

ESSORAGE DES SEDIMENTS DE PORTS AU MOYEN DE TUBES GEOSYNTHETIQUES

DEWATERING OF HARBOUR SEDIMENTS WITH GEOSYNTHETIQUES TUBES

Romain DURAND¹, Laurent BITAUDEAU¹, Jean-Philippe ROUDIER², Matthieu ROBY³

¹ HUESKER France SAS, Rue Jacques Coulaux, 67190 Gresswiller, France

² ALZEO Environnement

³ EMCC

RÉSUMÉ – Les ports des littoraux sont de façon générale confrontés à des dépôts de sédiments qui conduisent à terme à des difficultés d'exploitation et de sécurité. Ces boues en fond de darse sont souvent polluées. Le recours à des tubes d'essorage de boues est la solution idoine pour l'essorage des sédiments de port. D'une emprise limitée, plus rapide que les lagunes et permettant des rendements volumiques très supérieurs aux solutions d'essorage mécanique, cette technique s'impose comme un compromis idéal volume traité/surface disponible/temps alloué. Pour caractériser au mieux le fonctionnement et l'efficacité de la solution pour l'encapsulation des boues, un suivi scientifique a été réalisé lors de l'essorage de 50 000 m³ de sédiments dans le port de Husum en Allemagne au moyen de tubes d'essorage SoilTain®. Un retour d'expérience réussi du projet du port du Crouesty dans le Morbihan est également présenté.

Mots-clés : essorage, boues, sédiments, floculation, siccité, tubes filtrants.

ABSTRACT – Most of the maritime harbours deal with an important sedimentation that lead to sailing and safety problems. Moreover, the sediments are frequently contaminated. The use of sludge dewatering tubes is the best solution for dehydrate the harbours sediments. The tubes solution needs much less place compared to spoil areas. In the meantime, it allows a much faster treatment than mechanical solutions. The use of dewatering tubes is best solution considering treated volument/available area/allowed time. To better know the kinetics and efficiency of sludge dewatering with tubes, the 50 000 m³ project of Husum harbour in Germany has be followed and measured. The positives feedbacks with the French project "port le Crouesty dredging" are also presented in the publication.

Keywords: dewatering, sludge, sediments, flocculation, dry content, geosynthetic tubes

1. Introduction

Le long de ses 6500 km de côte, la France compte 465 abris ou ports recensés. La sédimentation (dépôts de matières en suspension d'origine continentale ou marine) est un sujet majeur au point que tous les ans plus de 50 millions de m³ de sédiments sont dragués dans des ports en France (Alzieu, 1999). Les boues sont en général composées à environ 80 % de vase et 20 % de sable pour les ports marins. Certains ports subissent des vitesses de sédimentations entre 0,5 et 1,0 m par an. Dans ces conditions, le dragage pour maintenir des seuils acceptables pour la navigation est souvent entrepris.

Or pour des raisons écologiques, le rejet en mer, solution majoritaire jusqu'à présent, est de moins en moins toléré en raison de son impact sur la faune et la qualité des eaux, a fortiori lorsqu'il s'agit de boues polluées aux métaux lourds et composants organiques, ou encore parfois, pour les ports non dragués depuis longtemps, par les TBT utilisés comme peinture antifouling sur les coques des bateaux (interdiction mondiale des TBT en antifouling en 2003). Dans ce contexte, la loi 2016-816 du 20 juin 2016 dite « loi pour l'économie bleue » interdit à compter du 1^{er} janvier 2020 les rejets en mer des boues de dragage polluées (article 19).

La gestion à terre de ces sédiments devient donc un sujet d'importance. En raison de leur teneur en eau très élevée, le transport de ces boues est très compliqué et onéreux. Pour faciliter la manipulation

et réduire les volumes avant dépôt définitif, le plus souvent comme déchet, les solutions historiques pour augmenter le pourcentage de matière sèche des boues sont l'épandage dans des bassins/lagunes de décantation ou le recours à des méthodes d'essorage mécanique (Durand et al, 2015).

La déshydratation peut s'effectuer dans des bassins de décantation ou aires de dépôt. Mais les boues draguées ne peuvent pas aisément, sauf mesures très contraignantes, être déplacées telles quelles en raison de leur teneur en eau très importante. La déshydratation doit donc se faire à proximité immédiate du lieu d'extraction. Cependant les aires de dépôts demandent de grandes surfaces, peu compatibles avec les contraintes d'emprise des aménagements urbains autour des ports et peuvent induire des nuisances olfactives et mettre en danger les humains et animaux induisant la nécessité d'une protection. De plus la déshydratation des boues par décantation est peu maîtrisée et peut être très longue, ce qui est le plus souvent inacceptable pour les collectivités.

Pour l'essorage des boues portuaires, une solution d'essorage s'impose de fait. Les systèmes d'essorage peuvent être soit une déshydratation mécanique soit un recours à des tubes d'essorage. La floculation, adjonction de polymère dans la boue pour agglomérer les particules solides, est le plus souvent utilisée pour optimiser la séparation entre les phases solides et liquides.

La déshydratation mécanique peut être effectuée par centrifugation, filtration par filtres à bande pressante ou encore par filtre-presse à plateaux. Ces systèmes sont discontinus et nécessitent une présence humaine importante. Les dragages de ports concernent le plus souvent plusieurs dizaines de milliers de m³ de sédiments alors les systèmes de déshydratation mécanique ne peuvent traiter que des volumes horaires de quelques dizaines de m³/h (Figure 1).

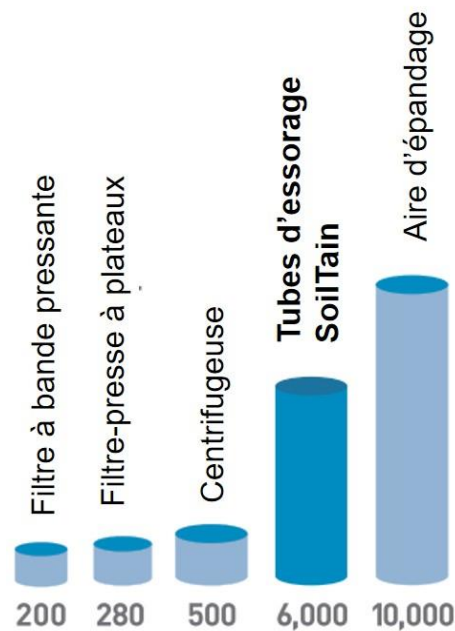


Figure 1 : Capacité de remplissage horaire des différentes méthodes de déshydratation sur la base de 10 h de dragage par jour

L'utilisation de tubes géosynthétiques filtrants est une méthode statique d'essorage des boues par gravimétrie basée sur le rôle de séparation/filtration du géotextile tissé spécifique. Cette solution est de plus en plus souvent retenue pour l'essorage de sédiments portuaires en raison de son rapport très intéressant volume traité/surface de stockage/temps d'essorage (Figure 2).

A titre d'exemple, le dragage de 50 000 m³ de sédiments pollués dans le port de Husum aurait nécessité le recours à 6 centrifugeuses, une dizaine de filtre-presse à plateaux ou une quinzaine de filtre à bande pressante pour réaliser un essorage dans le même délai que les tubes d'essorage.






-  - Tubes d'essorage
Environ 4 mois
-  - Aire d'épandage
Environ 2 ans
-  - Centrifugeuse
Environ 2 ans
-  - Filtre-presse à plateaux
Environ 3,5 ans
-  - Filtre à bande pressante
Environ 4,5 ans

Figure 2 : Temps de déshydratation estimé pour chaque méthode sur la base d'un projet de 100 000 m³ (pour un seul système de déshydratation mécanique)

2. Chantier et instrumentation de l'essorage des sédiments du dragage du port de Husum

2.1. Contexte du projet

Le port de Husum est un port de la côte ouest du Schleswig-Holstein (nord de l'Allemagne). La darse extérieure, qui sert d'accès à la cale sèche et au port intérieur était chargée d'une grande quantité de sédiments et polluée par les restes de l'usage des peintures antifouling contenant des tributylétains (TBT), interdits depuis 2003 en Europe (Figure 3). Pour maintenir l'usage et la sécurité de cette darse, l'extraction des sédiments était devenue impérative. Par manque d'emprise, la mise en œuvre d'une aire de lagunage par décantation n'était pas envisageable. La plate-forme disponible permettait d'accueillir les tubes sur une surface réduite. Les tubes d'essorage peuvent maintenir contenue et encapsulée la boue malgré le caractère inondable de la zone. Une première phase test fut menée sur 6 000 m³ en 2013. La planche test ayant donné satisfaction, les 45 000 m³ restants furent dragués et essorés par tubes filtrants en 2014.

Sur la base des investigations préliminaires, les sédiments étaient principalement composés de limons contenant 7% de matière organique.

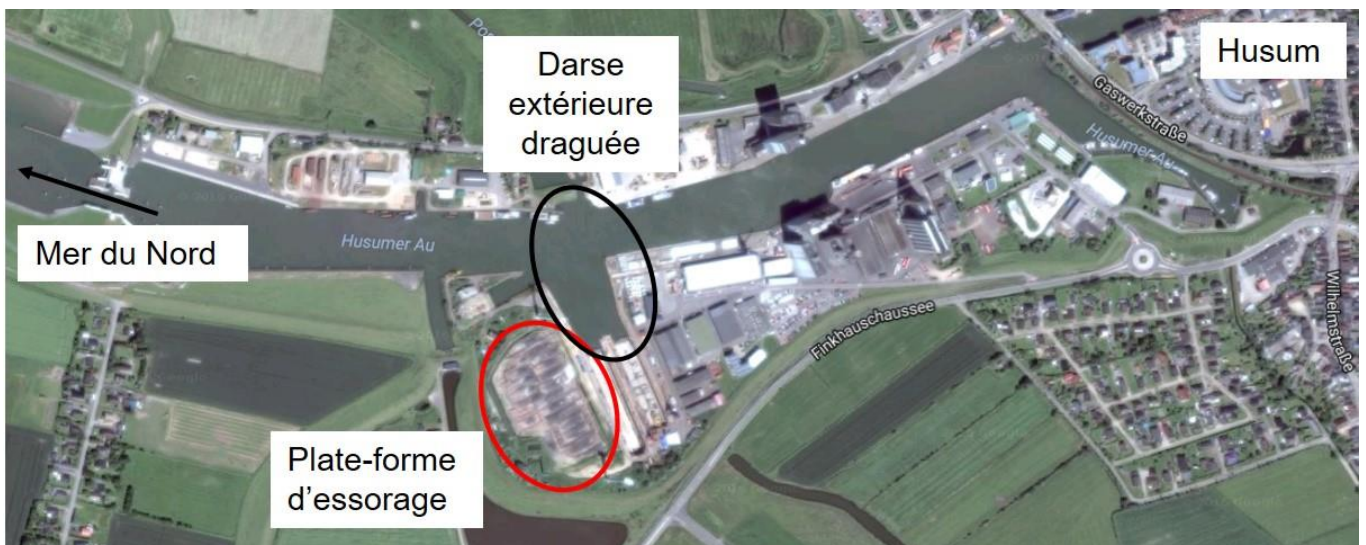


Figure 3 : Plan de situation (source Google Maps)

Ce projet a donné lieu à une instrumentation poussée de la part de l'université de Rostock pour suivre l'évolution de la siccité (pourcentage de matière sèche dans les tubes) et les caractéristiques géotechniques des sédiments après essorage (Wilke et al, 2016).

2.2. Phase chantier : du dragage à l'essorage par tubes géosynthétiques

Les tubes d'essorage ont été installés sur une plate-forme dédiée, délimitée et drainée. En raison de l'emprise limitée, les tubes ont été installés de façon pyramidale sur plusieurs niveaux (le 2^{ème} niveau étant bien entendu mis en œuvre une fois l'exploitation du niveau de base terminée etc...).

Dans la darse, une drague de capacité 600 m³/h extrayait les sédiments et les envoyait vers la centrale à floculation en série dans le système. La boue floculée était ensuite injectée dans les tubes (Figure 4).



Figure 4 : Vue sur le chantier, dragage, floculation, remplissage des tubes

Les tubes géosynthétiques d'essorage sont conçus pour déshydrater des boues selon deux aspects principaux :

- Les caractéristiques hydrauliques du géotextile doivent permettre la séparation de la phase liquide de la phase solide. La phase liquide est récupérée sur la plate-forme d'essorage.
- Les caractéristiques mécaniques du géotextile tissé doivent procurer au tube une résistance aux efforts induits par la pression de remplissage du fluide en fonction du périmètre et de la hauteur de remplissage. Le comportement mécanique des tubes est modélisé d'après les principes adaptés par Leshchinsky (Leshchinsky et al, 1996).

Le principe opérationnel de l'exploitation des tubes, sous forme de cycles remplissage-essorage, a été décrit en détail par exemple par Leshchinsky ou Cantré (2002) et schématisé par Lawson en 2008 (Figure 5)

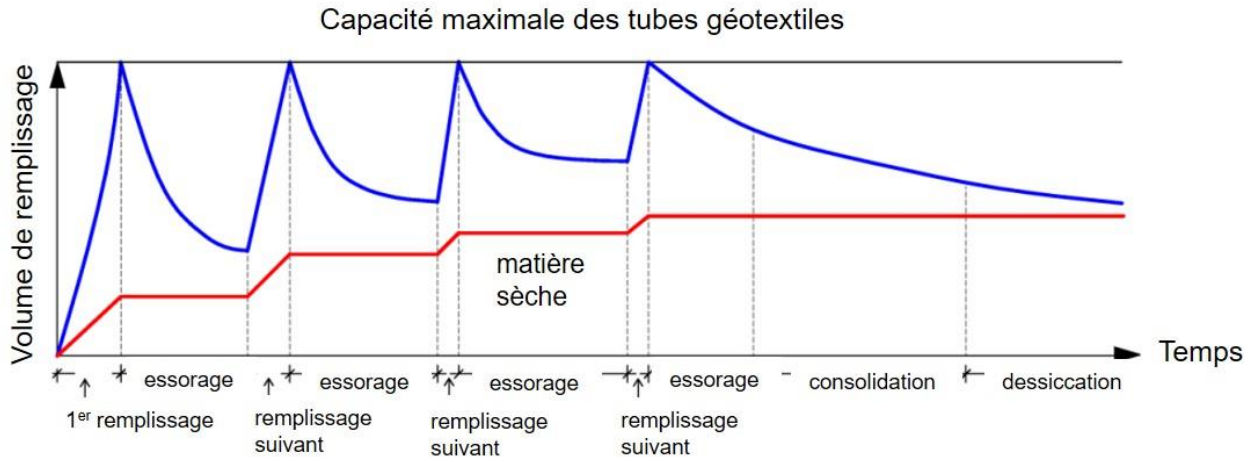


Figure 5 : Cycles d'essorage par tubes géosynthétiques, adapté and modifié par Lawson (2008).

2.3 Programme expérimental

Le suivi instrumental du projet a été réalisé sur deux tubes de la 1^{ère} phase du chantier. Le tube le plus au sud de la couche inférieure et le tube le 3^{ème} en partant du sud de la couche supérieure (2^{ème} couche en phase test). Le choix d'un tube de la couche inférieure et d'un tube de la couche supérieure a pour but d'étudier la différence potentielle de comportement des boues entre les deux niveaux (Figure 6).



Figure 6 : Vue sur la plate-forme d'essorage six mois après la fin de la 1^{ère} phase du chantier

Les échantillons étaient prélevés par les cheminées de remplissage à trois profondeurs : en haut, au milieu et à proximité de la base des tubes (Figure 7).

Les échantillons ont été prélevés toutes les trois semaines du 18 septembre au 11 décembre 2013 et les échantillons finaux ont été pris au printemps suivant (le 23 avril 2014).



Figure 7 : Localisation des cheminées et des points d'échantillonnage

2.4. Résultats

Les résultats obtenus sont présentés Figure 8 et Figure 9. Ils illustrent l'évolution de la siccité et de la cohésion non drainée C_u (résistance au cisaillement non drainée) en fonction du temps pour les différents points d'échantillonnage et les différents niveaux de prélèvement à chaque point.

Il faut noter que la siccité de la boue pompée était de l'ordre de 10 % à l'entrée dans les tubes.

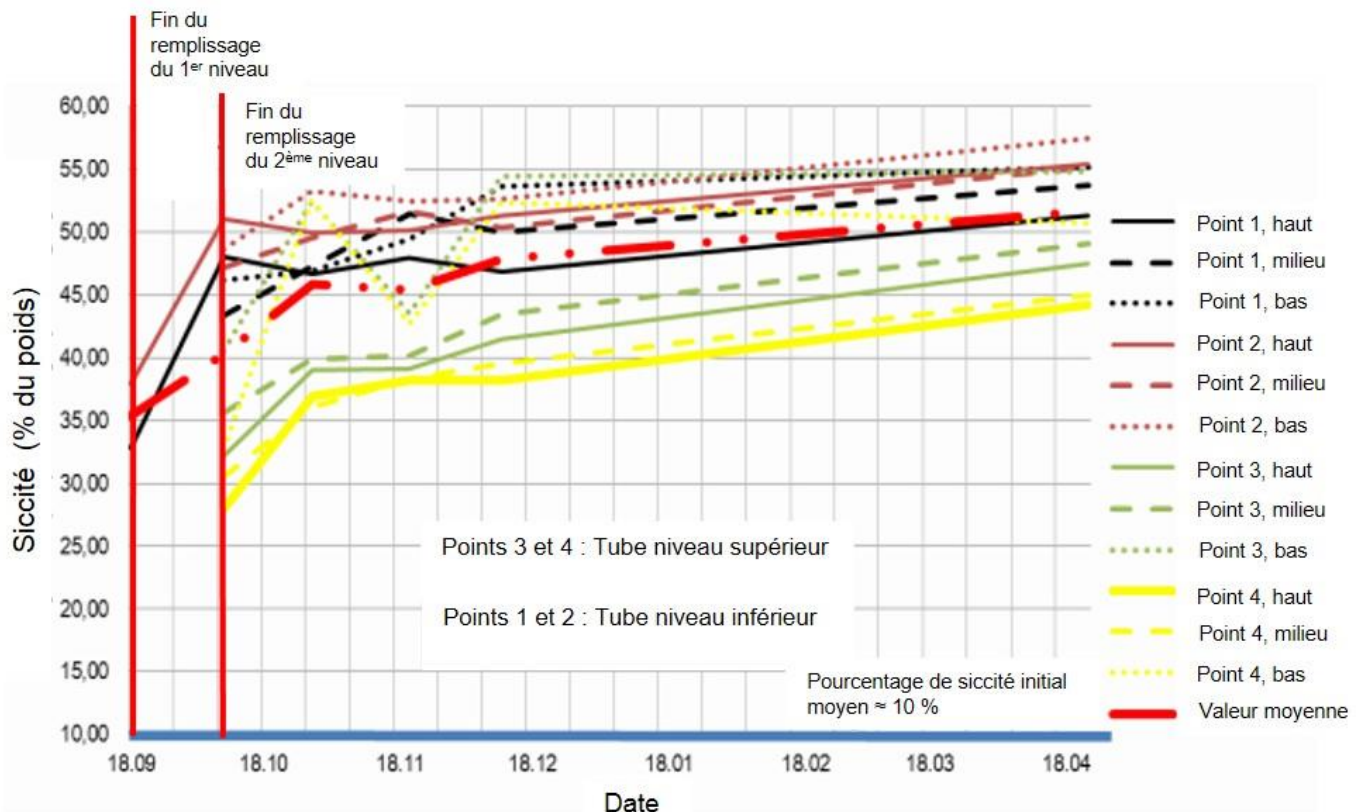


Figure 8 : Evolution de la siccité en fonction du temps pour les différents points d'échantillonnage

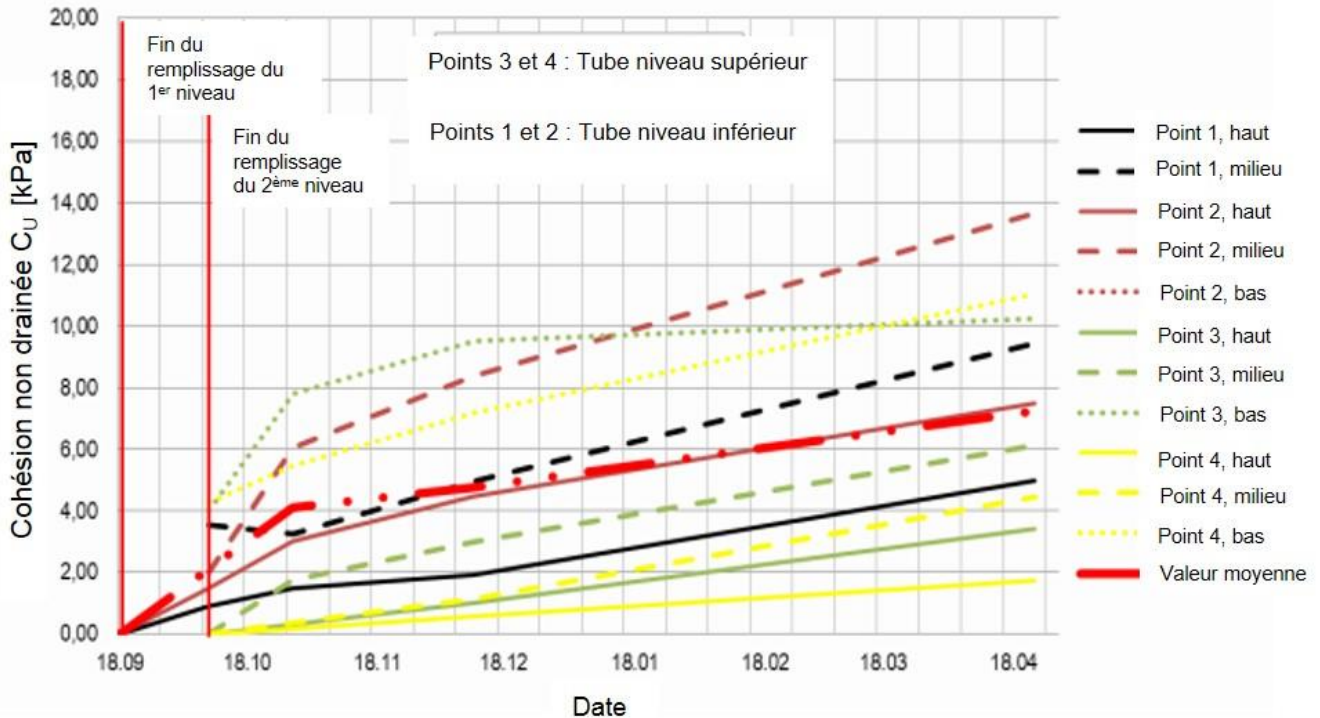


Figure 9 : Evolution de la cohésion non drainée C_U (essai scissométrique) en fonction du temps pour les différents points d'échantillonnage

La siccité mesurée le 23 avril 2014 montre des valeurs entre 44,2 % pour le prélèvement haut du point 4 dans le tube supérieur et 56,0 % pour le prélèvement bas du point 2 dans le tube inférieur. La siccité moyenne est de 51,6 %.

La cohésion non drainée C_U représente la capacité d'un matériau à résister à des efforts de cisaillement (Wang, 2010). Elle est mesurée par un essai scissométrique réalisé in situ au moyen scissomètre composé d'un moulinet foncé dans le matériau à tester et de 4 pales. Ce type d'essai, réalisé sur le chantier selon la norme DIN 4094-4 (l'équivalent français est la norme NF P 94-112) s'applique à des sols saturés faiblement perméables (essai non drainé), fin et cohérents. Les limons du site répondent à ces critères. Les valeurs lors du dernier essai s'échelonnent de 1,74 kPa (point 4 haut) à 13,64 kPa (point 2 milieu).

2.5. Discussion

Il semblerait qu'après 6 mois, la siccité maximale ne soit pas encore atteinte dans les tubes. Néanmoins une rupture de pente claire est observée deux semaines après la fin du remplissage de la couche supérieure, ce qui concorde avec d'autres essais réalisés sur d'autres projets portuaires similaires (Wilke, 2016).

Comme supposé, les siccités les plus importantes sont observées pour les points 1 et 2, dans la couche inférieure, ce qui peut s'expliquer par la surpression apportée par le poids tube de la couche supérieure. Au sein d'un tube, le même phénomène peut être observé : l'échantillon prélevé le plus bas dans un tube a une siccité plus importante que les échantillons prélevés au milieu et en haut du tube.

Les essais de cisaillement au scissomètre montrent des résultats moins homogènes et il n'y a pas de tendance claire d'une résistance au cisaillement plus importante pour les échantillons de la couche inférieure. Au sein d'un tube, on remarque tout de même une tendance plus nette : les échantillons à la base du tube ont une résistance au cisaillement plus importante que les échantillons prélevés en haut.

D'un point de vue industriel, les résultats ont été convaincants pour les autorités portuaires qui ont par la suite décidé de réaliser la phase principale du projet de dragage par la méthode des tubes d'essorage.

3. Chantier de l'essorage des sédiments du dragage du port français du Crouesty

A l'instar de l'ensemble des ports du littoral Atlantique le port du Crouesty à Arzon (56) est confronté à des dépôts de sédiments continus et récurrents qui conduisent, depuis de nombreuses années, à des difficultés d'exploitation liées au niveau des fonds portuaires qui contraignent les conditions de navigation, de stationnement et plus largement la sécurité des navires qui y transitent. Le port Crouesty est le port de plaisance le plus important de Bretagne avec plus de 1500 places aux pontons pour les bateaux de plaisance.

Pour rétablir les tirants d'eau, les entreprises EMCC et ALZEO Environnement ont réalisé, au printemps 2016, le chantier du dragage d'entretien du port du Crouesty pour le compte du maître d'ouvrage, la Compagnie des Ports du Morbihan. Il concernait les darses Sud et Est, qui possédaient le degré d'envasement le plus critique et qui n'avaient jamais fait l'objet d'un dragage spécifique, ainsi que le chenal intermédiaire et la passe d'entrée confrontés à des amoncellements plus récents de sédiments pour une opération de l'ordre de 30 000 m³ de sédiments.

La solution technique retenue consiste au dragage des sédiments par pompage hydraulique, la déshydratation des vases fines dans des tubes d'essorage SoilTain® sur une plate-forme spécialement aménagée sur un parking de la commune en bordure de port, le transport des sédiments égouttés en camions étanches en vue d'un réemploi des sédiments fins peu perméables en matériaux de couverture d'un ancien centre d'enfouissement de déchets ménagers en cours de réhabilitation.



Figure 10 : Vue sur le port Crouesty en cours de dragage et la plate-forme d'essorage au moyen de tubes filtrants géosynthétiques. On distingue les tubes en cours d'essorage (arrière-plan), de remplissage (au milieu) et prêts à être remplis (premier plan).

Les sédiments déposés dans le port sont de 80 à 90 % composés de limons (granulométrie $\leq 63 \mu\text{m}$) avec un taux de matière organique de l'ordre de 10 %. La siccité moyenne in situ est de 32 %.

Les sédiments dragués dans les darses sont dilués, passent par une centrale à floculation où est le floculant y est adjoint. Le choix et le dosage du floculant sont dépendants de la nature et la siccité de la boue à essorer et adaptés à chaque projet. Les boues sont ensuite injectées dans les tubes d'essorage avec un pourcentage de matière sèche de l'ordre de 10 %.

En raison des contraintes de temps majeures sur le chantier, une attention particulière était portée sur le respect des objectifs de siccité dans un temps court. Des mesures régulières ont montré des siccités dans les tubes de 34 à 60 % après 11 à 20 jours d'essorage, moment où les tubes étaient ouverts et les boues évacuées pour laisser placer à de nouveaux tubes. Ces valeurs sont en parfaite conformité avec les valeurs estimées avant le chantier.

4. Conclusion

Le suivi réalisé à Husum par l'université de Rostock sur une période de près de 9 mois entre le début du chantier et la dernière mesure a permis de confirmer plusieurs hypothèses comme la répartition de la siccité au sein même d'un tube du bas en haut. Elle a surtout mis en exergue l'apport des tubes pour une augmentation importante de la teneur en matière sèche des boues dans un délai court (90% de la siccité à 6 mois atteinte 15 jours après la fin de l'exploitation de la couche supérieure). Il est important de noter que bien que les tubes soient soumis aux pluies (fréquentes dans la région d'étude), la siccité ne suit qu'une courbe montante. Les boues encapsulées ne subissent pas de réhydratation.

Le projet français du port du Crouesty a confirmé ces constatations en permettant un essorage rapide et efficace des sédiments de dragage permettant une évacuation rapide des boues, prenant compte d'une part les limitations d'emprise et d'autre part les contraintes du calendrier.

Dans un contexte où la législation, par l'interdiction des rejets au large des boues polluées, va rendre le recours à des solutions de déshydratation à terre de plus en plus fréquent, la solution d'essorage par tubes géosynthétiques de sédiments de dragage portuaires montre son efficacité pour une réduction importante de la teneur en eau des boues dans un délai court, et donc une diminution du volume de boues à déposer comme déchet.

L'emprise limitée et l'efficacité d'essorage par rapport à une solution de lagunage ainsi que la rapidité de traitement de volumes très importants dans un temps court fait de la solution d'essorage par tubes d'essorage un recours efficace et financièrement intéressant pour les collectivités en charge des ports des littoraux français.

5. Références bibliographiques

- Alzieu C. (1999) Dragages et environnement marin État des connaissances, *Editions IFREMER*, 223 p.
- Lawson C.R. (2008) Geotextile containment for hydraulic and environmental engineering, 15 No. 6: pp. 384-427, *Geosynthetics International*, IGS.
- Wang D., Zentar R., Abriak N.E., Xu W. (2010) Détermination des caractéristiques physiques de sédiments fins de dragage. *Journées Nationales de Géotechnique et Géologie de l'Ingénieur (JNGG) 2010*
- Wilke M., Cantré S. (2016) Harbour maintenance dredging operations – Residual characteristics after treatment by geosynthetic dewatering tubes. *GeoAmericas 2016, Miami, 10-13 April, 2016*
- Loi n° 2016-816 du 20 juin 2016 pour l'économie bleue publiée au Journal Officiel du 21 juin 2016, Article 19, disponible sur legifrance.gouv.fr