
Matière sèche (% de matière brute)	24,5	23,1
Matière organique (en % de MS)	58,8	62,3
Rapport C/N _{total}	8,5	7,3
ISB (%)	93,2	90,4
Potentiel de minéralisation du carbone en 91 jours	26,7 %	18,9 %
Matière organique stable (en % de MO)	73,3 %	81,1 %

◀ Tableau 2 – Caractéristiques des lits de séchage et de la stabilité des boues prélevées en mai 2008.

6. Agence française de normalisation.

période d'alimentation de plusieurs années avant la phase de curage. Les analyses ont consisté en l'évaluation de :

- l'indicateur de stabilité biologique (ISB) (Linères et Djakovitch, 1993) et son pendant (non discuté ici), la caractérisation biochimique de la matière organique (CBM). Ces deux indicateurs normalisés (Afnor⁶, 2005) reposent sur le fractionnement de la matière organique en un ensemble de familles biochimiques (fraction soluble dont les sucres, hémicellulose, cellulose, cellulose, lignine, matière minérale) dont la composition est reliée à la stabilité du produit. La stabilisation est expliquée par la disparition des fractions cellulosiques et hémicellulosiques présentes dans le produit initial et la concentration relative de la lignine au cours du traitement. Ils donnent, tous deux, le pourcentage de matière organique potentiellement résistante à la minéralisation lors d'un retour au sol (Trémier *et al.*, 2007) ;

- la cinétique de minéralisation du carbone de boues issues de lits de séchage dans un mélange de terre agricole (selon le projet de norme NF XPU 44-163). Cette mesure permet d'évaluer (au même titre que l'ISB) le pourcentage de matière organique stable, potentiellement transformable en humus, capable d'enrichir le sol après épandage.

7. Matière organique.

Pour les deux échantillons, les indices de stabilité biologique montrent des produits stabilisés, dont plus de 90 % de la MO⁷ est potentiellement résistante à la minéralisation. Ces valeurs d'ISB se rapprocheraient de celles observables sur des tourbes (80-100 %). Ces boues épandues sont ainsi susceptibles d'améliorer les propriétés physiques du sol par apport d'humus stable lors de la dégradation de la MO, mais comme elles sont relativement pauvres en matière organique, cet apport sera faible. Toutefois, l'ISB basée sur une corrélation entre composition biochimique et stabilité d'un produit, peut montrer une grande variabilité selon l'origine du substrat, d'autant plus que cette méthode a été mise au point pour des composts de déchets verts qui ne sont pas comparables aux boues des stations d'épuration.

En complément de cet indicateur, la cinétique de minéralisation du carbone montre également qu'une part notable de la matière organique est stable (résistante à la minéralisation et potentiellement transformable en humus). Toutefois, contrairement aux résultats de l'ISB, les valeurs du potentiel de minéralisation du carbone pla-

cent les produits issus des deux lits à la limite de stabilisation, le seuil étant fixé à environ 20 %. Notons à titre de comparaison que le coefficient de minéralisation de l'humus stable est de 2-3 %, celui des composts de végétaux est compris entre 5 et 15 % et celui des composts de boues et de fumiers se situe entre 15 et 30 %. Donc, les boues de lits de séchage plantés de roseaux peuvent, de ce point de vue, potentiellement se comparer à un compost de boues au sens de la norme 44-095 dans lequel l'addition d'un structurant ou co-composant de type végétal est obligatoire (Afnor, 2002). D'autres analyses seront évidemment encore nécessaires pour étayer et valider cette comparaison sur un échantillon plus large.

Le rapport C/N est parfois aussi considéré comme un indicateur de stabilité dont les valeurs donnent lieu à diverses interprétations en fonction de la potentialité de la boue à libérer plus ou moins rapidement de l'azote utilisable par les plantes. Le C/N initial de la boue d'Andancette est voisin de 6 et se trouve donc dans la partie basse des valeurs de boues d'effluents urbains (pour lesquelles la fourchette est comprise entre 6 et 11) et il croît puisque le C/N final des échantillons prélevés est supérieur à 7 dans le tableau 2, ce qui traduit vraisemblablement une élimination active de l'azote.

Néanmoins, tous ces paramètres peuvent difficilement être utilisés comme indicateurs de stabilité et constituent davantage des outils permettant d'évaluer l'impact agronomique des produits lors de leur apport au sol.

D'autres mesures, comme le test de minéralisation du carbone ou l'activité respirométrique des produits considérés permettent de mieux approcher la stabilité. Le principe de cette dernière technique repose sur la mesure et l'interprétation du taux de consommation biologique d'oxygène du produit placé dans une enceinte fermée avec des conditions favorables à l'activité biologique. Des valeurs faibles et constantes de ces cinétiques de consommation d'oxygène constituent une indication de la stabilité de la matière organique (Trémier *et al.*, 2007). Ces données permettent également d'évaluer, dans des conditions expérimentales maîtrisées, la quantité de matière organique biodégradable. De telles mesures respirométriques seront engagées au Cemagref de Lyon pour préciser cette notion.

Enfin, la commission U44A de l'Afnor a pris la décision, en 2007, de créer une norme unique

pour les deux méthodes de caractérisation de la MO. Le nouvel indice unique qui remplacera l'ISB et la CBM a été baptisé ISMO (indice de stabilité de la matière organique) ; il devrait aussi intégrer des tests de respiration.

Le curage des lits

La destination courante des boues est l'épandage sur terrains agricoles à des doses établies en fonction des textes réglementaires et selon un plan d'épandage préétabli.

Afin de faire un point aussi complet que possible :

- cinq rapports de vidange ont été analysés (rapport établi par la MVAD⁸ des Landes concernant la station de Lespéron (Landes) dont la vidange a été réalisée en juillet 1998 ; rapport du bureau d'étude IRH-Environnement pour la station de La Baconnière (Mayenne), vidangée en août 2002 ; rapport du SATESE⁹ pour la station d'Egreville (Seine-et-Marne), vidangée en août 2002 ; rapport du SATESE du Loir-et-Cher pour les stations de Cellettes (quatre lits vidangés en 2004 et deux lits en 2006) et Onzain (vidange de trois lits en 2004) ; et enfin le rapport de stage de Julien Rullaud en 2006 dans le département de l'Indre qui extrait des observations des stations de Poulaines (600 EqH, deux lits sur quatre vidangés en août 2002), Aigurande (3 000 EqH), Arthon (1 160 EqH), Pellevoisin et Vineuil (1 000 EqH) ;

- et deux observations de curage-épandage à Saint-James (Manche) et Trainou (Loiret) au cours de l'année 2006.

Plusieurs difficultés et/ou anomalies ont été pointées, notamment celles touchant le développement des roseaux, soit en raison du noyage des plantes sous une couche de boue trop épaisse ou, à l'inverse, des lits ont été sous-alimentés et les roseaux ont alors souffert de sécheresse. Certains plants ont aussi été jugés insuffisamment robustes.

Quelques cas de colmatage des lits ont été signalés à cause d'une suralimentation ou d'une perte de boues en raison d'une couche superficielle trop grossière.

Des curages tardifs (novembre) ou à l'inverse trop précoces (mars) sont signalés à cause d'un manque d'anticipation de l'exploitant, notamment par rapport aux contraintes réglementaires imposées par le plan d'épandage et/ou de l'absence de provisionnement financier par le maître d'ouvrage. Il arrive aussi que le gérant de la station

délègue l'opération de curage à une entreprise spécialisée. Dans ce cas, les dates de curage dépendent de cette dernière. Ces entreprises prévoient globalement un volume de chantier à réaliser mais s'adaptent progressivement aux « contingences du terrain » telles que les dates de moisson et d'enlèvement de la paille, les conditions météorologiques, les exigences de l'agriculteur ou des restrictions concernant la circulation routière. Dans ces conditions, on ne peut que craindre des répercussions négatives sur le suivi du « cycle idéal de gestion des lits » : comment respecter une période de plusieurs mois de repos du lit avant son curage lorsque ce dernier est hypothétique ?

L'accessibilité de la pelleteuse, des tracteurs et épandeurs n'est pas toujours optimisée, du temps est perdu pour le placement des engins ou le chargement n'est pas bien réparti dans l'épandeur, ce qui induit un épandage non homogène.

Pour les lits en béton qui sont complètement hors sol, la hauteur des murs gêne la visibilité du conducteur de la pelleteuse et une tierce personne est souvent nécessaire pour le guider, notamment à proximité des points d'alimentation ou des cheminées d'aération qui sont souvent endommagés.

Le broyage préalable de la partie aérienne des roseaux avec une épareuse, comparable à celles qui sont utilisées pour l'entretien du bord des routes, est recommandé. En outre, les morceaux de roseaux se mélangent mieux à la boue lors de l'épandage et cette opération est donc globalement jugée très positive. Évidemment, il faut aussi penser à l'accessibilité de cette machine.

Le curage par une benne preneuse (Liénard, 1999) n'est pas le plus adapté ; des cas de destruction partielle de la couche drainante ont été rapportés (Thirion, 2007). Il peut être réalisé avec un simple godet à condition qu'il soit suffisamment tranchant mais, corrélativement, le conducteur doit veiller à ne pas tasser ni lisser la couche de boue résiduelle dans les lits pour que les pousses émises à partir des rhizomes laissés en place aient toute facilité à la percer.

La siccité des boues curées

Des taux de matière sèche compris entre 6 et 23 % ont été signalés (Lesavre, 2002) avec une valeur médiane à 13 % sur des prélèvements provenant de 27 lits sur 12 stations (capacités

8. Mission de valorisation agricole des déchets.

9. Service d'assistance technique et d'étude aux stations d'épuration.

10. Groupe de recherche en agroalimentaire sur les produits et procédés.

comprises entre 100 et 2 000 EqH). Cependant, ces résultats dépendent fortement de l'historique d'alimentation des lits qui est peu renseigné. Concernant la minéralisation des boues, on peut observer un gain de 10 à 15 % sur le taux en matières volatiles en suspension (MVS) en fin de traitement.

Thirion (2007) mentionne des taux de MS de 13,6 et 13,7 % à Saint-James et de 16,0 et 16,3 % à Trainou, avec des contraintes de seuil respectives de 1 300 et 1 600 Pa qui sont typiques de boues pâteuses ayant une siccité d'environ 20 % que confirme l'étude rhéologique.

Les acteurs sont généralement déçus par ces performances comparativement à celles avancées par la plupart des constructeurs qui n'hésitent pas à annoncer 30 %. Par comparaison avec les performances obtenues au Danemark, les marges de progrès sont énormes, mais elles ne sont pas inaccessibles comme le prouvent les prélèvements analysés sur le lit F à Andancette, en fonctionnement routinier avec environ sept semaines de repos et des conditions météorologiques relativement pluvieuses pour la saison (126 mm de pluie en juillet et août 2007). Les charges moyennes que ce lit a reçu sont vraisemblablement comparables à celles de beaucoup d'ouvrages en France, mais cette station dispose de huit lits, les jeunes plants qui y ont été implantés étaient robustes et la période d'acclimatation-développement des roseaux a été scrupuleusement respectée, ce qui a permis d'obtenir, à la fin de celle-ci, une densité optimale des roseaux qui n'a jamais faibli depuis.

L'homogénéité de l'épandage et les odeurs

La mesure de la répartition au sol est normalement effectuée selon la norme NF EN 13080, mais un protocole simplifié a été choisi en utilisant des bacs de 50 x 50 cm espacés d'un mètre (entre axes). Des carrés de moquette de même dimension sont placés sous le passage des roues pour compléter le dispositif. Trois mesures sont opérées après environ 50 m, 100 m et 150 m d'épandage.

Le résultat révèle un épandage de répartition correcte dans l'état actuel de la technique avec des épandeurs à hérissons verticaux qui sont les mieux adaptés (Thirion, 2007). La présence de masses abondantes de roseaux (tiges, feuilles,

rhizomes) pouvait faire craindre des bourrages de la machine, mais ce type d'épandeur les absorbe sans problème. Il est cependant conseillé d'avoir des couteaux bien aiguisés avec un tracteur fonctionnant au régime maximum.

Tous les observateurs présents, habitués des chantiers d'épandage de boues, s'accordent pour reconnaître la très faible odeur générée, aussi bien pendant l'épandage qu'après celui-ci ; on ne peut ressentir d'odeur à 10 m des boues épandues, même sous le vent.

Tests de reprise des roseaux au champ après épandage

Dans tous les témoignages obtenus, ce risque de repousses est minime sans être totalement inexistant ; des repousses ont été signalées à La Baconnière (Mayenne) où, selon la législation, le terrain hydromorphe n'aurait pas dû recevoir de boues. Des essais ont été réalisés par le GRAPPE¹⁰ de l'École supérieure d'agriculture d'Angers ; ils ont démontré que l'humidité des sols cultivés non hydromorphes, généralement inférieure à 40 % (humidité pondérale) limite le développement des roseaux, notamment quand le séchage des rhizomes intervient. Ceci conduit à conseiller de laisser se dessécher les rhizomes en surface de champ et donc de retarder l'enfouissement de 48 heures environ. Cette recommandation est en cohérence avec la réglementation sur les épandages (décret du 08/12/1997 et arrêté du 08/01/1998), qui n'impose l'enfouissement des boues que lorsque ces dernières ne sont pas stabilisées. Or, les boues des lits de séchage plantés de roseaux sont stabilisées comme l'ont montré les études relatives précédemment.

Afin de tester la repousse, deux rangées ont été plantées au champ avec des rhizomes desséchés au soleil ou sans bourgeons constitués. Comme on pouvait le prévoir, ils donneront seulement deux repousses qui dépériront rapidement. En revanche, sur une cinquantaine de rhizomes sains enterrés, des plants vont émerger au bout de quatre semaines, suite à deux jours de précipitation. En grattant le sol, on observe que de nombreux bourgeons se sont développés et atteint une taille de 2 à 3 cm, mais ne s'ouvrent pas. Douze plants vont subsister pendant le début d'hiver 2006-2007 relativement doux, mais ils vont tous périr lors des premières gelées début janvier 2007.

Un bon déchetage par un épandeur fonctionnant en conditions optimales (couteaux aiguisés, vitesse de rotation rapide des hérissons verticaux) doit également annuler les risques de repousse. Si des doutes peuvent encore subsister, le non-enfouissement immédiat après l'épandage, entraînant le séchage des rhizomes, est aussi un autre moyen de prévenir toute repousse (Liénard, 1999).

Repousse des roseaux dans les lits

Les exploitants sont souvent inquiets à ce sujet, mais lorsque la densité des roseaux est bonne, que la vidange n'est pas trop tardive (fin août au plus tard) et que la ré-alimentation du lit curé intervient immédiatement, à doses réduites pour ne pas submerger les rhizomes demeurant dans la couche drainante et la dizaine de centimètres de boues résiduelle au fond du lit, la repousse se passe généralement bien. La sélection et la plantation de rhizomes comportant au moins trois nœuds extraits au moment du curage peut aussi être une pratique à tester.

Les tentatives d'implantation de nouveaux plants dans la couche de boue résiduelle sont souvent vouées à l'échec, vraisemblablement à cause d'une adaptation insuffisante.

Il faut savoir que les roseaux implantés dans des lits de séchage sont placés dans des conditions sensiblement plus difficiles que leurs homologues des filtres plantés de roseaux en traitement d'eaux usées domestiques brutes. Dans les lits de séchage, les doses de matières en suspension que vont recevoir les roseaux sont au moins trois fois plus importantes et le caractère pâteux des boues ne facilite pas la mise en place de conditions aérobies indispensables à leur développement. Ceci confirme, une fois de plus, le risque encouru par un sous-dimensionnement de l'installation se traduisant par une surcharge que les roseaux ne pourront supporter.

Réflexions sur la dissociation du curage et de l'épandage au regard du statut des boues

La période idéale de curage (mi-juillet à fin août) correspond dans la plupart des cas avec la disponibilité des terres agricoles pour l'épandage. La principale période d'épandage (avec des variations selon les cultures et les régions, bien évidemment) s'étend en effet du 15 juillet à fin octobre. Avec un

minimum d'anticipation, ces opérations peuvent donc se dérouler simultanément.

Dans le cas contraire, un stockage temporaire des boues doit être envisagé. Or, pour être réglementairement stockées à même le sol, en bout de champs par exemple, pour un temps supérieur à 48 heures, les boues doivent être solides, stabilisées et toutes précautions doivent aussi être prises pour éviter le ruissellement ou la percolation de jus telles que définies dans l'article 5 de l'arrêté du 8 janvier 1998.

L'article 12 du même arrêté précise que sont considérées comme solides des boues déshydratées qui, entreposées sur une hauteur de 1 m, forment une pente au moins égale à 30°. La photo 1 et les caractéristiques rhéologiques présentées supra montrent que cet objectif est aisément atteignable si les concepteurs, constructeurs et gestionnaires ont la volonté d'unir leurs efforts pour mettre en place et exploiter consciencieusement les installations. La siccité des boues des lits de séchage plantés de roseaux peut atteindre 25 % en moyenne à la vidange et s'accorder ainsi avec la fiabilité et la durabilité nécessaires à la réutilisation agricole des boues.

L'obtention de ce statut de boues solides stabilisées, épandues immédiatement ou non après la vidange des lits, outre le fait qu'il autorise aussi des distances d'isolement plus faibles que pour les autres catégories de boues (cf. tableau 4 de l'annexe II de l'arrêté du 8 janvier 1998) donnerait également de la souplesse en terme de non-obligation d'enfouissement immédiat lorsque la distance minimale d'isolement par rapport aux berges d'un cours d'eau est supérieure à 5 m et lorsque la pente du terrain est supérieure à 7 %.

▼ Photo 1 – Slump-test simplifié réalisé avec les boues de Saint-James à seulement 13,6 % de MS.



11. Office national de l'eau et des milieux aquatiques.

Pour ce qui concerne la stabilisation, elle doit aboutir à une boue dont « la fermentation est soit achevée, soit bloquée entre la sortie du traitement et la réalisation de l'épandage » ; on peut également considérer qu'elle sera automatiquement acquise avec la siccité visée.

Conclusion

Si elle est planifiée et anticipée, la gestion des curages des lits de séchage de boues plantés de roseaux en été devrait être aisée car le stockage est intégré au traitement des boues sans adjonction de réactifs ni d'équipements complémentaires. Dans la perspective de l'introduction d'analyses du cycle de vie (ACV) pour les techniques épuratoires, le score qui devrait être attribué à ce procédé n'aura rien à envier à ceux des dispositifs mécanisés de déshydratation des boues et des volumes de stockage qui doivent leur être associés, pour se plier aux contraintes des plans d'épandage.

Au plan économique, outre les analyses nécessaires au plan d'épandage, les coûts de curage et épandage (d'environ 25 euros/m³ en 2007 avec broyage préalable des roseaux dans les lits et pour des parcelles situées à environ 5 km) constituent l'essentiel des frais d'exploitation. Pour comparer valablement ce dispositif (dont le coût d'investissement n'est pas moindre que celui de solutions de déshydratation mécanique incluant un stockage de huit à dix mois) à d'autres, il convient de réaliser un calcul complet prenant en compte l'investissement et une quinzaine d'années d'exploitation incluant deux vidanges complètes de l'ensemble des lits sur la base d'un volume de boues extraites calculé sur une hauteur moyenne de 1 m.

D'autres éléments techniques seront fournis dans les trois prochaines années car les études menées sur le site d'Andancette continuent sous la forme d'une autre thèse, financée par l'Onema¹¹, qui démarre en octobre 2008. □

Remerciements

Les auteurs remercient particulièrement Lysanne Bour (agence de l'eau Rhône, Méditerranée et Corse) pour la relecture, les corrections et les amendements qu'elle a apportés à cet article.

Résumé

Les boues extraites des lits de séchage plantés de roseaux présentent des qualités mécaniques qui excèdent celles de boues de siccités comparables, rendant ainsi plus aisé et homogène leur épandage par des épandeurs équipés de herissons verticaux bien aiguisés et tournant à vitesse élevée. Avec des siccités de 20 à 25 %, ces boues pourraient facilement prétendre au statut de boues solides stabilisées défini dans l'article 12 de l'arrêté du 8 janvier 1998 qui permettrait de les stocker temporairement sur les parcelles d'épandage. La dissociation curage-épandage permettrait de respecter la période idéale de vidange du(es) lit(s) à programmer entre le 15 juillet et fin août, afin de bénéficier de l'évapotranspiration et de ne pas compromettre la reprise des roseaux dans les lits avant l'hiver, sans avoir à attendre que les parcelles d'épandage se libèrent après les moissons.

Abstract

The sludge extracted from reed beds have mechanical qualities which exceed those of sludge of comparable dry matter content, making its spreading easier and homogeneous by manure spreaders equipped with vertical well sharpened cutters and turning at high speed. For DM content of 20 to 25%, these sludge could easily claim the status of solid and stabilized sludge according to the French regulation (for land spreading of sludge from wastewater treatment plants) that would allow temporary storage on plots. The dissociation emptying-spreading would respect the ideal time to empty the bed(s) to schedule between July 15th and late August to benefit both the evapotranspiration and not to undermine the regrowth of reeds in the beds before winter without having to wait the end of the harvest on spreading plots.

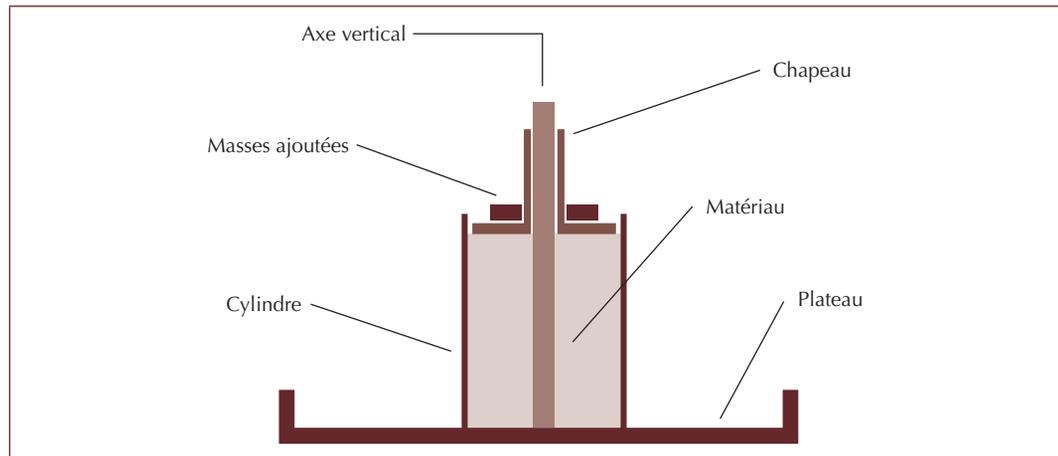
Bibliographie

- AFNOR, 2002, NF U 44-095, *Composts contenant des matières d'intérêt agronomique, issues du traitement des eaux*, 22 p.
- AFNOR, 2005, XP U 44-162, *Fractionnement biochimique et estimation de la stabilité biologique*, 16 p.
- BAUDEZ, J.-C., 2001, *Rhéologie et physico-chimie des boues résiduaireuses pâteuses pour l'étude du stockage et de l'épandage*, thèse de doctorat Engref Paris, 238 p.
- BAUDEZ, J.-C., CHABOT, F., COUSSOT, P., 2002, Rheological interpretation of the slump test, *Applied Rheology*, 12(3), p. 133-141.
- LESAVRE, J., IWEMA, A., 2002, *Dewatering of sludge coming from domestic wastewater treatment plant by planted sludge beds*, Proceedings, 8th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Arusha, Tanzanie.
- LIENARD, A., 1999, Déshydratation des boues par lits de séchage plantés de roseaux, *Ingénieries-EAT*, n° 17, p. 33-45.
- LINERES, M., DJAKOVITCH, J.-L., 1993, *Caractérisation de la stabilité biologique des apports organiques par l'analyse biochimique. Matières organiques et agriculture*, Quatrièmes journées de l'analyse de terre (GEMAS) et Cinquième forum de la fertilisation raisonnée (Comifer), Blois.
- PASHIAS, N., BOGER, D.-V., SUMMERS, J., GLENISTER, D.-J., 1996, A fifty cent rheometer for yield stress measurement, *J. Rheol.*, n° 40, p. 1179-1189.
- THIRION, F., 2007, *Curage et épandage des boues issues des lits plantés de roseaux. Rapport final de la partie 3.3 de la convention : Traitement et valorisation des boues et des matières de vidange par lits de séchage plantés de roseaux*, 26 p.
- TREMIER, A., DE GUARDIA, A., MALLARD, P., 2007, Indicateurs de stabilisation de la matière organique au cours du compostage et indicateurs de stabilité des composts : analyse critique et perspectives d'usage, *TSM*, n° 10, p. 105-129.

Annexe 1 – Seuil de contrainte

Le *slump-test* (figure 1-a) est une technique initialement développée pour déterminer les propriétés d'écoulement des bétons frais. À partir de la hauteur d'effondrement d'un volume cylindrique ou conique, il est possible de déterminer le seuil de contrainte du matériau. La méthode est aussi connue sous le nom de cône d'Abrams.

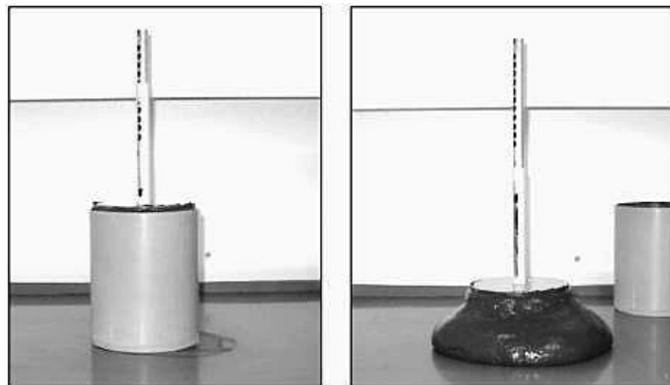
► Figure 1-a – Schéma du *slump-test*.



L'outil utilisé est identique à celui choisi par Baudez (2001), basé sur le test de Pashias *et al.* (1996).

Cela consiste à déterminer le seuil de contrainte du matériau à partir d'un volume cylindrique de hauteur initiale H_0 en mesurant la hauteur d'effondrement après écoulement sous son propre poids. Un chapeau coulissant sur l'axe de symétrie du cylindre permet d'appliquer une pression plus importante à l'aide de masses supplémentaires m_v pour tester des produits dont le seuil est élevé tout en limitant la hauteur de matériau nécessaire (photo 1-a).

► Photo 1-a – *Slump-test* en effondrement, avec une boue classique.



Cependant, contrairement aux hypothèses utilisées par Baudez (2001) et Baudez *et al.* (2002), le critère retenu pour qualifier le passage du mode écoulement au mode statique est le critère dit de Von Mises, basé sur les énergies, plutôt que le critère de Tresca, basé sur les contraintes. Cela revient à considérer que l'écoulement proprement dit ne démarre que lorsque l'énergie reçue par le système est supérieure à son énergie élastique.

Sans développer les calculs, la contrainte seuil est alors déterminée à partir de l'équation :

$$s = H + z_0 - \frac{\sqrt{3} \cdot \tau_c}{\rho g} \cdot \left(1 + \ln \left(\frac{\rho g (H + z_0)}{\sqrt{3} \cdot \tau_c} \right) \right)$$

où s est la hauteur d'effondrement et où z_0 représente la hauteur virtuelle d'échantillon matérialisée par le chapeau additionnel.

Annexe 2 – Mesure du collant

Les mesures de texturométrie ont été réalisées avec un texturomètre TA500 de chez Lloyd Instruments assisté du logiciel Nexigen (photo 1-b). Celui-ci a été équipé de géométries variables en fonction des tests mis en œuvre, décrits ci-après.



▲ Photo 1-b – Texturomètre TA500 (Lloyd Instruments).

L'objectif est de déterminer la force d'adhésion des échantillons analysés. Les mesures sont réalisées avec une sonde rectangulaire de 8,5 cm x 8,5 cm (surface = 72,25 cm²), en aluminium. On applique une force constante de 30 N pendant 10 secondes, puis on mesure l'effort nécessaire pour décoller la sonde de l'échantillon.

Pour 30 N appliqués, on mesure une adhésivité de 0,6 N, ce qui signifie tout simplement que les boues issues des lits plantés de roseaux ne sont absolument pas collantes, à l'opposé des boues « traditionnelles ».

Ce résultat peut avoir deux origines : soit la présence de roseaux, soit l'humification du matériau (soit éventuellement les deux).

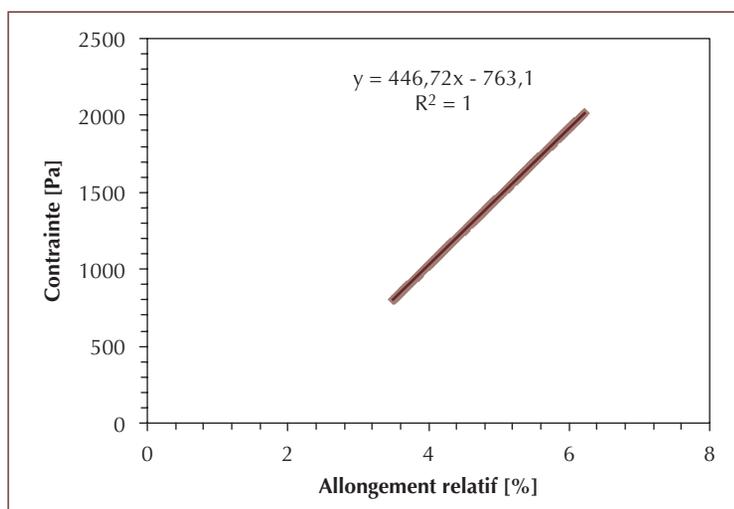
Annexe 3 – Mesures de compression

L'essai consiste à compresser à une vitesse de 10 mm par minute un échantillon cylindrique de 10 cm de haut et de mesurer la force nécessaire pour aboutir à cette déformation. La déformation et la force sont reliées par la raideur du matériau :

$$F = K \cdot \Delta l$$

Les résultats bruts nous permettent de déterminer la raideur K.

À partir des données brutes, on peut calculer le module élastique en divisant la force F par la surface de la sonde et en divisant l'allongement par la hauteur initiale (de manière à aboutir à un allongement relatif).



▲ Figure 1-c – Détermination du module élastique, pour la boue issue du lit F.

Le module élastique E se déduit donc de la contrainte et de l'allongement relatif par la formule suivante (figure 1-c) :

$$\sigma = E \cdot \frac{\Delta l}{l}$$

Annexe 4 – Régime statique, mesures à la boîte de cisaillement

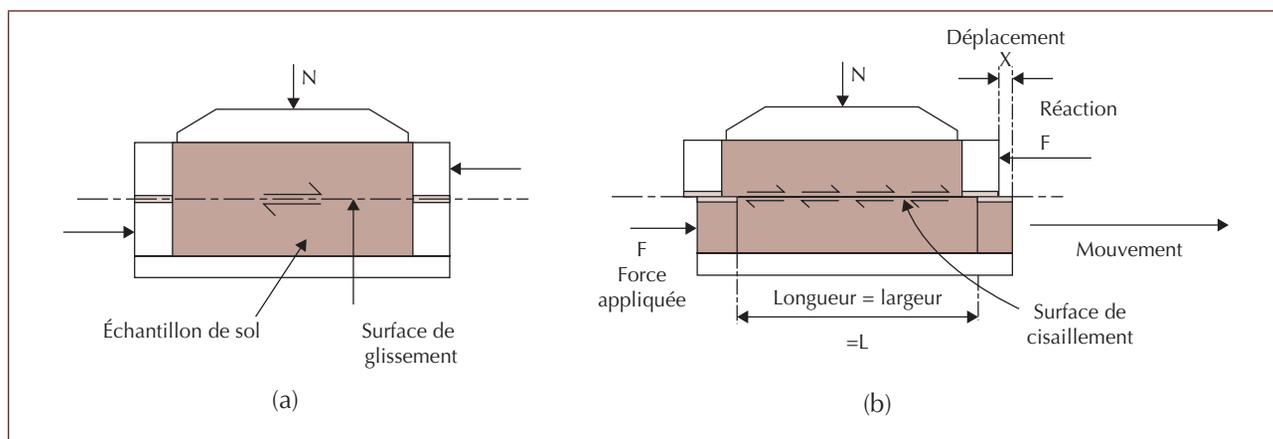
En régime statique, les données nécessaires à la caractérisation des matériaux solides sont essentiellement l'angle de friction interne et la cohésion.

L'angle de friction interne, c'est le rapport entre la contrainte normale et la contrainte tangentielle :

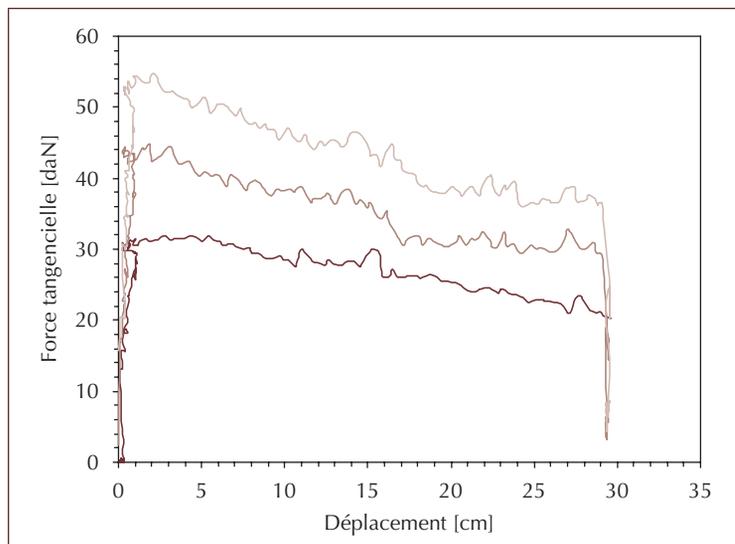
$$\tan\theta = \frac{\tau - C}{N} = \frac{\tau}{N + A}$$

La mesure consiste à cisailer un échantillon dans une boîte de cisaillement : une portion du matériau glisse le long d'une autre sous l'action d'une force de cisaillement horizontale d'intensité constante, pendant qu'une force normale est appliquée sur la partie en mouvement. Pour ce faire, le matériau est placé dans une boîte rigide pour laquelle la partie supérieure peut se déplacer par rapport à la partie inférieure (figure 1-d).

▼ Figure 1-d – Principe de la boîte de cisaillement.
a) Début du test.
b) Pendant le déplacement.



Si le matériau est cohésif, selon la théorie, la représentation graphique de t en fonction de N est un droite ne passant pas par l'origine (figure 2-d), et dont la pente est le coefficient de friction interne et la cohésion est l'ordonnée à l'origine.



◀ Figure 2-d – Relation entre le déplacement et la force tangentielle pour trois forces normales appliquées sur la boue issue du lit D.

Annexe 4 (suite)

Dans la pratique, on applique un effort normal constant et on mesure l'effort tangentiel en fonction du déplacement (figure 3-d). Cette mesure est répétée avec des efforts normaux croissants.

► Figure 3-d – Relation entre la force normale et la force tangentielle pour la boue issue du lit D. L'ordonnée à l'origine représente la cohésion du matériau et la pente l'angle de friction interne.

