



HAL
open science

Déshydratation des boues résiduaires sur lit de paille : une opportunité pour les petites stations d'épuration rurales

J.C. Roux, P. Heritier, J.C. Baudez

► **To cite this version:**

J.C. Roux, P. Heritier, J.C. Baudez. Déshydratation des boues résiduaires sur lit de paille : une opportunité pour les petites stations d'épuration rurales. [Rapport de recherche] irstea. 2011, pp.24. hal-02595425

HAL Id: hal-02595425

<https://hal.inrae.fr/hal-02595425v1>

Submitted on 15 May 2020

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

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



Déshydratation des boues résiduaires sur lit de paille

Une opportunité pour les petites stations d'épuration rurales

Mars 2011

Jean-Christophe Roux, Philippe Héritier, Jean-Christophe Baudez

Cemagref de Clermont-Ferrand, site de Montoldre
UR TSCF

Domaine des Palaquins
03150 Montoldre

Résumé

Ce projet consiste à mettre au point un procédé rustique permettant de réduire à bas coûts le volume des boues liquides produites dans les petites stations rurales. Par analogie avec les effluents d'élevage, et dans la mesure où un fumier favoriserait également l'image de la valorisation agricole, il a été choisi de produire un fumier de boue, avec une filtration sur paille.

La solution retenue est une déshydratation en deux étapes, avec d'abord une filtration ascendante, permettant, en régulant le débit, de produire une boue liquide épaissie à 50 grammes par litre, puis un ressuyage gravitaire de ce liquide pâteux sur un lit de paille. Cette solution permet de ne pas avoir recours à l'emploi de flocculant, ce qui est un atout majeur pour la pérennisation de la valorisation agricole. Ce procédé permet également de proposer uniquement un épaississeur qui fonctionne correctement, avec des performances supérieures aux épaississeurs actuellement utilisés.

Cependant, le fumier ainsi produit est difficile à épandre, avec une répartition trop hétérogène pour obtenir un épandage régulier. Il apparaît nécessaire de compléter la filtration sur paille par une étape de compostage, permettant d'obtenir un matériau plus homogène qui, par expérience, s'épand très bien.

Déshydratation à moindre coût des boues résiduaires sur lit de paille, sans floculant : une opportunité pour les petites stations d'épuration rurales.

Contexte

La réduction des volumes de boue à stocker concerne toutes les stations d'épuration, quelle que soit leur taille. Cependant, si l'on dispose de méthodes et d'outils variés – aux performances variables – pour les grosses unités, il n'en est rien pour les toutes petites stations rurales. Elles n'ont en fait que deux alternatives : investir dans des équipements surdimensionnés pour déshydrater leurs boues ou concevoir des silos épaisseurs pour stocker les boues liquides.

Dans ce dernier cas, l'économie réalisée en évitant d'investir dans de coûteux outils de déshydratation est fortement réduite par les coûts de transport et d'épandage d'un matériau qui s'apparente, en pratique, davantage à une eau chargée qu'à un lisier épais.

L'intérêt de limiter les frais de fonctionnement et d'investissement associé à un gain environnemental visant à réduire les coûts de transport et d'épandage nous incite à rechercher une solution rustique et efficace de déshydratation (ou d'épaississement) des boues liquides sur un média filtrant, techniquement et économiquement adapté aux zones rurales.

Des essais de filtration sur paille ont été réalisés avec succès en Belgique sur des lisiers de porcs et de bovins (source Agence de l'Eau Seine Normandie) : avec des teneurs en matières sèches initiales respectivement de 7 et 8,1%, la filtration sur paille a permis d'obtenir des produits à 74,3 et 66,6% de matières sèches. Ces performances mettent en évidence la possibilité de filtrer efficacement des liquides chargés à travers un substrat organique et fibreux comme la paille.

Actuellement, on trouve également sur le marché un procédé, nommé *Isater*, permettant de fabriquer un fumier artificiel par absorption du lisier par la paille (1m³ de lisier pour 65kg de paille permet de produire 250kg de compost), engendrant en outre un abattement d'azote de l'ordre de 50%. Dans le principe, la paille est étalée et démêlée sur une surface drainante et le lisier est apporté par aspersion : un rotor horizontal assure le malaxage tandis que 4 rotors verticaux forment l'andain. Une telle station permet de traiter de 2000 à 10000m³ de lisier par an.

Par ailleurs, le procédé Agrifiltre®, développé et breveté par le Cirad, permet de filtrer des effluents liquides inférieurs à 10% de matières sèches grâce aux croisements de deux flux, de l'effluent dans un sens et de la paille dans l'autre, poussée par un bouclier animé par un vérin hydraulique. La consommation de paille est de 15kg par mètre cube de lisier, soit environ 15kg de paille pour 7-10kg de matières sèches.

Ces deux procédés *Isater* et Agrifiltre® requièrent de la technologie assez lourde, bien que basique pouvant difficilement s'adapter (financièrement) au profil des petites stations d'épuration rurales.

Enfin, la *Saur* a expérimenté un système similaire pour les boues résiduaires il y a une vingtaine d'années sur le site de Châteaurenard. La boue était filtrée sur des lits de paille étalés en couches successives sur un caillebotis. Cependant, la filtration était trop lente à travers la paille broyée. En effet, une mise en charge du filtre à paille se produisait dès que la hauteur devenait trop importante et il fallait décolmater avant chaque nouvel apport de paille.

Du point de vue scientifique, le principe de la filtration volumétrique à travers une masse particulaire fait intervenir plusieurs processus : tamisage, interception, diffusion et effets hydrodynamiques, décrits ci-dessous.

- Le tamisage : les particules plus importantes que les espaces entre "grains" sont retenues ; ces matières en suspension tamisées à la surface du filtre exercent un effet filtrant et concourent à la longue au colmatage du filtre ;
- L'interception : la vitesse de filtration étant relativement faible, un courant laminaire se produit à l'intérieur des pores ; un élément qui emprunte une ligne de courant longeant une particule filtrante est intercepté, ce qui augmente le nombre d'éléments retenus ;
- La diffusion : elle affecte les éléments de taille inférieure à 1 micron dont le mouvement brownien croît inversement à leur taille et qui entrent en contact avec l'élément filtrant et s'y fixent ;
- L'hydrodynamique : dans le courant laminaire qui traverse les pores, la vitesse d'écoulement est nulle à la surface du grain filtrant et maximale au milieu du pore ; les éléments dans le courant sont soumis à des forces hydrauliques qui les entraînent sur le grain.

Si l'on se réfère à ces quatre effets, un équilibre est nécessaire entre une taille de pores permettant de retenir un maximum de particules, une vitesse de filtration lente, tout en évitant le colmatage et un système efficace permettant un rendement acceptable tout en contenant l'emprise au sol du système.

A l'origine, il était prévu de concevoir un prototype permettant d'abord de filtrer la boue sur un lit de paille fraîche puis de convoier l'ensemble jusqu'à une aire de stockage. Cependant, il n'a pas été possible d'élaborer un tel prototype. En effet, d'une part, il se serait fortement inspiré de l'Agrifiltre®, déjà protégé par un brevet et d'autre part, de par la conception du prototype, les effets de bord auraient été prédominants alors qu'ils sont les principaux facteurs perturbant la filtration, comme nous le verrons par la suite.

Ce rapport se découpe en trois parties : la première est consacrée à la filtration gravitaire, la deuxième à la filtration ascendante et la troisième aux caractéristiques des matériaux obtenus et au test d'épandage.

Dans toute la suite, la boue provient de la station d'épuration de Varennes sur Allier (03150) et a été prélevée dans le bassin de recirculation. Elle est concentrée à environ 4-5 grammes par litre.

1. Filtration gravitaire

1.1. Essais préliminaires

Les premiers essais ont été réalisés au laboratoire, en utilisant un système de caisses empilables, munies de joints (fig. 1) et perforées, de sorte que la première caisse fasse office

d'asperseur, la seconde de filtre, avec une seule évacuation centrale et la troisième de réceptacle du filtrat.

La caisse faisant office de filtre est également composée de deux grilles qui maintiennent la paille pour éviter qu'elle ne flotte ou qu'elle ne soit entraînée par l'écoulement du filtrat.



Figure 1 : Système de filtration sur lit de paille seule.

Avec un tel système, la boue brute n'est pas filtrée : le filtrat est autant chargé que la boue initiale (fig. 1) et ce, quels que soient le débit d'alimentation et la hauteur de paille ajoutée, de quelques centimètres à plusieurs dizaines de centimètres (jusqu'à 30 centimètres).

En ajoutant du polymère, la boue est retenue en partie en surface, mais le filtrat n'est pas clair : les plus petits floes ne sont pas retenus par la paille.

Dans ces premiers tests, les étapes de tamisage et d'interception ne sont pas performantes, à cause d'un débit trop important : les particules solides sont entraînées par l'écoulement rapide de l'eau.

Pour ralentir l'écoulement, nous avons d'abord comprimé la paille (fig. 2), sans obtenir de résultat probant : bien que l'écoulement soit ralenti par la diminution de porosité, il reste trop rapide. Malgré une porosité plus faible, le filtrat reste chargé (fig. 2).



Figure 2 : Essais sur paille comprimée.

Cependant, une quantité non négligeable de boue est retenue dans la paille (fig. 3), mais uniquement à proximité de la grille de fond. La partie superficielle de la paille reste relativement propre, ce qui signifie que l'écoulement de la boue à travers la paille est toujours trop rapide et ne permet pas une bonne interception de la matière solide.



Figure 3 : Rétention de la matière solide à proximité de la grille lorsque la paille est comprimée.

Pour ralentir davantage l'écoulement, nous avons donc ajouté une toile filtrante (un simple géotextile, pour rester dans une solution à bas coûts) au fond de la caisse (fig. 4), au-dessus de

la grille. Avec cet ajout, l'écoulement est nettement ralenti et les résultats sont plus probants : le filtrat s'éclaircit et la paille se charge en matières solides (fig. 4).



Figure 4 : Essais de filtration gravitaire sur paille comprimée en utilisant un géotextile.

Pour résumer, ces essais préliminaires ont montré qu'il fallait un écoulement relativement lent, pour qu'il y ait une réelle interception de la matière solide par la paille et qu'il semblait *a priori* judicieux de comprimer la paille pour optimiser le tamisage.

En effet, pour qu'il y ait interception de la matière solide par la paille, il faut que la vitesse d'écoulement soit inférieure à la vitesse de sédimentation. En nous référant à la loi de Darcy, pour ralentir l'écoulement, il faut une perméabilité faible, c'est-à-dire une porosité faible, ce qui est corroboré par la nette amélioration obtenue avec l'utilisation du géotextile.

Par ailleurs, la vitesse de sédimentation n'étant que verticale, si l'on décompose l'écoulement en une composante verticale et une composante horizontale, l'interception n'en sera qu'améliorée puisqu'à même débit entrant, on aura un écoulement vertical plus lent. Aussi, plutôt que de noyer toute la surface du filtre avec de la boue, nous avons opté pour une injection ponctuelle, avec pour objectif de laisser la boue diffuser dans tout l'amas de paille.

1.2. Essais par injection de boue dans de la paille comprimée

La paille bottelée est naturellement compressée. Les expériences précédentes ont donc été renouvelées, sur site, de manière à avoir un débit constant, en injectant la boue au centre d'une botte de paille pour éviter un ruissellement vers les bords et finalement un écoulement entre la paille et la paroi de la caisse (cf. fig. 5).

La boue est directement pompée dans le bassin de recirculation de la station de Varennes sur Allier et le débit est modulé par l'intermédiaire d'une vanne 3 voies de manière à ce qu'il soit suffisamment lent pour que la sédimentation ait lieu, mais suffisamment rapide pour que le procédé soit rentable.

Le filtrat est recueilli dans un bac puis renvoyé dans le bassin de la STEP.



Figure 5 : Essais par injection ponctuelle et continue de boue dans un amas de paille comprimée.

Avec ce procédé, le filtrat recueilli est peu chargé au début de l'essai, mais reste turbide. Cette turbidité est cependant naturelle car occasionnée par le lessivage de la paille. En effet, mise à tremper dans un béccher, nous avons constaté que la paille colore rapidement l'eau.

A première vue, le principe de filtration ponctuelle donne des résultats satisfaisants. Cependant, après avoir filtré plus de 700 litres en 3 heures, soit un débit de 4 litres par minutes, force est de constater que l'écoulement suit un chemin préférentiel au sein de la matrice pailleuse, avec un temps de parcours de l'ordre de 30 secondes : la matière solide se concentre d'abord autour de la crépine de l'injecteur et suit les "failles" de la botte de paille (fig. 6) puis s'écoule le long des parois, le reste de la paille restant propre. Au final, nous avons constaté que le filtrat se charge progressivement, jusqu'à ce que rien ne soit retenu lorsque le chemin préférentiel est "tracé".



Figure 6 : Ecoulement préférentiel de la boue dans le massif pailleux, jusqu'aux parois.

Le principal résultat à retenir de cette expérience est qu'il faut éviter une orientation des fibres de paille, ce qui est le cas lorsqu'on utilise une botte de paille. Pour éviter cette orientation des fibres, il est donc nécessaire d'aérer et/ou de secouer la paille, de manière à créer un réseau aléatoire de pores, pour maximiser la tortuosité de l'écoulement. En effet, plus le chemin à parcourir sera long, plus les pertes de charge seront importantes, plus la composante verticale de la vitesse d'écoulement sera faible et meilleure sera la décantation des matières en suspension.

Ainsi, plus l'écoulement sera lent, meilleure sera la rétention des matières solides par la paille. Pour éviter d'avoir recours à une trop importante quantité de paille, qui plus est broyée pour diminuer la porosité, l'utilisation d'un géotextile est la solution à privilégier.

En effet, par sa porosité faible et constante, le géotextile ralentit l'écoulement et permet donc à la matière solide de se déposer sur la paille, à condition toutefois que la taille des pores formés par l'amas de paille soit suffisamment petite pour permettre l'interception. En effet, comme nous l'avons constaté, la clé du problème est la vitesse de sédimentation. Si la vitesse d'écoulement est supérieure à la vitesse de sédimentation, alors la matière solide ne peut pas se déposer. Par contre, si la vitesse d'écoulement est inférieure à la vitesse de sédimentation, la paille retient la matière solide.

Il apparaît donc que le premier facteur important est la vitesse d'écoulement, avant l'impact de la compression de la paille, qui devient accessoire si le débit d'écoulement de la boue est suffisamment petit.

Pour résumer, les deux points les plus pertinents pour utiliser la paille comme support filtrant sont :

- Une vitesse d'écoulement inférieure à la vitesse de sédimentation
- Une porosité aléatoire, c'est-à-dire sans direction privilégiée.

Il nous est donc apparu opportun, dans le cas d'une filtration gravitaire, de privilégier une aspersion lente sur l'amas de paille, en pluie, plutôt qu'un système par injection.

1.3. Essais par aspersion lente

Au regard des résultats précédents, la paille n'est donc plus compressée et l'aspersion est réalisée à travers un tuyau perforé, en grosse pluie (fig. 7). L'ensemble est ceint par un géotextile et placé dans un bac muni d'un exutoire (fig. 8). L'alimentation, par une tonne à lisier de 8000 litres, est contrôlée et mesurée en continu par un débitmètre.



Figure 7 : Aspersion par grosse pluie au travers des tuyaux perforés. Les perforations doivent être de forte section pour éviter le bouchage.

Les débits à l'exutoire ont été mesurés à plusieurs intervalles pour évaluer la vitesse de ressuyage. Il faut d'abord noter qu'à un débit de 6L/min, 13 minutes sont nécessaires avant de récupérer du filtrat. C'est le temps nécessaire pour que la boue filtre à travers l'amas percolant. La vitesse de progression à travers l'amas pailleux et le géotextile est donc suffisamment lente pour qu'il y ait sédimentation et interception de la matière solide.



Figure 8 : Filtration gravitaire par aspersion lente. Le bac est ceint par un géotextile, pour ralentir l'écoulement et l'aspersion se fait à travers un tuyau perforé, placé en rond sur l'amas de paille.

Au début, le temps mis pour recueillir un litre de filtrat est proportionnel à la section du bac (les deux bacs, respectivement de 600 et 800L sont de même hauteur), ce qui semble cohérent. En effet, le débit étant le produit de la section par la vitesse, plus la section du bac sera grande, plus la vitesse d'écoulement sera petite et donc le temps long. Cependant, au fur et à mesure que la paille se charge, les temps se resserrent et deviennent identiques (tableau 1) : la vitesse d'écoulement est principalement régulée par la porosité totale du système qui se colmate petit à petit. Lorsque les temps de filtration sont identiques, on observe que le niveau dans le plus petit bac monte plus vite que dans le plus grand.

Tableau 1 : Temps de filtration en fonction du volume filtré pour les deux bacs.

| | Bac 1 (600L) | Bac 2 (800L) |
|-------------|--------------|--------------|
| Après 740L | 3,25s | 4,66s |
| Après 1900L | 4,66s | 4,90s |
| Après 2800L | 16,96s | 16,59s |
| Après 3500L | 59,13 | Non mesuré |
| Après 5120L | 190 | Non mesuré |

Cependant, force est de constater que le débit de filtration diminue exponentiellement avec le colmatage du filtre (fig. 9), ce qui signifie que très rapidement, bien que le fumier obtenu soit

intéressant du point de vue de sa structure et de sa tenue en tas (fig. 10), le temps de filtration sera trop long pour que le système soit viable.

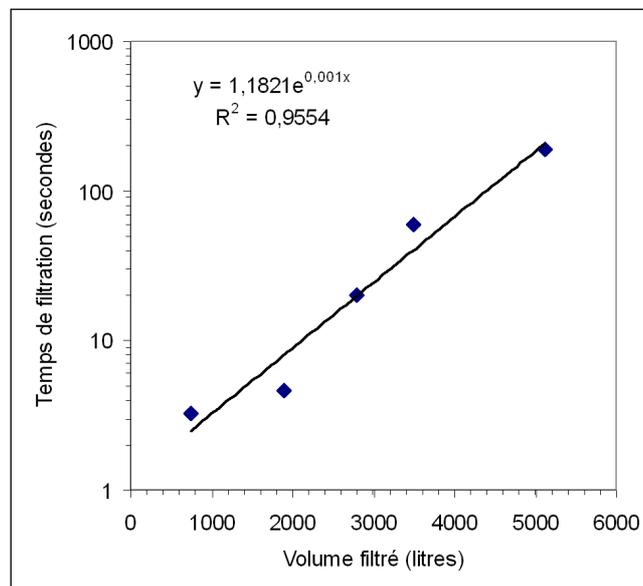


Figure 9 : Evolution exponentielle du temps de filtration en fonction du volume filtré.



Figure 10 : Tenue en tas d'un échantillon de fumier de boue, à 12% de MS. Cette siccité a été mesurée sitôt l'expérience terminée, ce qui signifie qu'un suintement était encore observé.

Avec 7,8kg de paille, dans un bac de 800 litres, on ne peut filtrer que 9000 litres de boue à 5 grammes par litres, soit 45kg de matières sèches, avant colmatage complet du filtre. Le fumier produit est néanmoins encore très humide, entre 11 et 14% de matières sèches (à l'issue de la filtration). Cette siccité continue d'évoluer au stockage pour atteindre 27% au bout de 8 semaines puis 35% après 6 mois de stockage (tableau 2). Cependant, le fumier obtenu est surtout très pailleux, ce qui n'est pas recommandé pour obtenir un épandage homogène et régulier. Nous obtenons une teneur en matière minérale de 8% dans la matière

sèche du fumier après 60 jours, de 12% après 125 jours et de 14% après 200 jours, alors qu'elle est d'environ 25% pour la boue originelle. Cet écart souligne parfaitement l'excès de paille.

Tableau 2 : Evolution de la siccité du fumier de paille au cours du stockage. Le faible écart entre 60 et 125 jours peut-être attribué à la météo neigeuse du mois de décembre : même sous abri, le fumier a pu se charger en humidité.

| Temps de stockage [jours] | Siccité [%] |
|---------------------------|-------------|
| 0 | 12% |
| 60 | 26% |
| 125 | 27,5% |
| 200 | 35% |

Enfin, en prenant pour base une production de 10 litres par habitant et par jour de boue à 5 grammes par litre, ce procédé permet, sans maintenance, de filtrer la production quotidienne d'une station de 900 équivalent-habitants. Il faut néanmoins noter qu'un temps de ressuyage plus long est nécessaire pour qu'il n'y ait plus qu'un léger goutte-à-goutte à l'exutoire. Ce temps de ressuyage est de l'ordre de 3 jours : il faut donc prévoir un quadruplement de l'installation avec une bascule automatique d'un bac à un autre chaque jour et une vidange de bac après trois jours, et remise de paille fraîche après nettoyage (au jet d'eau) du géotextile.

Cependant, du point de vue de la valorisation du fumier produit, l'excès de paille doit être corrigé. Pour limiter la quantité de paille, il faut donc avoir un écoulement suffisamment lent pour que l'interception ait lieu rapidement. La piste explorée consiste dès lors à épaissir suffisamment la boue pour que la paille serve d'abord de support à une filtration lente, similaire à une lixiviation. Cet épaississement préalable a été effectué en développant un système de filtration ascendante à travers un amas pailleux, ce qui nous a permis d'obtenir des boues à 50 g.L^{-1} , c'est-à-dire des performances supérieures aux épaisseurs classiques.

2. Filtration ascendante

Pour diminuer la concentration en paille dans le fumier produit, nous avons opté pour une filtration en deux étapes : d'abord un épaississement, par filtration ascendante, permettant d'aboutir à une boue concentrée à 50 grammes par litre (fig. 11), puis une filtration gravitaire, lente, de cette boue concentrée sur un lit de paille, ce qui nous permet de nous affranchir de l'utilisation d'un géotextile.

Le principe en deux étapes (filtration ascendante et ressuyage lent) repose donc d'abord sur une filtration ascendante au cours de laquelle la vitesse d'écoulement de la boue est inférieure à la vitesse de sédimentation. Connaissant cette vitesse de sédimentation, nous utilisons un réservoir de section suffisante pour qu'à un débit fixé, la vitesse soit suffisamment réduite pour respecter cette condition. Au cours de la première étape, la boue est introduite par la base d'un tonneau fermé (fig. 12-13), à un débit suffisamment faible, eu égard aux dimensions du tonneau, pour que la matière solide puisse sédimenter. A l'extrémité haute du tonneau, la boue passe à travers un lit de paille, de quelques centimètres d'épaisseur et le filtrat est recueilli puis évacué (en pratique, sur site, il sera renvoyé en tête de station).

La seconde étape correspond au ressuyage lent de la boue épaissie sur un lit de paille, dont les lixiviats sont également recueillis (sur site, renvoyés en tête de station).



Figure 11 : Consistance de la boue obtenue après épaississement par filtration ascendante et avant filtration gravitaire.

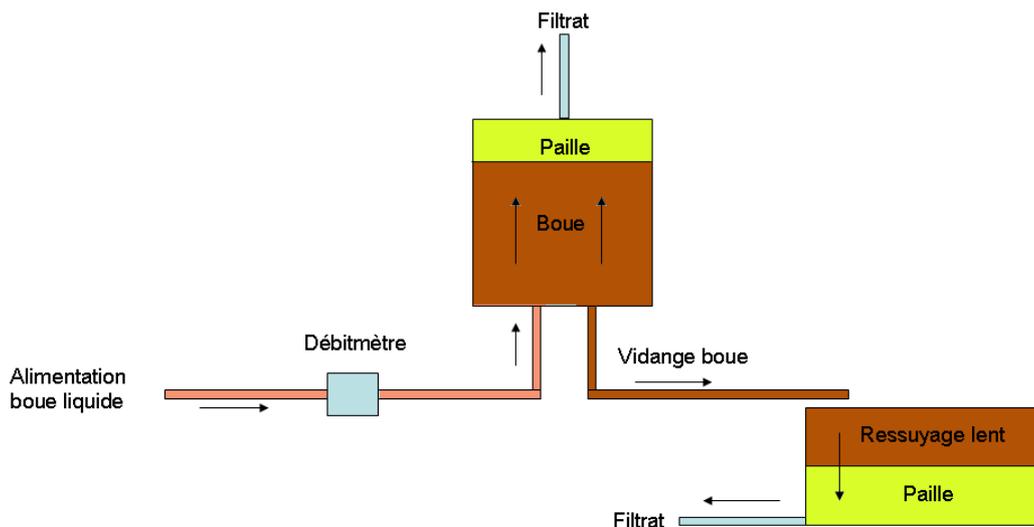


Figure 12 : schéma de principe de l'installation.

Les résultats sont probants puisque le filtrat recueilli en sortie de la filtration ascendante est clair, une fois la paille "lavée" (fig. 14).

Dans notre cas, nous avons utilisé un tonneau de 100 litres, d'une hauteur de 80 centimètres, contenant 5 kilogrammes de paille (très aérée) dans lequel la boue est introduite en provenance d'une tonne à lisier. A l'extrémité supérieure, une grille retient la paille dans le tonneau pour éviter le bouchage de l'orifice d'évacuation du filtrat. Au fur et à mesure du remplissage du tonneau, la paille monte et vient s'agglomérer contre la grille pendant que la matière solide sédimente. La matière non sédimentée est alors retenue par la paille, de même que la matière sédimentée lorsque le tonneau est plein de boue concentrée.



Figure 13 : Installation du système de filtration en deux étapes. La filtration ascendante est réalisée dans le tonneau vert tandis que la filtration gravitaire secondaire a lieu dans le bac. L'alimentation se fait via la conduite au premier plan et est réglée par un débitmètre (boîtier noir). A l'origine, la boue épaisse devait transiter via la conduite, mais les pertes de charge sont trop importantes : la vidange du tonneau se fait manuellement par seau. A l'avvenir, il conviendra donc de positionner le bac sous le tonneau pour que la vidange puisse être automatisée.

Nos essais ont été réalisés à un débit de 2 litres par minute. Des débits plus élevés ont été testés, mais le système semble se réguler de lui-même aux environs de 2L/min à cause des pertes de charge liées au passage à travers l'amas pailleux.



Figure 14 : Qualité et performance de la filtration ascendante. Les flacons supérieurs contiennent la boue avant filtration à différents instants tandis que les flacons inférieurs contiennent le filtrat recueilli après filtration au même pas de temps, sauf pour le premier car il faut compter 1h30 de remplissage du réservoir. La coloration du filtrat est due au lavage progressif de la paille. Le flacon "ressuyage" contient le filtrat recueilli après la filtration gravitaire de la boue concentrée sur le lit de paille. Comme pour la première étape, il est coloré par la paille mais est peu (voire pas du tout) chargé.

3. Filtration ascendante

Lorsque le débit devient insuffisant, voire s'annule, cela signifie que le tonneau est plein de boue (à 50g/L). Il est alors vidangé par le bas vers le bac de filtration gravitaire, d'une contenance de 400 litres (fig. 15). La filtration s'achève lentement, sans avoir recours à un géotextile, et en obtenant un filtrat propre, peu chargé, bien que coloré par la paille, au début de l'opération (fig. 14 et 16)



Figure 15 : Aperçu du bac de filtration gravitaire après remplissage avec de la boue concentrée.

Avec seulement 5 kilos de paille, nous avons filtré 7000 litres de boue à 5 grammes par litre, soit 35 kilogrammes de matières sèches. A raison de 2 litres par minutes, il faut, avec notre dispositif, 3500 minutes, soit un peu plus de 58 heures pour filtrer la totalité de la tonne à lisier, sans prendre en compte la vidange du tonneau, tous les 1000 litres, c'est-à-dire toutes les 8 heures environ.



Figure 16 : Filtrat recueilli après l'étape de filtration gravitaire. La coloration jaune foncé est due à la paille qui colore le filtrat.

Ainsi, toutes les 8 heures, 100 litres de boue à 50 grammes par litre sont versés sur le lit de paille pour être filtrés à un débit mesuré de $1/6^{\text{ème}}$ de litre par minute. Il faut donc 600 minutes, soit 10 heures pour filtrer ces 100 litres qui sont apportés toutes les 8 heures. Dans l'optique d'un procédé en continu, le bac de 400 litres est sous-dimensionné. Cependant, il

était approprié dans le cadre de nos expérimentations puisque la filtration gravitaire s'effectuait la nuit, après la vidange du tonneau en fin de journée.

En restant dans ce schéma d'une filtration ascendante pendant 8 heures et d'une filtration gravitaire nocturne, notre dispositif (un tonneau de 100 litres et un bac de 400 litres) permet donc de filtrer la production quotidienne d'une petite station de 100 habitants, toujours sur la base d'une production de 10 litres à 5 grammes par litre par habitant et par jour.

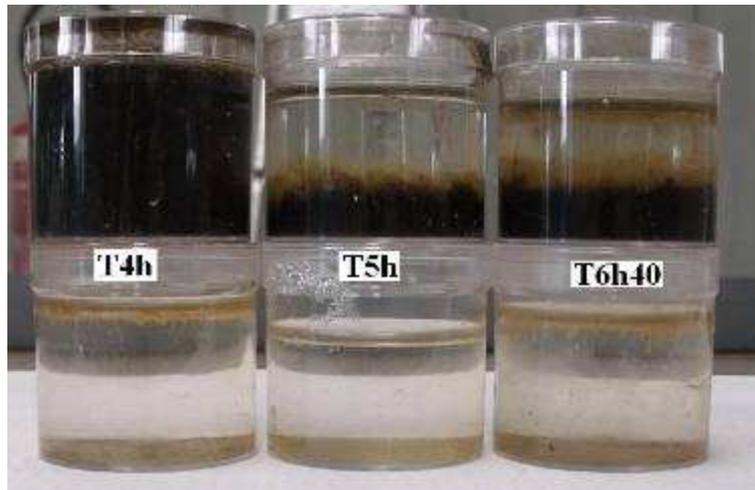


Figure 17 : Evaluation de la performance de la filtration ascendante. Les flacons du haut contiennent la boue initiale, les flacons du bas le filtrat recueilli.

Ces essais ont été répétés trois fois, avec à chaque fois le même rendement de filtration (fig. 17 et 18), tout en conservant les mêmes quantités initiales, à savoir 5kg de paille et 7000 litres de boue à 5 grammes par litre.

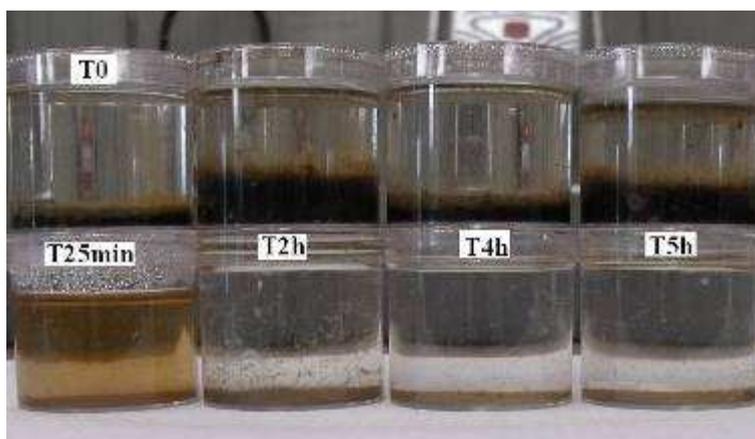


Figure 18 : Evaluation de la performance de la filtration ascendante, après un troisième essai. Les flacons du haut contiennent la boue initiale, les flacons du bas le filtrat recueilli.

A la fin de l'opération, lorsque l'écoulement à l'exutoire du bac de filtration gravitaire cesse, après plusieurs remplissages, le fumier produit est mis en tas et continue doucement de suinter pour augmenter la siccité finale. Après 4 semaines de stockage, la siccité du fumier était de 27%, avec une teneur en matières minérales de 11%, soit un peu plus du double de ce que permet d'obtenir la filtration gravitaire seule, ce qui signifie que moins de paille est nécessaire

pour aboutir à un résultat similaire. Cependant, il faut admettre que la quantité de paille est encore trop importante, si l'on se réfère aux concentrations habituellement rencontrées pour les fumiers de bovins.



Figure 19 : Fumier de boue obtenu après déshydratation en deux étapes.

4. Caractérisation des matériaux obtenus

4.1. Essais à la boîte de Casagrande

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, (fig. 20).

Si le matériau est cohésif, selon la théorie, la représentation graphique de τ en fonction de N est une droite ne passant pas par l'origine, dont la pente est le coefficient de friction interne et la cohésion est l'ordonnée à l'origine.

En pratique, on applique un effort normal constant et on mesure l'effort tangentiel en fonction du déplacement. Cette mesure est répétée avec des efforts normaux croissants, ce qui nous permet d'obtenir les couples (force tangentielle; force normale) nécessaires à la détermination des caractéristiques des matériaux.

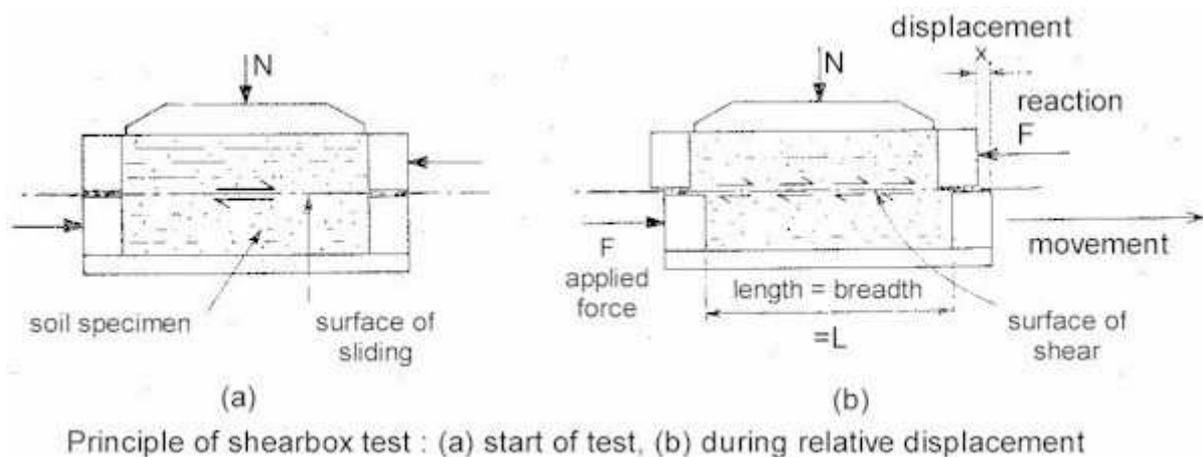


Figure 20 : Principe de la boîte de cisaillement (a : état initial, b : déplacement).

Appliquée sur le fumier de boue, cette technique a donné des résultats très contrastés (fig. 21) puisqu'il nous a été impossible d'obtenir une droite. Ce résultat est attribué à la présence de la paille, encore trop fraîche pour être rompue lors d'efforts élongationnels. Aussi, étant donnée l'hétérogénéité des échantillons prélevés, même à raison d'un volume nominal de 5 litres par essai, les résultats sont pour l'instant trop bruités pour être exploités.

Ce résultat est obtenu même après maturation du fumier : il n'a jamais été possible d'obtenir des résultats corrects à la boîte de cisaillement. Même après 6 mois de stockage, la paille n'est pas encore assez dégradée et résiste encore au cisaillement. Ce résultat sera préjudiciable, comme on le verra par la suite, à l'homogénéité de l'épandage.

Aussi, on peut déjà souligner que même si le paillage est une technique intéressante pour épaissir les boues des petites stations rurales et aider à obtenir un fumier qui tienne en tas, il apparaît nécessaire de compléter le procédé par une étape de compostage, qui permettra d'obtenir un matériau plus homogène.

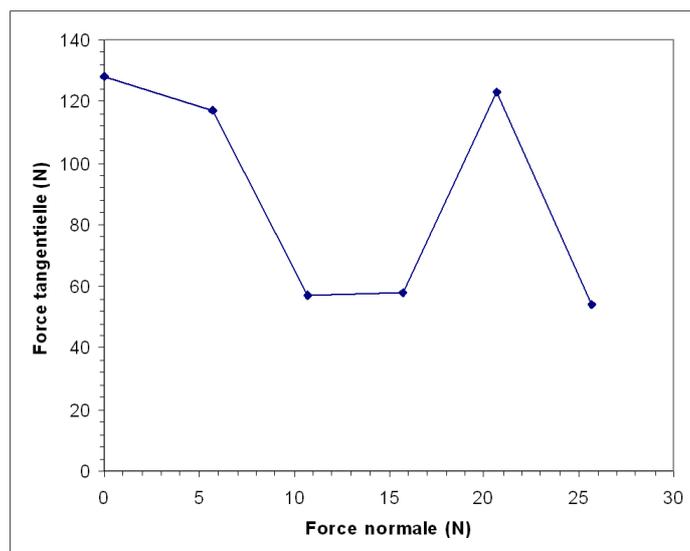


Figure 21 : Courbe atypique de cisaillement du fumier de boue à la boîte de Casagrande. Le bruitage est attribué à la présence de paille fraîche, résistante au cisaillement.

4.2. Test d'épandage

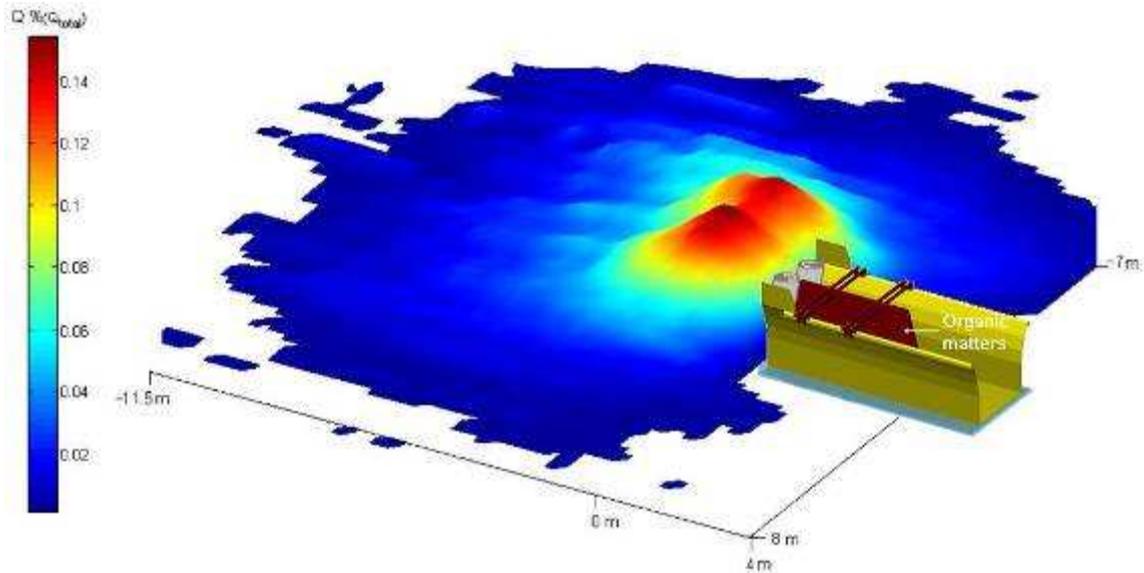


Figure 22 : Demi-nappe d'épandage obtenue avec un demi-épandeur et le fumier de boue. La nappe montre clairement un surdosage à proximité du hériçon et rapidement un sous-dosage sur la zone environnante.

Le test d'épandage a été réalisé sur le CEMOB, l'un des plateaux techniques du site du Cemagref de Montoldre. Celui-ci permet d'obtenir en même temps la répartition longitudinale et latérale et donc de reproduire spatialement et en temps réel la nappe d'épandage en 3D.

Nous avons utilisé sur ce banc un demi-épandeur, permettant d'avoir la répartition engendrée par un seul hériçon (fig. 22). Par symétrie, on obtient la nappe complète (fig. 23).

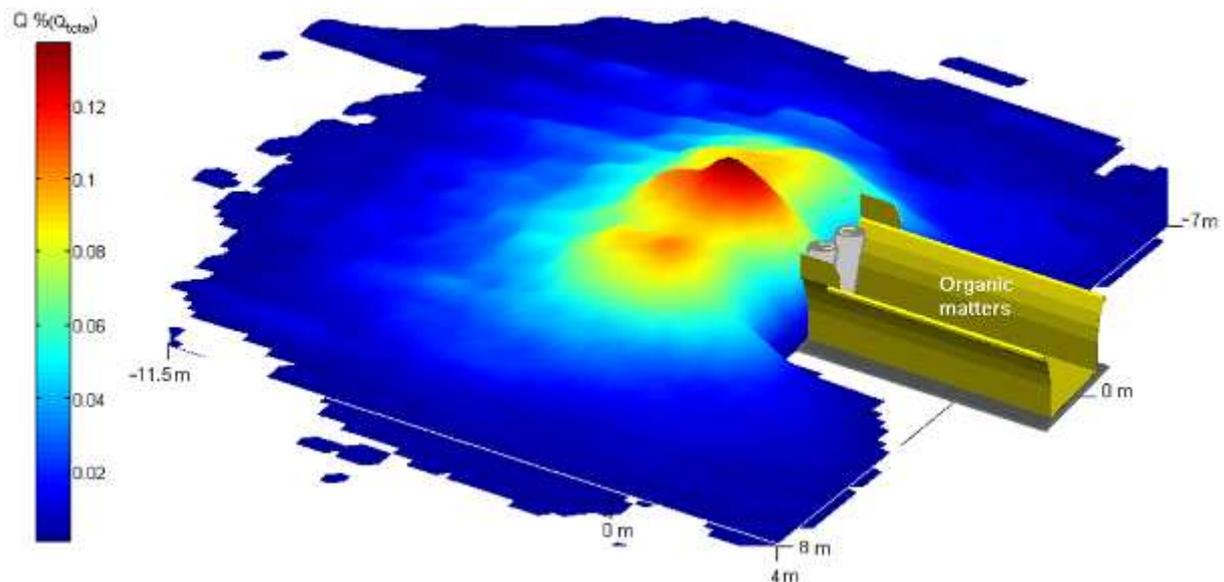


Figure 23 : Nappe d'épandage complète, obtenue par symétrie. On notera un excès de fumier au centre, au milieu des deux hériçons et une rapide diminution, tant latéralement que longitudinalement.

La principale information apportée par ce test est la très mauvaise épandabilité du matériau obtenu. La répartition, tant latérale que longitudinale, est très mauvaise, avec une concentration de la dose dans l'axe de l'épandeur, ce qui se traduira au champ par des surdosages localisés au niveau des passages de l'épandeur et des sous-dosages partout ailleurs.

Ce résultat corrobore les résultats constatés à la boîte de cisaillement : l'hétérogénéité entraîne une répartition hétérogène. La forme très pointue et localisée de la nappe est principalement due à l'excès de paille : des nappes similaires ont été obtenues avec des fumiers très pailleux.

Aussi, la pertinence du procédé passe nécessairement par une réduction de la quantité de paille, ce qui implique des zones de ressuyage plus importantes, et des opérations ultérieures de compostage du fumier, permettant d'obtenir un matériau très homogène, s'épandant très bien. Une maturation simple du fumier n'est, à l'évidence, pas suffisante.

5. Conclusion

L'objectif de ce projet était de mettre au point un procédé rustique permettant de réduire à bas coûts le volume des boues liquides produites dans les petites stations rurales. Par analogie avec les effluents d'élevage, produire un fumier de boue, avec une filtration sur paille, a été la solution étudiée, dans la mesure où un fumier favoriserait également l'image de la valorisation agricole.

Les premiers essais au laboratoire, peu concluants, ont simplement consisté à filtrer la boue liquide sur un lit de paille. Il est rapidement apparu que la vitesse d'écoulement était trop importante pour que les particules solides aient le temps de sédimenter, même en utilisant un flocculant.

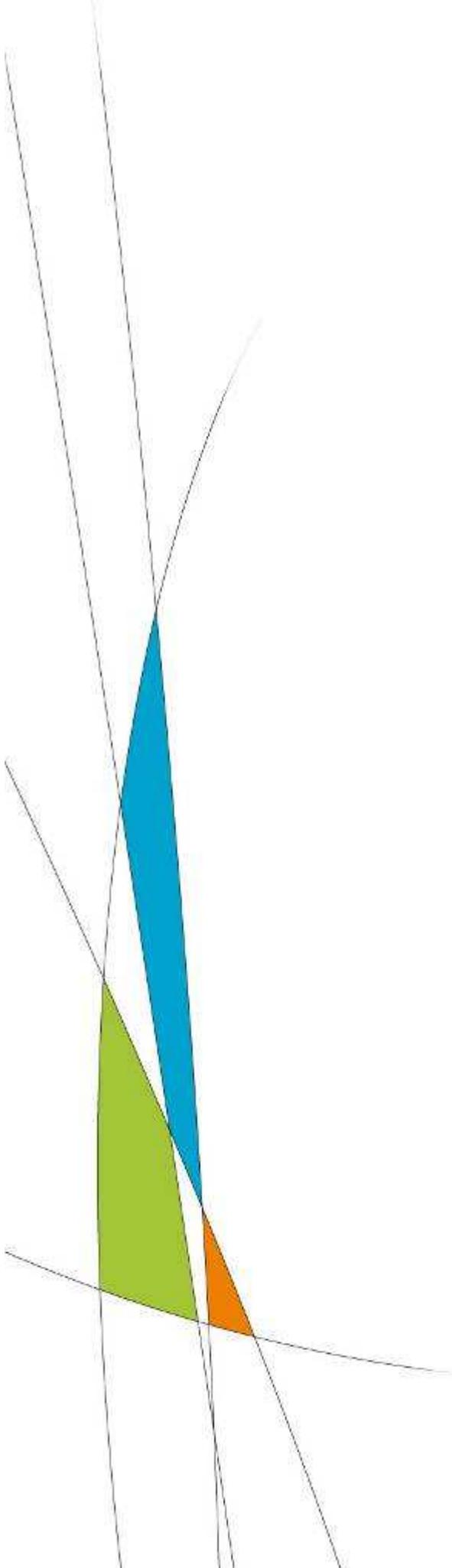
Au cours de l'étape suivante, toujours au laboratoire, nous avons cherché à ralentir l'écoulement, d'abord en tassant la paille, sans plus de résultat, puis en utilisant un géotextile en guise de toile filtrante. Cette dernière tentative a permis d'obtenir des résultats plus probants.

Pour aller plus loin dans cette voie, nous sommes ensuite passés aux essais à l'échelle 'préindustrielle' en utilisant des volumes plus importants, de l'ordre de 8000 litres à chaque fois. Ces essais se sont d'abord naturellement orientés vers une aspersion gravitaire lente, permettant d'avoir à la fois un débit faible, une vitesse d'écoulement lente et une répartition homogène de la boue sur tout le filtre. Avec ce procédé, le filtre a accompli sa mission, en retenant la matière solide et en évacuant un filtrat clair. Cependant, une saturation progressive du filtre limitait ses performances. Mais le principe général reste valable : avoir une vitesse d'écoulement inférieure à la vitesse de sédimentation pour permettre la rétention des particules solides par la paille.

La solution retenue fut donc d'avoir une déshydratation en deux étapes avec, d'abord une filtration ascendante permettant en régulant de débit de produire une boue liquide épaissie à 50 grammes par litre, puis un ressuyage gravitaire de ce liquide pâteux sur un lit de paille. Cette solution présente plusieurs avantages non négligeables : elle permet d'une part de ne pas avoir recours à un géotextile ni à un quelconque flocculant, ce qui est un atout majeur pour la pérennisation de la valorisation agricole et d'autre part d'obtenir un ressuyage lent, pendant toute la durée du stockage, sans intervention humaine sur cette seconde partie. Enfin, ce procédé permet également de proposer uniquement un épaisseur qui fonctionne correctement, avec des performances supérieures aux épaisseurs actuellement utilisés.

La déshydratation en deux étapes, par épaissement ascendant et ressuyage gravitaire nous permet de filtrer 7000 litres de boue à 5 grammes par litre, soit 35 kilogrammes de matières sèches en une seule fois, c'est-à-dire sans nettoyer la paille, à un débit de 2 litres par minutes. Il faut donc un peu plus de 58 heures pour filtrer 7000 litres. Notre système est donc opérationnel pour les petites stations d'épuration rurales, jusqu'à 1000 équivalent-habitants. Pour des tailles supérieures, le système doit être dimensionné correctement et sans doute automatisé, au niveau du nettoyage et du remplacement de la paille. C'est sur cette partie que notre travail va désormais se focaliser : développer un système automatisé, limitant l'intervention humaine et permettant d'épaissir la boue produite par des stations d'épuration de 2000 à 5000 équivalent-habitants.

Cependant, le fumier ainsi produit est difficile à épandre, avec une répartition trop hétérogène pour obtenir un épandage régulier. Il apparaît nécessaire de compléter la filtration sur paille par une étape de compostage, permettant d'obtenir un matériau plus homogène qui, par expérience, s'épand très bien.



Résumé

Ce projet consiste à mettre au point un procédé rustique permettant de réduire à bas coûts le volume des boues liquides produites dans les petites stations rurales. Par analogie avec les effluents d'élevage, et dans la mesure où un fumier favoriserait également l'image de la valorisation agricole, il a été choisi de produire un fumier de boue, avec une filtration sur paille.

La solution retenue est une déshydratation en deux étapes, avec d'abord une filtration ascendante, permettant, en régulant de débit, de produire une boue liquide épaissie à 50 grammes par litre, puis un ressuyage gravitaire de ce liquide pâteux sur un lit de paille. Cette solution permet de ne pas avoir recours à l'emploi de flocculant, ce qui est un atout majeur pour la pérennisation de la valorisation agricole. Ce procédé permet également de proposer uniquement un épaississeur qui fonctionne correctement, avec des performances supérieures aux épaississeurs actuellement utilisés.

Cependant, le fumier ainsi produit est difficile à épandre, avec une répartition trop hétérogène pour obtenir un épandage régulier. Il apparaît nécessaire de compléter la filtration sur paille par une étape de compostage, permettant d'obtenir un matériau plus homogène qui, par expérience, s'épand très bien.



Centre de Clermont-Ferrand
24 avenue des Landais
BP 50085 – 63172 Aubière Cedex
Tél. 04 73 44 06 00
Fax 04 73 44 06 97
www.cemagref.fr/tscf