

## THE SLUDGEMATTRESS, UNE ROUTE DECONTAMINANTE

J. van Ruijven

GeoDelft, The Netherlands

[j.vanruijven@geodelft.nl](mailto:j.vanruijven@geodelft.nl)

H. Wevers

Royal Boskalis Westminster, The Netherlands

[h.h.a.g.wevers@boskalis.nl](mailto:h.h.a.g.wevers@boskalis.nl)

W. Ponsteen & M. Kruidenink-Meijer

Department of Transport, Public Works and Water Management, The Netherlands

[wim.ponsteen@rws.nl](mailto:wim.ponsteen@rws.nl) & [margriet.kruidenink@rws.nl](mailto:margriet.kruidenink@rws.nl)

### RESUME

En 2003 le ministère Hollandais des transports et de la gestion de l'eau a organisé un concours à l'échelle européenne ' La Route décontaminante '. Dans ce concours, les projets devaient utiliser les infrastructures routières pour recycler des boues contaminées. Le concept 'De Baggerspeciematras' ou 'matelas de boue' (Sludge mattress) imaginé par GeoDelft en association avec Boskalis Royal Westminster a été primé. La réalisation et le test en vraie grandeur ont eu lieu entre septembre 2005 et mai 2007.

Le 'matelas de boue' est un matériau de construction produit à partir de boues qui sera naturellement décontaminé pendant la durée de vie de la route. Ce matériau est léger de sorte que l'effet de tassement des sols meubles est limité. Ce procédé permet d'obtenir un matériau économiquement concurrentiel avec le sable. Après avoir enlevé les matériaux bruts la boue est convertie en une mousse résistante et perméable en utilisant des agents liants, de la mousse et des fibres organiques. Le matelas de boue est perméable ce qui rend possible sa décontamination. L'eau de pluie s'écoule à travers le matériau et lave les contaminants. Le lixiviat contaminé est nettoyé dans une zone écologique à coté de la route.

Cet article décrit le concept et ses avantages. Il fournit un aperçu des faisabilités économiques et techniques de son application à grande échelle. A PIARC 2007 les premiers résultats de laboratoire et du test pilote seront présentés.

## 1. INTRODUCTION

Les Pays Bas se sont énormément développés au cours des 50 dernières années. Le nombre d'habitants a doublé pour atteindre 16 millions, l'économie a cru de façon considérable ainsi que le niveau de vie. De plus des nouvelles exigences sont imposées au niveau de l'environnement. La croissance de l'économie et la position géographique favorable font de la Hollande le pays du transport en plus de la connaissance. Ces développements entraînent de nouveaux besoins en matière de mobilité qui requièrent la construction de nouvelles routes et l'agrandissement des routes existantes créant ainsi de nouvelles contraintes sur l'environnement et occupant un espace disponible devenant de plus en plus rare. Cet espace est encore réduit à cause de l'extraction de matériaux de construction. Chaque année 10 millions de m<sup>3</sup> de boues sont extraits des canaux et, pour leur majeure partie, stockés dans des grandes décharges qui nécessitent aussi de l'espace. Ce n'est donc pas un hasard si leur réutilisation comme matériau de construction est économiquement attractif. Leur décontamination pendant la durée de vie de la route offre également un avantage supplémentaire.

Le ministère Hollandais des transports et de la gestion de l'eau lança le programme "Route du futur" dont le programme "route décontaminante" fait partie. 'Route du futur' a pour objectif de rendre le transport routier aux Pays Bas plus propre, plus sûr, plus silencieux, plus confortable et de diminuer les embouteillages. A partir d'un appel d'offres, 'route du futur' a proposé aux acteurs du marché de fournir des idées pour développer une méthode permettant de réutiliser les produits de dragage et de les décontaminer sous, ou à proximité, de la route. [1].

Pendant le printemps 2004, l'institut hollandais de Geo-engineering, GeoDelft et l'entreprise de dragage Royal Boskalis Westminster furent les gagnants de la phase développement d'idées avec leur concept 'matelas de boue'. Dans la phase suivante, l'idée a été développée vers une solution pratique. Avec ce concept breveté de 'matelas de boue' (The SludgeMattress) [2] l'association entre GeoDelft et Royal Boskalis Westminster a été l'un des deux gagnants du concours "la route décontaminante" pendant l'automne 2004. On a proposé aux gagnants de cette deuxième phase de mise en pratique de réaliser un pilote en vraie grandeur pour tester leur concept, ce qui a été fait au cours de l'été et de l'automne 2005.

Le 'matelas de boue' a été appliqué avec succès en réalisant un matériau de construction pour les routes, résistant, léger à partir de boues. Ce matériau est utilisé suivant les techniques classiques et les principes biologiques standards de décontamination des boues.

Cet article décrit les principes de base du 'matelas de boue'. La deuxième partie montre la transformation des boues en matériau de construction léger. Les paragraphes suivants décrivent le procédé de décontamination du matériau et le traitement des eaux dans un accotement écologique. Enfin, on donne les avantages généraux et un aperçu des développements et applications futures.

Le poster présenté à PIARC 2007 donnera les premiers résultats de laboratoire et du test pilote.

## 2. PRINCIPE DE BASE

Le concept de 'matelas de boue' débute avec la boue elle même qui est décrochée du fond des canaux avec une sorte d'aspirateur puis extraite sous forme d'une boue très liquide. Une substance brune ayant la consistance d'un yogourt subsiste et est transportée sur le site de construction par bateau ou pipeline.

La préparation du site de construction débute par la construction d'une zone de rétention destinée à recevoir les boues. A l'intérieur, un liner en plastique est déposé de façon à empêcher les contaminants de s'écouler dans le sol. Une couche de drainage a base de sable grossier est placée sur le liner. Pendant le transport, ou sur le site de construction, la boue est mélangée à des agents liants, retardateur de réaction, de la mousse et des fibres organiques. Après addition d'un initiateur, la boue est déversée dans la zone de rétention. En l'espace de deux jours, le mélange est suffisamment solide pour permettre la poursuite des opérations. Une couche de drainage est étalée sur le lit de boues ainsi créé, puis une couche de fondation et enfin la couche finale habituelle. Le long de la route des puits permettent d'accéder à la couche de drainage. Un aperçu de la construction et du système de drainage est donné sur la Figure 1.



Figure 1 - Schéma de la route, du système de drainage et de la zone écologique

Pendant la durée de vie de la route, le 'matelas de boue' est rincé par l'eau de pluie. L'eau percole gravitairement et est répartie sur le 'matelas de boue' par la couche de drainage. Elle s'écoule à travers les canaux et les micropores créés par la mousse et les fibres organiques. Les propriétés du 'matelas de boue' permettent sa décontamination.

Le liant dans le mélange produit un pH élevé qui initie un processus de lixiviation et de diffusion. L'eau entraîne les contaminants extraits et la couche inférieure de drainage permet leur évacuation vers l'accotement écologique.

Les accotements de la route constituent une zone écologique facile d'accès contenant un système de filtration à base de tourbe ou de tourbe sèche, un caniveau anaérobie et une zone marécageuse avec de la végétation. Dans cette zone les contaminants sont adsorbés, immobilisés ou dégradés de sorte que de l'eau propre peut être renvoyée dans la nature. Le filtre de tourbe ou de paille neutralise l'eau et adsorbe les hydrocarbures ou les métaux lourds. Le traitement final dans le caniveau anaérobie et dans la zone marécageuse (filtre halophyte) élimine les contaminants restant. Les métaux lourds non adsorbés seront immobilisés dans la phase anaérobie du caniveau et les matériaux organiques non adsorbés seront oxydés par un filtre halophyte.

### 3. MATERIAUX ET CARACTERISTIQUES

#### 3.1 Type de boues

Il est possible de modifier le dosage des additifs pour s'adapter aux différents types de boues. Le procédé du 'matelas de boue' est applicable à tous les types de boues même les boues pauvres en sable et riches en limon.

#### 3.2 Composition

La première étape de mélange consiste à rajouter des fibres organiques comme de la paille, du foin ou des copeaux de bois puis de la mousse. Les fibres organiques permettent de connecter les micropores avec les canaux produits par la mousse. La mousse rend le matériau léger. En ajoutant les fibres à la mousse, la perméabilité est considérablement accrue.

Après cette étape un liant et un decelerator est ajouté. Le liant est matériau à base d'oxyde de calcium. Le decelerator est un agent tensioactif qui permet de manipuler et de pomper le mélange pendant des jours. La composition de la boue détermine les différents ratios qui peuvent varier de 75 à 200 kg/m<sup>3</sup> pour le liant, de 3 à 4 kg/m<sup>3</sup> pour le decelerator, de 50 à 100 kg/m<sup>3</sup> pour la mousse, et de 50 à 150 kg/m<sup>3</sup> pour les fibres organiques.

Après mélange, un initiateur est rajouté pour lier les oxydes de calcium. L'initiateur et les fibres organiques activent également la lixiviation et les processus limités par la diffusion dans le mélange.

#### 3.3 Caractéristiques

Une PMF (Polarization Fluorescent Microscopy) comme indiquée sur la figure 2, met en évidence la minéralogie et la microstructure. Le matériau contient du quartz, des carbonates, des fibres organiques et ciment. Le matériau a une structure homogène et les pores sont clairement visibles.

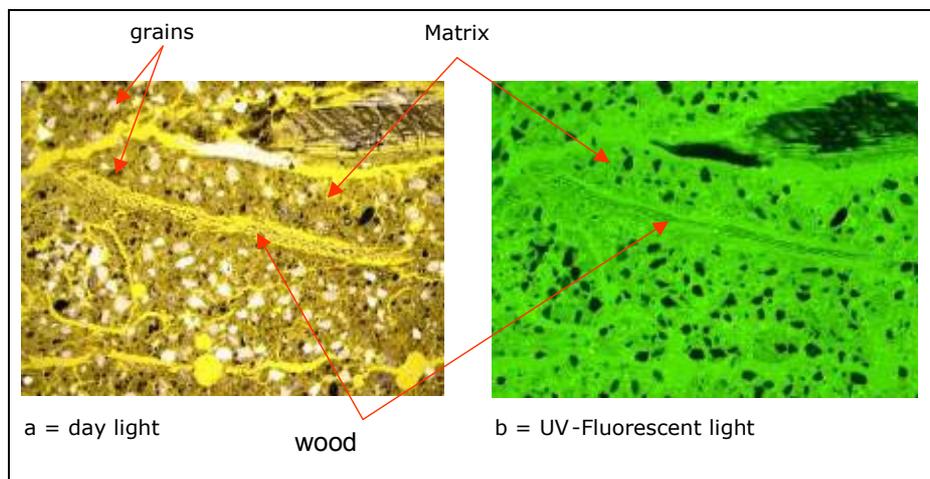


Figure 2 - PMF-photo 5,4 mm x 3,5 mm de Sludge Mattress [3]

Pour le contrôle de faisabilité, différentes boues ont été testées : des boues contenant différents niveaux de contamination (de légère a forte suivant la législation hollandaise (classe 1 et 3) et ayant des teneurs en sable faible et forte. Les produits finaux ont été testés suivant les trois axes en terme de compression, E-module, et perméabilité. Outre les tests suivant les trois axes, la densité a été mesurée. La résistance variait entre 400 et 900 kPa (a 2% extensibilité) et la E-module entre 20 et 130 kPa suivant la quantité de liant. La densité variait entre 1.100 et 1.300 kg/m<sup>3</sup> suivant la quantité de mousse. La E-module diminue avec la quantité de fibres organiques. Avec une quantité suffisante de fibres organiques une perméabilité de 1 x 10<sup>-5</sup> m/s a pu être obtenue.

### 3.4 Processus de décontamination

A l'aide de la loi de Fick [4] une première estimation de l'efficacité de décontamination a pu être obtenue. Elle montre que la fraction libre d'hydrocarbures poly-aromatiques peut être dépolluée en deux ans. Pour la quantité présente de Zn, cela peut prendre jusqu'à 18 ans. Ainsi, pendant la durée de vie d'une route (>50 ans) le 'matelas de boue' est décontaminé et transformé en matériau de construction.

### 3.5 La zone écologique

Dans la zone écologique, les contaminants extraits sont adsorbés, immobilisés ou dégradés de sorte qu'une eau propre peut être rejetée dans la nature. La zone écologique contient trois éléments : un filtre de tourbe ou de paille, un canal de liaison anaérobie et des filtres halophytes. La Figure 3 fournit un aperçu du processus de décontamination.

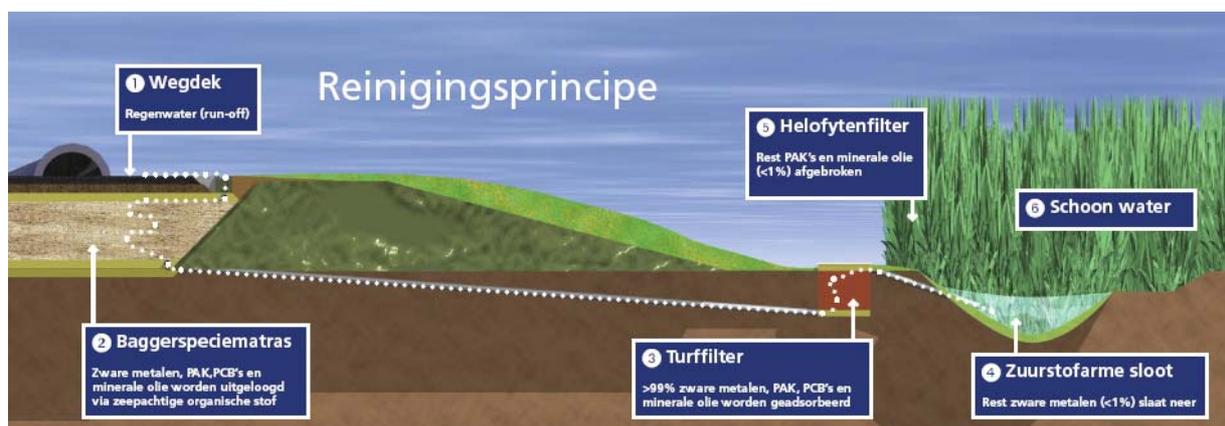


Figure 3 - Vue générale

Le 'matelas de boue' en utilisant des techniques classiques de drainage, la tourbe ou le filtre de paille ramène le pH a des valeurs naturelles. Lorsque le pH baisse, les colloïdes organiques flocculent avec les contaminants organiques et se déposent sur la tourbe. Comme démontré par le calcul avec Ecosat [8], la tourbe absorbe 99% des métaux lourds rejetés par le 'matelas de boue'. Bien qu'on n'attende pas de rejets d'Arsenic du 'matelas de boue' [9], le

calcul montre que l'Arsenic ne s'adsorbe pas sur la tourbe. Si nécessaire, de l'oxyde de fer peut être ajouté à la tourbe pour améliorer son adsorption. Au cours du temps la tourbe doit être remplacée. La tourbe ainsi extraite peut être brûlée dans des incinérateurs de déchets classiques. Les métaux lourds se concentrent alors dans les cendres.

Les métaux qui passent le filtre de tourbe sont traités dans l'accotement écologique. Dans cet accotement, on ajoute un fumier organique riche en sulfates. Des bactéries sulfato réductrices comme *Desulfovibrio* et *Desulfobacter* vont se développer dans ces conditions et réduire les sulfates en sulfures. Ces sulfures vont précipiter les métaux lourds encore présents dans l'eau. Ce procédé a été testé aux USA [10]. Ensuite, le canal anaérobie distribue l'eau sur les filtres halophytes constitués de filtres à sable plantés de roseaux. Dans le filtre halophyte, la zone des racines est utilisée [11] pour adsorber et/ou dégrader les contaminants dans la zone aérobie. Le filtre halophyte est déjà utilisé de façon commerciale pour nettoyer les eaux usées domestiques.

### 3.6 Pilote grandeur nature

Pendant l'été 2005, un pilote grandeur nature a été lancé a proximité de la ville de Beesd (Pays Bas), à l'endroit où l'on prévoyait l'élargissement de l'autoroute A2. Les conditions géotechniques sont défavorables dans cette zone. Avec une construction routière classique, on pouvait s'attendre à des affaissements importants. Le concept du 'matelas de boue' léger a pu être ainsi pleinement testé.





Figure 4 - Aperçu du pilote grandeur nature du 'matelas de boue' (H. de Bont, Boskalis Dolman)

Les photos montrent de gauche à droite et de haut en bas les points suivants : (1) mise en place de la couche de drainage, (2) installations de mélange, (3) apport de la boue, (4) fosse anaérobie et filtre halophyte, (5) filtre de tourbe, (6) route définitive.

Au total  $800 \text{ m}^3$  de boues ont été utilisées, ce qui a donné environ  $1.200 \text{ m}^3$  de mélange (soit une augmentation de volume d'environ 50%). Ces 50% se répartissent en 60% de mousse et 40% d'additifs. La densité sèche varie entre  $900 \text{ kg/m}^3$  et  $1.100 \text{ kg/m}^3$  (saturée entre  $1.100 \text{ kg/m}^3$  et  $1.300 \text{ kg/m}^3$ ).

#### 4. AVANTAGES GENERAUX

Les avantages généraux 'matelas de boue' peuvent être résumés comme suit :

- Le 'matelas de boue' allie une réutilisation de matériaux secondaires (boues) et une économie de matériaux de construction primaires.
- Utilisation de route en ajoutant des fonctionnalités de retraitement.
- Des calculs basés sur des sols hollandais typiques montrent que le procédé est économiquement compétitif.
- Les affaissements des routes dans des régions de sols meubles peuvent être réduits de 25% par rapport à l'utilisation de sable.
- Le temps de construction peut être réduit de 30% en utilisant le 'matelas de boue' au lieu des méthodes de construction conventionnelles.
- L'entretien des routes peut être optimisé en utilisant le 'matelas de boue' (durée de vie).

#### REFERENCES

1. Wegen naar de Toekomst 2004. "*Factsheet pilot The Remediating Road*". [www.wegennaardetoekomst.nl](http://www.wegennaardetoekomst.nl).
2. Molendijk, W.O., A.T. Aantjes, W.H. van der Zon, and E.E. van der Hoek (patent pending). 2004. "*Construction Material based upon a Sludge or Tailing Materials from Mineral Processing or other Industrial Processes*". GeoDelft.
3. Larbi, J.A.. 2004. "*PFM onderzoek monster Baggerspeciematras*". TNO-Bouw, afdeling Civiele Infrastructuur.
4. KEMA. 1997. "*Limit Values for Immobilizers in Diffusion Test under Different Landfill Conditions*" (in Dutch) KEMA 65511-KST/MAT 97-2515.
5. ECN. 1997. "*Diffusion Test for Granular Materials*" (in Dutch). ECN-C-97-020.
6. [www.knmi.nl](http://www.knmi.nl)
7. Commission Integral Water Management. 2002. "*Run-off Water from Roads*" (in Dutch).
8. Keizer, M. G. and W. H.van Riemsdijk. 2002. "*Ecosat (version 4.7) User Manual*", Wageningen University Environmental Sciences.
9. Hoek, E. E. van der. 1995. "*Speciation of Arsenic and Selenium during Leaching of Fly Ash*", PhD thesis University Utrecht.
10. IRCT Wetland Team. 2003. *Technical and Regulatory Guidance Document for Constructed Treatment Wetlands*. IRTC, p199.
11. IWACO. 2000. "*Brain Storm Session Optimisation Halophyte filters Dutch Flower Gardens*" (in Dutch).