

Comportement d'une couche de sédiment de dragage en séchage naturel

Zhibo DUAN¹, Daniel LEVACHER² et Martin SANCHEZ³

¹Docteur, ²Professeur, ³Maitre de Conférences

^{1,2}Université de Caen, M2C UMR 6143 CNRS, 24 rue des Tilleuls, 14032 Caen,

³Université de Nantes, PG UMR 6112 CNRS, BP 92208, 44322 Nantes cedex 3

¹ zhibo.duan@unicaen.fr; ² daniel.levacher@unicaen.fr; ³ martin.sanchez@univ-nantes.fr

Résumé :

Cet article concerne des essais d'égouttage - séchage naturel sur des sédiments fins de Cherbourg. Les propriétés physiques et mécaniques de ces sédiments fins retenus et la préparation des échantillons pour le séchage sont alors décrits. Les sédiments sont déposés sur trois tamis de maillages différents. Le suivi de la teneur en eau a été mené sur une période de 47 jours qui a permis de voir l'évolution de celle-ci en tenant compte de l'évaporation. Une loi teneur en eau - temps peut être décrite et appliquée dans le cas d'un traitement avec reprise du matériau. Pour l'application dédiée à la couche de remblai, des mesures de résistance au cisaillement ont été réalisées pour la même période. Elles ont été opérées à l'aide d'un scissomètre de laboratoire et mesures *in situ*. Les résultats obtenus montrent l'évolution de la teneur en eau et de la résistance au cisaillement en fonction du temps.

Abstract :

This paper concerns the natural drying of a dredged sediment layer. Drainage is effective on the two horizontal surfaces. The considered sediment is dredged from the *Avant Port* basin of the harbour of Cherbourg (France). Some sediment properties are first given and the drying experiment set up is described. Sediments are poured in different sieves (3) with different grid sizes. During a period of 47 days, the measurement of water content is continuously made so to taking into account the evaporated water, the drained water and the sediment water content. A relationship is deduced between water content and time, a such relation is useful to take the decision to remove and transport sediments. Another measurement was performed in the sediment layer during the same period: the undrained strength C_u . To measure C_u values, a laboratory vane shear test and a fall cone test were used. In the same time, an embankment was built in site with the same sediments for a layer of 3m of height in the area of the harbour of Cherbourg. *In situ* vane shear tests were also run out in the layer of sediments during its self weight

consolidation. All the Cu measurements are recap and the relationship Cu versus time was obtained and discussed.

Mots-clés : sédiment de dragage, teneur en eau, résistance au cisaillement, séchage.

Keywords: dredged sediments, water content, shear strength, drying

1 Introduction

Des études sur les traitements de sédiments en laboratoire ont fait l'objet de nombreux travaux de recherche, et en particulier, citons ceux dont l'influence de la teneur en eau élevée a été discutée (DUAN, 2008 ; SEMCHA, 2006 ; DUBOIS, 2006 ; COLIN, 2003). La teneur en eau élevée des sédiments de dragage pose problème pour tout traitement de stabilisation/solidification ultérieur à son prélèvement. Quel que soit le mode de dragage, la teneur en eau reste au-delà de 150%. Abaisser cette teneur en eau initiale est l'opération incontournable après le dégrillage et le tri granulométrique dans toute unité de traitement et de valorisation. Ainsi le traitement d'un sédiment de dragage s'avère difficile et cher à cause de sa teneur en eau très élevée. Des solutions ont été envisagées allant du pressage mécanique (filtre-presse, filtre à bandes presseuses, filtrage sous vide) à la décantation naturelle (lit de séchage) ou accélérée (centrifugation). Tous ces procédés sauf le lit de séchage, nécessitent une phase de préparation ou de conditionnement des sédiments qui est l'ajout de produits chimiques. L'efficacité du lit de séchage est dépendante de l'épaisseur de la couche déposée et du support drainant, et ceci se traduit par une surface au sol importante.

La mise en dépôt sur un lit de séchage naturel à l'air, est une solution économique pour réduire la teneur en eau. La déshydratation des sédiments selon ce principe permet d'envisager soit une valorisation en tant que matériau stabilisé (mélange du sédiment à teneur en eau réduite 25 à 50% plus additifs, avec reprise des sédiments), soit la mise en place d'une couche de sédiments en remblai (constitution de terre-plein portuaire sans reprise du matériau).

2 Propriétés physiques du sédiment étudié

Un programme spécifique a concerné le port de Cherbourg qui, par un appel d'offres, demandait l'étude du devenir de sédiments dragués en vue d'une réutilisation. Notre intérêt s'est porté sur la caractérisation de ces sédiments pour une valorisation en remblai (IDRA, 2005). Dans notre étude, le sédiment utilisé était celui de l'Avant Port de Cherbourg, référencé par les lettres AP, suivies

par un chiffre correspondant au numéro de l'échantillon (idon de prélèvement) comme indiqué dans le tableau 1.

2.1 Analyse granulométrique

La granulométrie au laser repose sur la diffraction d'un faisceau laser par des particules en suspension dans un liquide et permet d'explorer une large gamme de particules (de 0.04 à 2000 μm pour le Coulter LS230). L'angle de diffraction est inversement proportionnel à la taille des particules supposées sphériques. Les principales caractéristiques des sédiments étudiés sont récapitulées au tableau 1. Les courbes granulométriques obtenues sont données dans la figure 1.

Tableau 1: Données granulométriques des sédiments de l'Avant Port de Cherbourg

Référence des sédiments	AP1	AP2	AP3
Fraction argileuse (<2 μm) (%)	3.67	3.47	3.59
Fraction silteuse (2 à 63 μm) (%)	64.33	66.90	67.35
Fraction sableuse (>63 μm) (%)	32.00	29.63	29.06
d_{10} (μm)	4.89	5.21	4.99
d_{50} (μm)	32.00	32.47	32.25
d_{90} (μm)	192.90	141.30	136.10

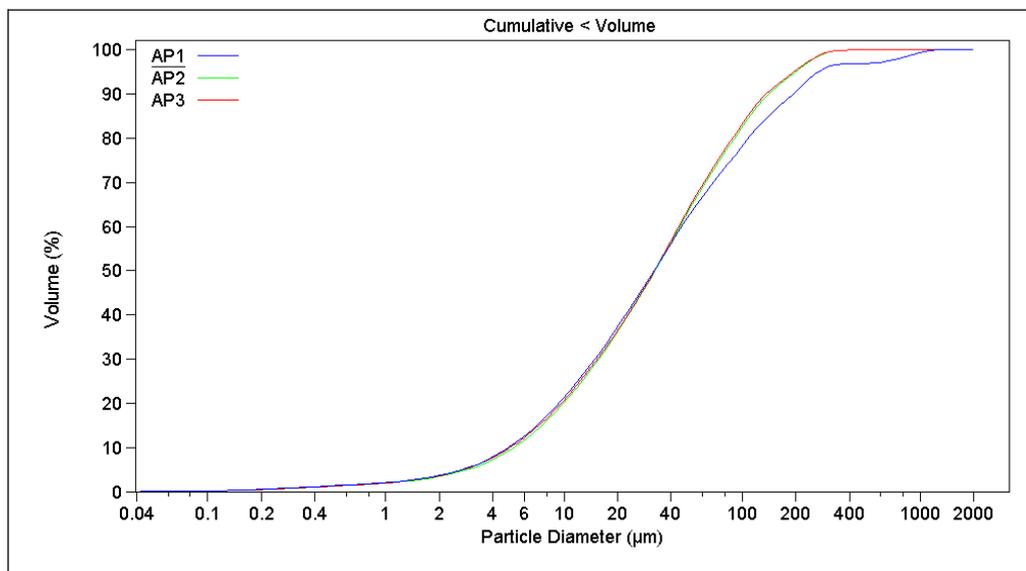


Figure 1: Granulométries du sédiment de l'Avant Port Cherbourg

2.2 Teneur en eau

Le tableau 2 donne les teneurs en eau calculées à partir des mesures réalisées de manière régulière depuis la réception des sédiments dans des bidons hermétiques de 20 litres. Il semble résulter une variation de la teneur en eau avec le lieu de prélèvement et la profondeur dans le bidon.

Tableau 2: Teneurs en eau initiales au sein des bidons (AFNOR, 1991)

Référence	Teneur en eau initiale (%)			
	En surface	Au milieu	Au fond	Moyenne
AP1	157.7	129.4	123.2	136.8
AP2	178.6	145.4	127.5	150.5
AP3	168.0	144.1	144.0	152.0

2.3 Limite d'Atterberg

L'évaluation des limites s'avère difficile car elles dépendent d'abord de la nature du sédiment mais aussi du lieu de prélèvement. On voit sur le tableau 3 que les valeurs sont très rapprochées, l'indice de plasticité varie de 40 à 50. On peut dire que ce sont sols fins très plastiques selon la définition de l'indice de plasticité.

Tableau 3: Des limites du sédiment de l'Avant Port de Cherbourg (AFNOR, 1993)

Référence	W _L (%)	W _P (%)	I _P (%)
AP1	90.4	50.7	39.7
AP2	97.9	50.2	47.7
AP3	102.5	52.1	50.4

3 Méthodologies et résultats

3.1 Essais d'égouttage

Les données relatives au séchage de sédiments mis en dépôts par couche sur un lit drainant sont peu disponibles dans la littérature. Les mêmes données pour des applications industrielles sur site, ne sont pas ou peu communiquées. En l'absence de ces données sur l'égouttage de sédiments, des essais à échelle réduite en laboratoire ont été programmés afin d'observer le processus de séchage.



Figure 2: Schéma des essais d'égouttage

Les essais d'égouttage ont été réalisés à l'aide de trois tamis de maillages différents : $T_1=1.85\text{mm}$, $T_2=2.25\text{mm}$ et $T_3=2.8\text{mm}$. Le sédiment est disposé sur les tamis de diamètre 50cm et hauts de 7.5cm. Les paramètres considérés sont l'eau dans le sédiment E_1 , l'eau égouttée E_2 et l'eau évaporée E_3 , ils ont fait l'objet de mesures et calculs sur une période de 47 jours. Le dispositif est montré à la figure 2. Des carottes ont été prélevées avec un petit tube pour mesurer les teneurs en eau en haut, au milieu et en bas de la couche à différentes périodes.

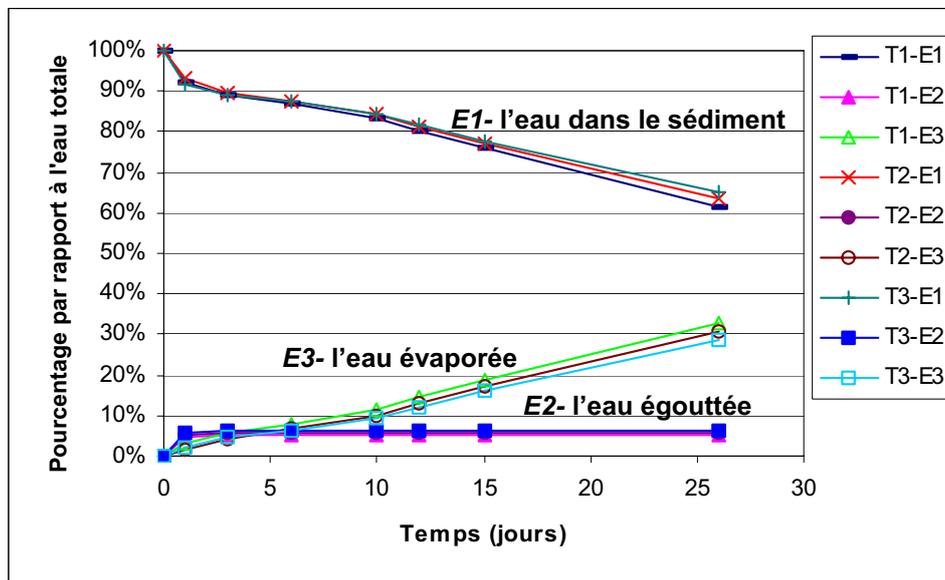


Figure 3: Séchage naturel à l'air du sédiment

L'eau dans le sédiment se perd de deux façons, par égouttage et par évaporation. Sur la figure 3, l'égouttage s'est arrêté au bout de 3 jours et la teneur en eau est d'environ 114%, on rappelle que la teneur en eau initiale était de 128%. Il est clair

qu'il existe une teneur en eau limite pour l'égouttage. On constate que la vitesse de l'évaporation reste constante en fonction du temps, ici 1.2%/jour. On trouve qu'il n'y a pas de grande différence pour les différentes dimensions de maillage des tamis.

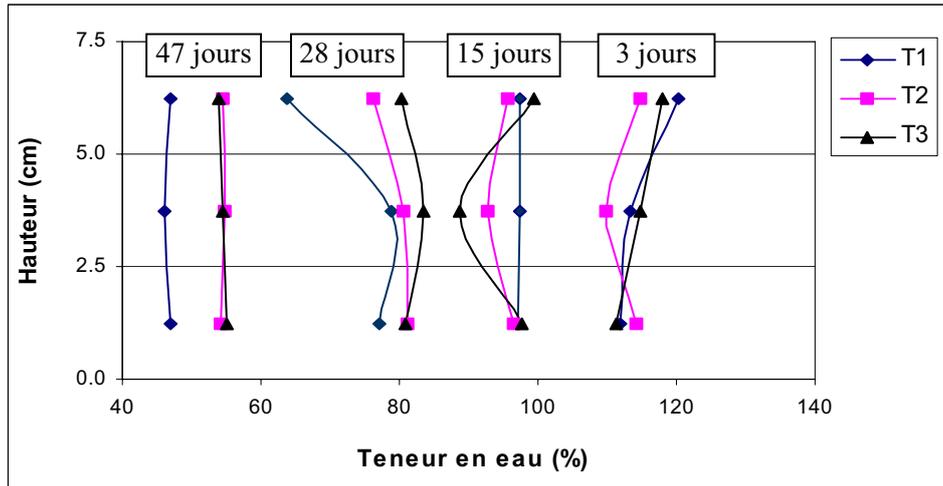


Figure 4 : Teneurs en eau selon différentes périodes

La figure 4 montre clairement l'évolution des teneurs en eau en fonction du temps et de la profondeur. On observe que les teneurs en eau pour différentes couches deviennent identiques à 47 jours avec une teneur en eau d'environ de 50% . L'évolution de la teneur en eau en fonction du temps est donc obtenue pour un séchage naturel à l'air. A la figure 5, il est montré la relation liée à l'évolution du séchage à l'air.

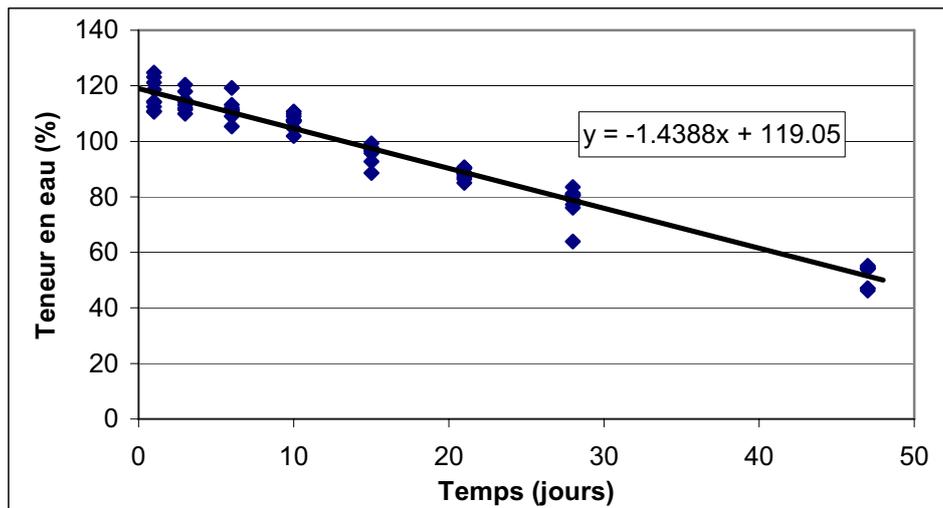


Figure 5: Teneurs en eau en fonction du temps

3.2 Etude de la résistance au cisaillement non drainée

3.2.1 Essai au scissomètre de laboratoire sur le sédiment de l'Avant Port de Cherbourg

L'essai au scissomètre de laboratoire est semblable, dans son principe, à l'essai au scissomètre réalisé en place. Seule l'échelle est plus petite, elle est adaptée à la dimension des éprouvettes de laboratoire. L'appareil 27-WF23510 est souvent utilisé pour les essais au scissomètre pour les sols fins saturés, naturels, intacts ou remaniés ayant une faible résistance au cisaillement, c'est-à-dire une cohésion non drainée en général inférieure à 40 kPa. Le cisaillement du sol est obtenu par la rotation des pales suivant leur axe vertical, la mesure de couple nécessaire à cette rotation permet de calculer la cohésion non drainée noté C_u .

Les mesures et calculs de C_u ont été effectués pendant la période des essais relatifs à l'égouttage. La relation entre C_u et la teneur en eau est donnée à la figure 6, on observe que la cohésion non drainée C_u est inversement proportionnelle à la teneur en eau.

La cohésion non drainée du sédiment C_u peut être aussi déterminée à partir de l'essai au pénétromètre en cône. Les valeurs moyennes obtenues en fonction de la teneur en eau sont aussi données à la figure 6. On peut comparer les résultats obtenus en laboratoire par les deux méthodes et s'interroger sur l'écart entre les résultats.

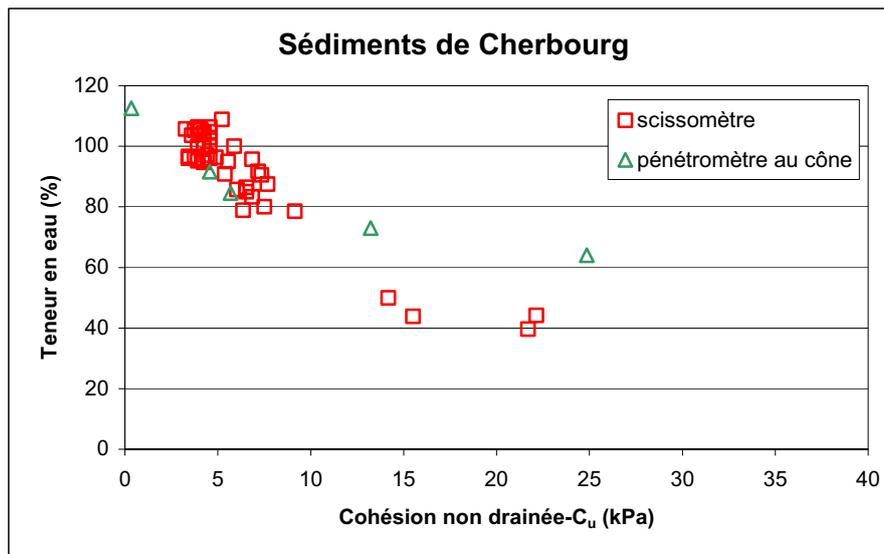


Figure 6 : Essai au scissomètre et au cône de laboratoire

3.2.2 Essai au scissomètre *in situ*

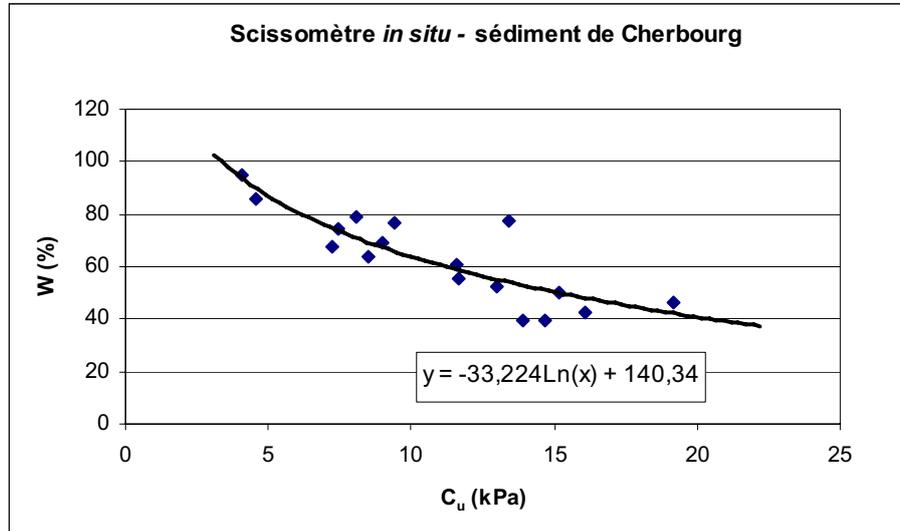


Figure 7: Evolution de la cohésion non drainée du sédiment Cherbourg *in situ*

Il a été réalisé un nombre d'essais scissométriques important sur l'ouvrage lui-même, constitué d'une couche de 3m (hauteur moyenne initiale) de sédiments de l'Avant Port de Cherbourg mélangés. Chaque mesure (nombre total de mesures = 17) en un point du site a fait l'objet d'une mesure de teneur en eau. Ceci a permis de montrer la variation entre les deux grandeurs physiques, figure 7.

3.2.3 Commentaire sur les résultats des essais au scissomètre en laboratoire et *in situ*

Pour établir une comparaison des valeurs de la résistance au cisaillement obtenue en laboratoire et *in situ*, on a considéré les valeurs mesurées *in situ* dans le milieu de la couche du remblai.

On observe une parfaite concordance dans les évolutions de W-C_u (figure 8) pour les mesures faites sur site et en laboratoire. Cette évolution est de type logarithmique.

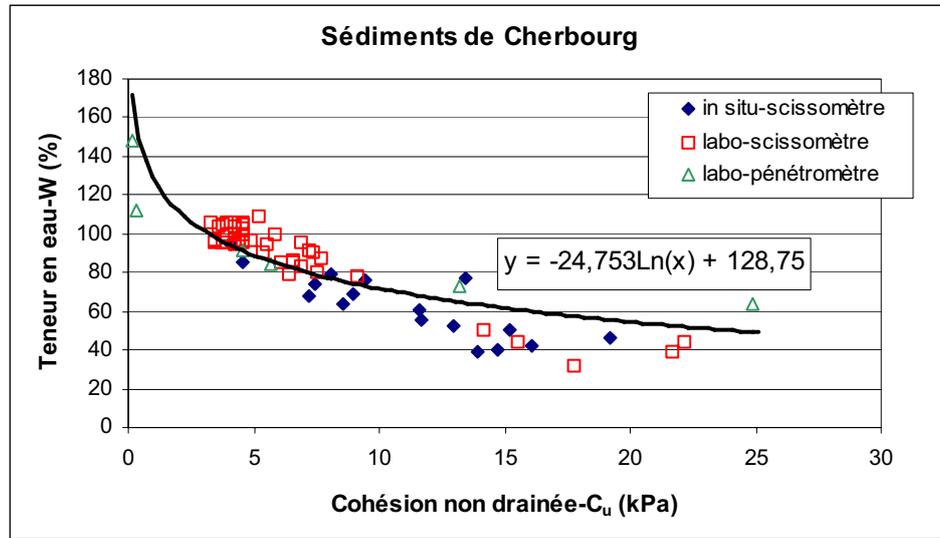


Figure 8: Evolution de la cohésion non drainée par mesures effectuées en laboratoire et in situ

4 Conclusion

La mise en dépôts, la pelletabilité et le transport, le traitement aux liants hydrauliques de sédiments marins dragués nécessitent l'abaissement de la teneur en eau initiale, le séchage à l'air paraît être la solution la plus économique. Cependant cette technique doit être optimisée (aire de stockage, épaisseur de couche...), d'où l'intérêt de mener en amont des essais d'égouttage de manière à déduire une relation teneur en eau-temps. Ces essais doivent associer l'évolution de la cohésion non drainée C_u en fonction du temps et de la teneur en eau. Cette dernière relation est très utile dans le cas de mise en dépôts de sédiments en couche de remblai confiné pour faire circuler les engins sur la couche (coutures des géotextiles du confinement, mise en place des couches de surcharges). Les résultats présentés et les différentes relations obtenues concernent un sédiment de l'avant Port de Cherbourg qui a été mis en remblai confiné dans un casier pour réaliser un terre-plein portuaire.

5 Références bibliographiques

- AFNOR, (1993), NF P 94-051. *Sols : reconnaissance et essais. Détermination des limites d'Atterberg. Limite de liquidité à la coupelle - Limite de plasticité au rouleau*, 15 p.
- AFNOR, (1991), NF P 94-050. *Sols : reconnaissance et essais. Détermination de la teneur en eau pondérale des sols – méthode par étuvage*.
- COLIN D., (2003), *Valorisation de sédiments fins de dragage en technique routière*, Thèse de doctorat, Université de Caen, 2003, 181p.

DUAN Z., (2008), *Caractérisation, stabilisation et solidification de sédiments fins marins*, Thèse de doctorat, Université de Caen, 2008, 198p.

DUBOIS V., (2006), *Caractérisation physico-mécanique et environnementale des sédiments marins-Application en technique routière*, Thèse de doctorat, Ecole des Mines de Douai, 311p.

IDRA (2005), *Etudes physico-mécaniques des matériaux de dragage du port de Cherbourg en vue d'une utilisation en remblais*, rapport final, 134p.

SEMCHA A., (2006), *Valorisation de sédiments de dragage : Application dans le BTP (cas de barrage algérien)*, Thèse de doctorat, Université de Reims, 2006, 173p.