

DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DE SEDIMENTS FINS DE DRAGAGE

DETERMINATION OF PHYSICAL CHARACTERISTICS OF DREDGED FINE MARINE SEDIMENTS

Dongxing WANG ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾, Rachid ZENTAR ⁽¹⁾⁽²⁾, Nor Edine ABRIAK ⁽¹⁾⁽²⁾, Weiya XU ⁽³⁾

1 Université Lille Nord de France, F-59500, Lille, France

2 Ecole des Mines de Douai, MPE-GCE, F-59500 Douai, France

3 Hohai University, Institute of Civil Engineering, 210098 Nanjing, China

RÉSUMÉ –Dans cette étude, les caractéristiques physiques de sédiments marins de dragage sont mesurées pour identifier leur caractère fondamental. Puis, l'évolution de la résistance au cisaillement et de la masse volumique apparente en fonction de la teneur en eau a été explorée à l'aide de l'essai au scissomètre et de l'essai au cône de laboratoire. Enfin, la perte au feu et la masse volumique absolue des sédiments soumis à différentes températures de calcination ont été discutée.

Mots-clefs : Sédiment dragué, caractéristique physique, thermique

ABSTRACT –In this study, the physical characteristics of dredged marine sediments were determined to identify their fundamental characteristics. Then, the evolution of the shear strength and the apparent bulk density with the water content has been explored using the vane test and the fall cone test. Finally, the mass loss by ignition and the apparent density of the dredged materials submitted to different temperatures were discussed.

Keywords : Dredged sediment, physical characteristic, thermal

1. Introduction

Afin de garantir un tirant d'eau suffisant pour la navigation et de restaurer les milieux marins et fluviaux, il est indispensable d'entretenir les cours d'eau en effectuant régulièrement des opérations de dragage. Chaque année, les volumes de sédiments de dragage sont considérables : environ 600 millions de m³ dans le monde (Boutin, 1999) et 50 millions de m³ en France (Alzieu, 1999).

Les sédiments dragués contiennent en général des polluants organiques ainsi que des métaux lourds. Pollués ou non, les sédiments sont considérés comme des déchets (Décret n°2002-540 du 18 avril 2002, rubriques 17 05 05 et 17 05 06). La méthode traditionnelle d'élimination des sédiments de dragage comme l'immersion et le dépôt à terre est de plus en plus réglementée. Pour valoriser ces déchets, l'utilisation des sédiments comme matériaux de construction est un choix alternatif et prometteur. En effet, plus de 365 millions de tonnes de granulats sont annuellement consommés en France dans le domaine de la construction, particulièrement dans les travaux routiers.

Le potentiel de sédiments de dragage pour cet usage a été étudié en laboratoire par plusieurs auteurs (Colin, 2003; Dermatas et al. 2002; Zentar et al. 2005; Dubois, 2006). Dans cette étude, les buts sont : (1) de déterminer quelques caractéristiques physiques des sédiments de dragage; (2) de discuter la résistance au cisaillement non drainée en fonction de la teneur en eau; (3) d'étudier le comportement thermique des sédiments.

2. Matériels et méthode

1.1. Provenance du sédiment

Le sédiment de dragage portuaire étudié dans cette étude provient du port de Dunkerque extrait en 2006. Situé dans la région Nord-Pas-de-Calais en France, le port autonome de Dunkerque est le 3^{ème} port français et le 8^{ème} port européen pour le trafic global. Il comprend deux sites portuaires (Ouest et Est) sur 17 km en front de mer. Pour l'entretien et pour faciliter l'accès au port des navires, le port autonome de Dunkerque drague un volume moyen annuel d'environ 4 millions de tonnes. La technique utilisée est le dragage par aspiration. Le matériau dragué en 2006 présente une couleur noirâtre et une odeur nauséabonde, à cause de la matière organique présente dans le sédiment. Les sédiments après dragage sont conditionnés dans des fûts en plastique hermétiques de 54 litres.

1.2. Méthodes

Pour mieux appréhender les propriétés des sédiments, les caractéristiques physiques et thermiques sont déterminées selon les normes françaises : la teneur en eau selon la NF P 94-050, la granulométrie selon la NF ISO 13320-1, la teneur en matière organique selon la NF EN 12879, la valeur au bleu de méthylène selon la NF P 94-068, les limites d'Atterberg selon la NF P 94-051 et la NF P 94-052-1.

Pour déterminer la granulométrie des sédiments, le granulomètre laser de type Coulter LS 230 est utilisé. La cohésion non drainée et la masse volumique apparente ont été étudiées à l'aide de l'essai au scissomètre et au cône de laboratoire (NF P94-051 et NF P 94-052-1). L'effet de la perte au feu sur la masse volumique absolue est également exploré à l'aide d'un pycnomètre à hélium de type Accupyc 1330.

3. Résultats

3.1 Caractérisation physique

En plus d'étudier le sédiment prélevé du port Est de Dunkerque en 2006, cette étude offre l'occasion de comparer ses caractéristiques physiques avec d'autres prélèvements. Il faut noter que les sédiments étudiés par Thanh (2009) et Brakni (2008) proviennent du port Est de Dunkerque, mais le sédiment étudié par Dubois (2006) provient du port Ouest de Dunkerque.

La caractérisation des différents sédiments est reportée dans le Tableau 1. La teneur en eau définie par un séchage à 40°C et 105°C est d'environ 106.5% et 106.8%. On constate que la teneur en eau initiale d'un prélèvement à un autre est très différente. Cette différence résulte de la méthode de prélèvement, de la provenance géographique, de la nature des matériaux mais également de la méthode de stockage. La masse volumique du squelette des grains solides est

mesurée à l'aide un pycnomètre à hélium après le séchage à 105°C et la conservation dans un dessiccateur. Pour estimer la capacité d'adsorption, la valeur au bleu de méthylène est déterminée par l'essai à la tâche. La mesure de la teneur en matière organique a été effectuée à deux températures différentes: 450°C et 550°C. La comparaison des résultats avec ceux des autres sédiments montre la présence d'une fraction organique importante. Les teneurs en matière organique fournis par Dubois (2006) et Thanh (2009) sont plus élevées que celles données par Brakni (2008) et cette étude. La limite de liquidité des sédiments diffère beaucoup due aux différences de granulométries et de teneurs en matière organique.

Selon les résultats obtenus, le sédiment étudié peut être classé en A₄F₁₁ selon le GTR (GTR, 1992).

Tableau 1 : Caractérisation physique des sédiments de dragage

Paramètres		Cette étude	Dubois (2006)	Brakni (2008)	Thanh (2009)
Teneur en eau(%)	40°C	106.5	152.8	258	152
	105°C	106.8	156.0	256	/
Masse volumique absolue(kg/m ³)		2580	2530	2570	2530
Valeur au bleu de méthylène(VBS)		2.2	3.13	4	3.4
Teneur en matière organique(%)	450°C	4.4	7.08	6.3	8.6
	550°C	7.6	15.47	10.6	13.5
Granulomètre Laser	Argile (<2µm)	14.6	5.4	13.3	7
	Limon(2 à 63µm)	57.5	57.8	72.9	74
	Sable(>63µm)	27.9	36.8	13.8	19
W _L (%)		51.4	97.4	112	89
W _P (%)		25.6	45.0	46	36
I _P (%)		25.8	52.4	66	54

3.2 Résistance au cisaillement non drainée

La cohésion non drainée C_U représente la capacité d'un matériau à résister à des efforts de cisaillement. Pour les sols fins saturés, naturels, intacts ou remaniés ayant une faible résistance au cisaillement, ce paramètre C_U peut être mesuré par l'essai au scissomètre et l'essais au cône de pénétration. En comparant les cohésions non drainées obtenues par les deux méthodes, on observe que l'évolution de la cohésion en fonction de la teneur en eau est de type logarithmique (Figure 1).

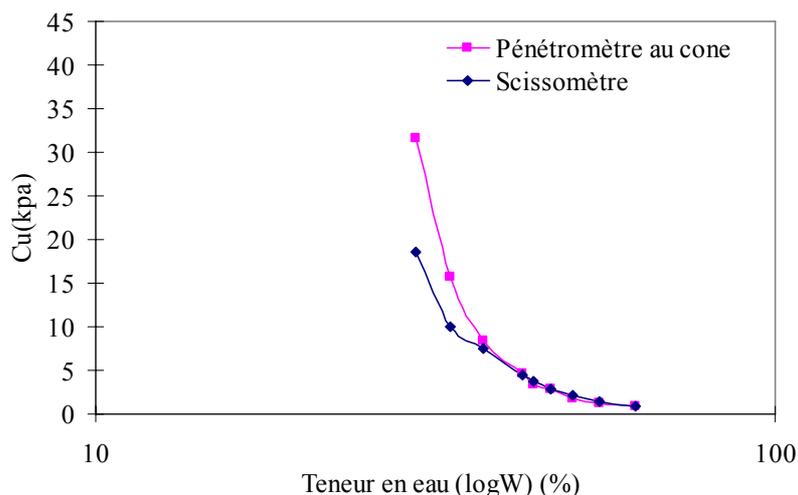


Figure 1. Evolution de la cohésion non drainée C_u en fonction de la teneur en eau

3.3 Masse volumique apparente

L'évolution de la masse volumique apparente en fonction de la teneur en eau est présentée dans la Figure 2. On observe que la masse volumique apparente augmente grâce à la diminution de la quantité de l'eau contenue dans le sédiment.

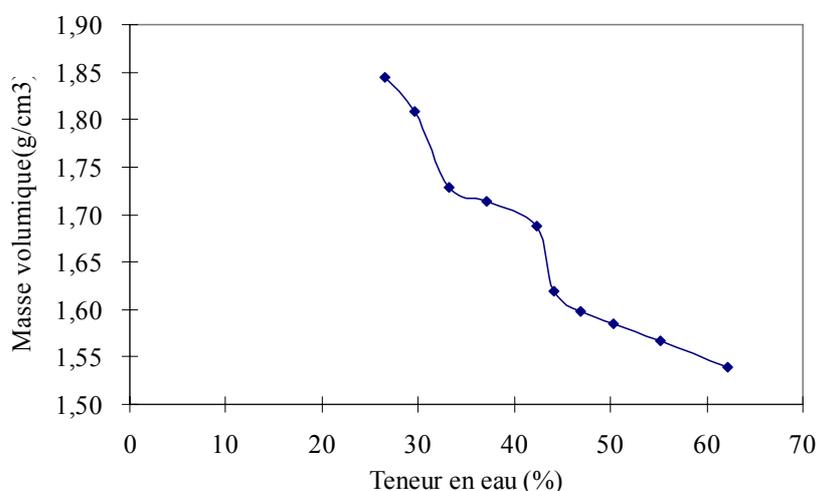


Figure 2. Evolution de la masse volumique en fonction de la teneur en eau

3.4 Effet de la température sur la perte au feu

Les essais de perte au feu ont été réalisés sur un échantillon séché à 105°C jusqu'à atteindre une masse constante. Pour la détermination de la matière organique, la température de cuisson est fixée à 450°C et 550°C dans un four, selon la norme française XP P94-047 et NF EN 12879.

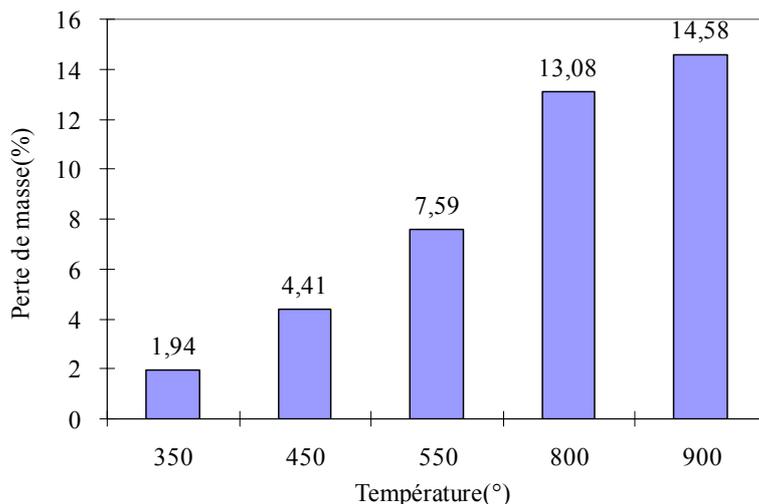


Figure 3. L'évolution de la perte au feu en fonction de la température

Selon la Figure 3, la teneur en matière organique est respectivement de 4.41% à 450°C et 7.59% à 550°C. En même temps, la perte au feu à 350°C, 750°C et 900°C a aussi été mesurée pour explorer l'instabilité thermique des sédiments de dragage (Figure 3). On doit noter que, la perte de masse est généralement due à la perte de l'eau liée et à la perte de la matière organique lorsque la température est inférieure à 600°C. Lorsque la température est supérieure à 600°C, la décomposition de carbonates de calcium peut aussi mener à la perte de masse.

3.5 Thermogravimétrie

La thermogravimétrie consiste à mesurer la variation de masse d'un échantillon liée à la transition et à la dégradation thermique en fonction de la température et/ou du temps. Dans cette étude, l'essai est utilisé selon le profil présenté à la Figure 4.

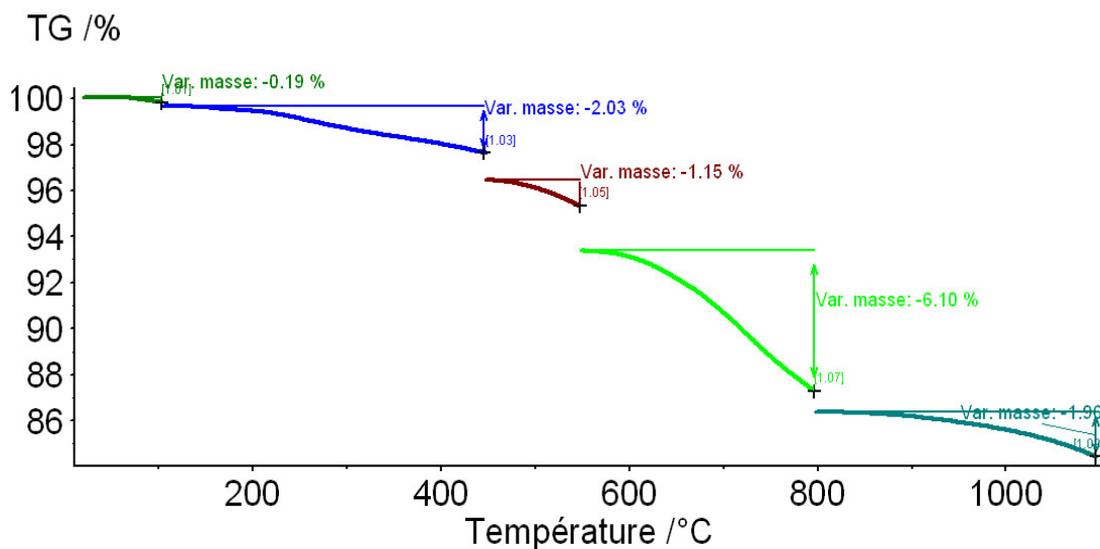


Figure 4. Analyse thermogravimétrique

La montée de température entre les paliers est effectuée à une vitesse de 3°C/min. Des paliers sont réalisés à 105°C, 450°C, 550°C, 800°C et 900°C. Le résultat en teneur de perte de masse est présenté sur la Figure 4.

A partir des résultats de calcinations, on peut calculer la teneur en carbone total comprenant le carbone organique et inorganique. A l'aide de la relation : matière organique (%) = 1.72 × Carbone organique (%) (Mustin, 1987), le résultat des calcinations peut donner une proportion de carbone organique de 2.56% à 450°C et de 5.98% à 550°C. D'ailleurs, le carbone inorganique peut être calculé selon l'expression : $C_{inorganique} = (M_C/M_{CO_2}) \times (\text{perte de masse/masse d'échantillon}) = (12/44) \times 6.10\% = 1.66\%$.

3.6 Effet de la température sur la masse volumique absolue

La masse volumique absolue (ou densité absolue) est une caractéristique très importante. Il s'agit de déterminer le volume des grains solides dans le pycnomètre à partir d'un échantillon sec dont la masse est connue. L'échantillon doit être préalablement broyé et séché à 105°C jusqu'à atteindre une masse constante. Puis, on met les échantillons séchés dans le dessiccateur pour éviter l'adsorption d'humidité.

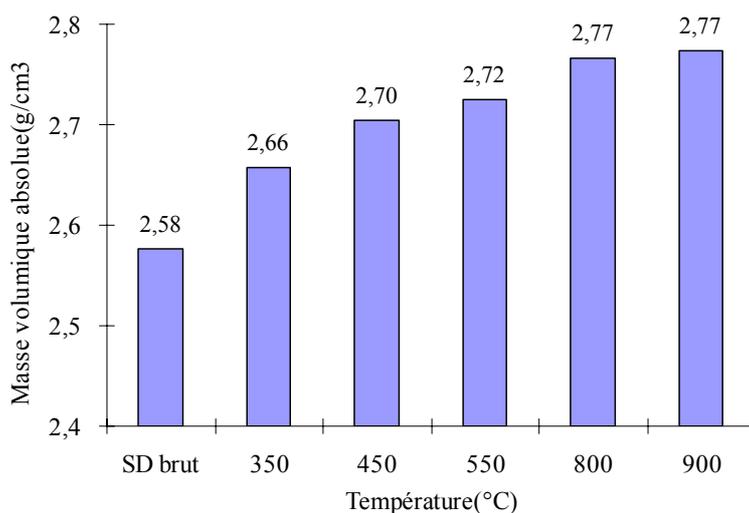


Figure 5. L'évolution de la masse volumique en fonction de la température

Pour étudier l'influence de la matière organique et de la calcination des minéraux (particulièrement les carbonates), les masses volumiques des résidus des échantillons calcinés pendant 3 heures à 350°C, 450°C, 550°C, 800°C et 900°C ont été mesurées. Evidemment, les masses volumiques s'élèvent généralement à cause de l'augmentation de la température. Cette augmentation est principalement due à la perte des matières organiques et des carbonates. Notez que les masses volumiques ne changent pas après calcination pendant 3 heures à 800°C et à 900°C.

4 Conclusion

La valorisation des sédiments de dragage comme matériau de construction est une filière prometteuse, particulièrement dans le domaine routier. Pour encourager cette utilisation, on doit étudier les caractéristiques physiques et thermiques des

sédiments de dragage et montrer qu'elles sont comparables à d'autres matériaux déjà utilisés.

La teneur en eau, la masse volumique absolue, la valeur au bleu de méthylène, la granulométrie et les limites d'Atterberg ont été déterminées et comparées avec les résultats précédents. A l'aide des essais au scissomètre et au cône de pénétration, on a montré que la cohésion non drainée et la masse volumique apparente augmentent avec la diminution de la teneur en eau. Pour déterminer la teneur en matière organique, des essais de calcination et de thermogravimétrie ont été réalisés. La masse volumique absolue et la perte au feu ont été mesurées pour explorer leur sensibilité à la température et caractériser l'influence de la matière organique et la décomposition des phases minérales. On peut voir que la masse volumique absolue et la perte au feu augmentent avec la température. Ensuite, la teneur en carbone total a été calculée selon les résultats des essais thermiques. Les résultats montrent que le comportement thermique est sensible à la température.

5. Références bibliographiques

- Alzieu C. (1999). «Dragages et environnement marin», Ifremer, Brest et Nantes, Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, Paris, ISBN 2-84433-0114-2.
- Boutin R. (1999). «Amélioration des connaissances sur le comportement des rejets en mer des produits de dragage type vase : phénomènes court terme champ proche», Thèse de l'Institut national des sciences appliquées de Lyon.
- Colin D. (2003). Valorisation de sédiments fins de dragage en technique routière. Thèse de l'université de Caen, France, 2003.
- Dermatas D., Paul Dutko P., Balorda-Barone J., Moon D-H. 2002. Geotechnical properties of cement treated dredged sediments to be used as transportation fill. Proceedings of the 3rd specialty conference on dredging and dredged material disposal, 2002.
- Dubois V. (2006). Caractérisation physico-mécanique et environnementale des sédiments marins. Application en technique routière. Thèse, Ecole des Mines de Douai, France, 2006.
- GTR. (1992). «Guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme», fascicule I, principes généraux.
- Mustin M. (1987). «Le compost». Editions Français Dubusc, ISBN 2 864 72008 6.
- NF P 94-050. (1991). Sols : reconnaissance et essais – détermination de la teneur en eau pondérale des sols – méthode par étuvage. Octobre 1991.
- NF P 94-051. (1993). Sols : reconnaissance et essais – détermination des limites d'Atterberg – limite de liquidité à la coupelle – limite de plasticité au rouleau. Mars 1993.
- NF P 94-052-1. (1995). Sols : reconnaissance et essais – détermination des limites d'Atterberg – Partie 1 : limite de liquidité – Méthode du cône de pénétration. Novembre 1995.
- NF P 94-068. (1993). Sols : reconnaissance et essais – mesure de la quantité et de l'activité de la fraction argileuse – détermination de la valeur au bleu de méthylène d'un sol par l'essai à la tâche. Novembre 1993.
- NF EN 12879. (2000). Caractérisation des boues – Détermination de la perte au feu de la matière sèche. Novembre 2000.
- NF ISO 13320-1.(2000). Analyse granulométrique. Méthodes par diffraction laser. Partie-1 : principes généraux. Septembre 2000.
- BRAKNI S. (2008). Première approche vers une valorisation de granulats artificiels à base de sédiments de dragage portuaire : application en génie côtier. Thèse de doctorat, 2008, Ecole des Mines de Douai, France.
- Tran Ngoc Thanh. (2009). Valorisation de sédiments marins et fluviaux en technique routière. Thèse de doctorat, 2009, Ecole des mines de Douai, France.
- XP P 94-047. (1998). Sols : Reconnaissance et Essais - Détermination de la teneur pondérale en matière organique – Méthode par calcination.
- Zentar R, Dubois V, Abriak NE. (2005). Physical and mechanical behaviour of dredged marine sediments. Proceedings of the Third International Conference on remediation of contaminated sediments, 2005.

