

## ETUDE D'UNE GRAVE ROUTIERE A BASE DE SABLE DE DRAGAGE

Nor-Edine Abriak, Ecole Nationale Supérieure des Mines, Douai, France

Pascal Grégoire, Port Autonome, Dunkerque, France & Université d'Artois, Béthune, France

Fabrice Bernard, , Ecole Nationale Supérieure des Mines, Douai, France

### ABSTRACT

This work falls under the context of the valorisation of dredged sands, which are found in considerable quantity in the ports or the access channels. This sedimentation implies lot of navigation problems. Civil Engineering is traditionally a recycling way of this kind of materials. The present study is interested more particularly in valorisation in road engineering. With this intention, the study comprises several stages. Both complete chemical and mineralogical characterisation, and determination of the polluting potential are carried out. Components necessary for the development of the road gravel are then identified following mechanical performances seek. Economical criteria are also taken into account.

### RÉSUMÉ

Ce travail s'inscrit dans le contexte de la valorisation des sables de dragage, que l'on retrouve en quantité considérable dans les ports ou les chenaux d'accès. Cette sédimentation pose de très nombreux problèmes de navigation. Traditionnellement le Génie Civil est une voie de recyclage de ce genre de matériaux. La présente étude s'intéresse plus particulièrement à la valorisation en techniques routières. Pour ce faire, l'étude se déroule en plusieurs étapes. La caractérisation complète, à la fois chimique et minéralogique, et la détermination du potentiel polluant sont réalisées. Les constituants nécessaires pour l'élaboration de la grave routière sont ensuite identifiés à la suite de la recherche des performances mécaniques. Des critères économiques sont également pris en considération.

### 1. INTRODUCTION

Le transit littoral des matériaux en suspension, lié à l'importance des courants de marée, provoque une sédimentation dans les ports. Des milliers d'heures d'intervention sont nécessaires pour évacuer ces matériaux en fonction des cycles de marées. Le dragage revêt donc une importance primordiale pour le maintien de la navigation dans les ports et les chenaux d'accès. Le bilan des dragages fait apparaître une quantité considérable de sable, qu'il est nécessaire d'extraire pour éviter tout ensablement. Dans un soucis accru d'une gestion écologique des ressources naturelles fondée sur le développement durable, les solutions recherchées pour le devenir de ces matériaux sont la valorisation plutôt que l'immersion (rejet en mer).

La présente étude a pour objectif la valorisation de ce sable dans le cadre d'une grave routière. Le sable retenu est celui déposé à la Capitainerie Ouest du Port Autonome de Dunkerque.

### 2. CARACTERISATION DU SABLE

Dans un premier temps, une caractérisation complète du sable de dragage est présentée : analyses minéralogiques, chimiques, et géotechniques. L'objectif de ce travail préliminaire est d'évaluer le potentiel polluant du sable et de déterminer ses caractéristiques physiques nécessaires pour les formulations.

#### 2.1 Analyses chimiques et minéralogiques

Il s'agit d'identifier ici la nature des minéraux du sable afin de voir le type de polluants associés à ces minéraux. Les analyses ont été effectuées par fluorescence X et diffraction X.

Le spectromètre de fluorescence X utilisé, de type Siemens, est destiné à la détermination de la composition chimique (à partir du bore jusqu'à l'uranium, excepté l'azote) d'échantillons solides ou liquides. Les résultats obtenus sur le sable de dragage sont repris dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1. Composition chimique du sable de dragage obtenue par fluorescence X (% massique)

CO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	MgO	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cl
5,0	79,9	8,7	2,2	0,8	0,8	0,6	0,7	0,02 0,03*

\* mesurée par solubilité à l'eau

Le diffractomètre aux rayons X utilisé, de type Siemens, est destiné à l'identification des phases cristallines dans un composé donné. Cela nous a permis de montrer que le sable de dragage est principalement composé de Quartz (SiO<sub>2</sub>), avec la présence aussi de Calcite (CaCO<sub>3</sub>).

#### 2.2 Test de lixiviation

Le test de lixiviation est considéré actuellement comme un outil indispensable pour la prédiction de comportement à long terme des déchets (figure 1).

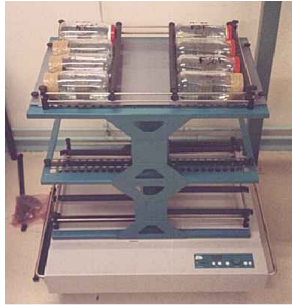


Figure 1. Test de lixiviation X31-210

En France, la circulaire « Mâchefers d'Incineration d'Ordures Ménagères » (Ministère français de l'environnement, 1994) impose la caractérisation du potentiel polluant par la réalisation de tests de lixiviation X31-210.

C'est ce type d'essai que nous retenons ici. Ce test repose sur la solubilisation des éléments chimiques présents dans le sable. Il est effectué sur un échantillon non séché et consiste en la mise en contact de 100 grammes d'échantillon avec un litre d'eau pendant 3x16 heures à l'aide d'un agitateur va-et-vient à une vitesse de 60 oscillations/minute. C'est l'essai de lixiviation X31-210 qui semble offrir les conditions les plus agressives (AFNOR, 1992).

La séparation échantillon résiduel-lixiviat est réalisée par centrifugation suivie d'une filtration à 0.45 µm. Les éléments suivis sont les minéraux généralement cités dans les réglementations française, hollandaise et canadienne. Il s'agit du mercure, du cadmium, de l'arsenic, du plomb, du chrome VI, du cuivre, du zinc, des sulfates, des nitrates et des chlorures. On recherche également les composés organiques totaux (COT) (Journal officiel des Communautés Européennes, 2000).

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau ci-dessous. On trouvera également, à titre de comparaison, les valeurs limites définies dans la circulaire « MIOM » de 1994, en dessous desquelles les mâchefers peuvent être considérés comme valorisables en techniques routières.

Tableau 3. Résultats du test de lixiviation X31-210

Eléments	mg/kg de matière sèche, après 3 extractions (48h)	Critères de valorisation d'un mâchefer
COT	140	<1500 mg/kg
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<790	<10000 mg/kg
Cr VI	<0,6	<1.5 mg/kg
As	<0,07	<2 mg/kg
Cd	<0,3	<1 mg/kg
Hg	<0,03	<0.2 mg/kg
Pb	<6	<10 mg/kg

En outre, le chlore présent dans le sable est en quantité négligeable (tableau 1); et la pollution en Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) est faible.

Ces résultats nous permettent de conclure que le sable de dragage est faiblement pollué et peut être valorisé en techniques routières.

### 2.3 Analyses physiques et géotechniques

Il s'agit ici de déterminer les caractéristiques géotechniques des sables nécessaires avant toute tentative de valorisation de ce matériau comme constituant des chaussées. Les paramètres retenus sont ceux définis dans le guide « Réalisation des remblais et couches de forme » (SETRA, 1992): teneur en eau, granulométrie, masse volumique apparente et absolue (au pycnomètre à hélium), essai au bleu de méthylène, équivalent de sable, module de finesse. Les différents résultats, excepté la granulométrie, sont présentés ci dessous :

- Teneur en eau naturelle (%) : 5.5
- Masse volumique apparente (g/cm<sup>3</sup>) 1.41
- Masse volumique absolue (g/cm<sup>3</sup>) 2.62
- Equivalent de sable visuel 93.8
- Equivalent de sable (piston) 82.4
- Valeur au bleu de méthylène (pour 100g) 0.1
- Module de finesse 0.9
- Test d'alcali réaction (Essai microbar) Non réactif

La figure 2 montre la granulométrie du sable de dragage.

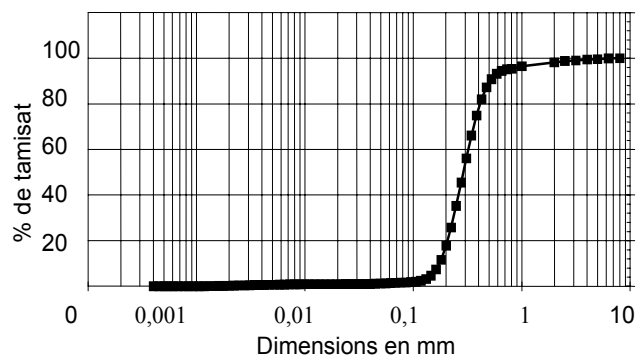


Figure 2. Granulométrie du sable de dragage

Avec 2% d'éléments inférieurs à 0.08 mm et 90% d'éléments inférieurs à 0.5 mm, ce sable peut être classé d'un point de vue granulaire comme un sable moyen. Sa faible valeur au bleu permet de confirmer le caractère propre du sable.

La granulométrie est très serrée : près de 90% des grains ont un diamètre compris entre 0.1 mm et 0.5 mm. Cela laisse supposer que le sable seul ne pourra pas avoir une compacité suffisamment grande, et par la suite un Indice Portant Immédiat adéquat. Un traitement aux liants

hydrauliques et l'utilisation d'un matériau correcteur se révéleront certainement indispensables.

### 3. FORMULATIONS

Les graves routières, en particulier celles destinées aux couches d'assise de chaussée, doivent répondre à des caractéristiques mécaniques bien précises : Indice Portant Immédiat, module d'élasticité, résistance à la traction.

L'IPI d'un sable caractérise son aptitude à être porté à une densité élevée (compactabilité), et à ne pas se déformer au jeune âge sous le trafic de chantier. Un compactage aisé et une traficabilité correcte dans les conditions normales de sollicitation seront obtenus avec un indice portant immédiat (IPI) compris entre 40 et 60. Il est recommandé, pour faciliter le déroulement du chantier, de viser une valeur moyenne de l'IPI non inférieure à 35 (couche de fondation) et 45 couche de base. En aucun cas, les valeurs minimales ne devront être inférieures à 25 (couche de fondation) et 35-40 (couche de base).

Comme le laissait prévoir la granulométrie non étalée du sable, après détermination des caractéristiques de compactage à l'énergie Proctor modifié du sable de dragage seul, il apparaît une insuffisance notable de ce matériau en densité sèche d'une part et en Indice Portant Immédiat d'autre part :

- densité sèche ( $\gamma_d$ ) : 1.63t/m<sup>3</sup> à l'optimum (15% d'eau),
- IPI maximal : 3, et sur une faible plage de teneur en eau (sensibilité à ce paramètre).

Il est donc nécessaire de faire appel à des matériaux correcteurs pour améliorer la portance du sable.

L'utilisation, en outre, en assises de chaussée nécessite un traitement aux liants hydrauliques. Pour des raisons de maniabilité, ces liants doivent être à prise lente. C'est pourquoi le ciment CEM III/C 32.5 PMES (à base de laitier, anciennement CLK) de la cimenterie de Lumbres (groupe Ciment d'Obourg) a été choisi. La recherche des autres constituants ainsi que des proportions relatives est particulièrement développé dans Abriak *et al.* (2003). Le fil conducteur est dans un premier temps l'obtention d'un IPI suffisamment élevé.

A la fin de cette étape 3 formulations respectant les conditions nécessaires ont été retenues :

- 52 % de sable de dragage, 40 % de sable du Boulonnais 0/4 mm, 8% de CEM III/C 32.5 PMES,
- 60 % de sable de dragage, 30 % de sable du Boulonnais 0/4 mm, 10 % de CEM III/C 32.5 PMES,
- 72 % de sable de dragage, 21 % de sable du Boulonnais 0/4 mm, 7 % de CEM III/C 32.5 PMES.

Il est à noter également qu'il ne faut pas essayer à tout prix de s'inscrire dans le fuseau granulométrique préconisé pour les graves 0/20 mm : ceci conduirait à n'utiliser que 10% de sable de dragage, ce qui n'est pas le but de la valorisation.

La détermination de la formulation optimale se fait par la détermination des caractéristiques mécaniques qui permettent de classer la micro-grave. Cette étape se fait selon la norme NFP 98-113 (AFNOR, 1994).

### 4. RECHERCHE DES PERFORMANCES MÉCANIQUES

Le passage obligé pour caractériser définitivement une grave consiste à mouler par vibrocompression des éprouvettes diamètre 16 cm, hauteur 32, avec une zone centrale réduite de manière à ce que la rupture se produise dans cette partie de l'éprouvette, instrumentée pour pouvoir mesurer les déformations sous charge selon la norme NF P 98-114-2 (AFNOR, 1994). L'essai à réaliser est un essai de traction directe, très délicat à mettre en œuvre. En cas de difficultés, la norme prévoit une simplification de la procédure : des essais de traction par fendage peuvent alors être réalisés ; des coefficients d'équivalence permettent alors de revenir à des valeurs de traction directe.

Une approche rapide des performances mécaniques résistance à la traction par fendage sur des éprouvettes de diamètre 5 cm et de hauteur 10 cm, obtenus par compression statique selon la norme NFP 98-230-2 (AFNOR, 1993) a montré que le mélange E comportant 40% de sable correcteur et 8% de ciment est moins performant que les deux autres. Par conséquent, nous ne faisons l'étude sur les grandes éprouvettes qu'avec les deux autres formulations.

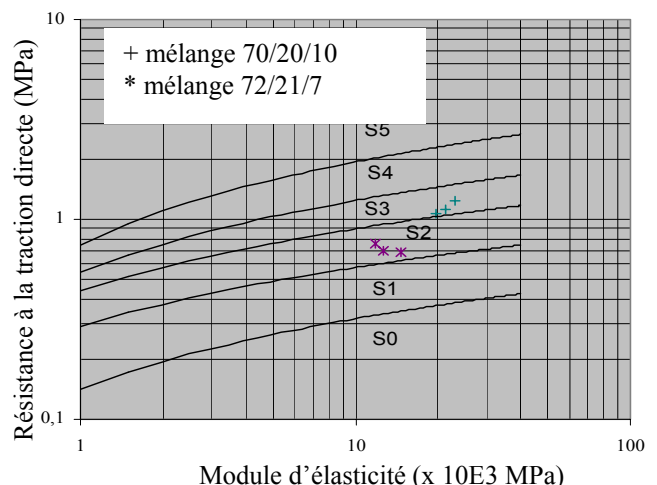


Figure 8. Performances mécaniques des éprouvettes et classements des graves suivant la norme NFP 98-230-2

Des séries de trois éprouvettes sur les deux mélanges retenus ont été confectionnées et testées à 28 jours. Les valeurs obtenues tant en résistance qu'en module d'élasticité sont projetées en valeurs équivalentes à un an grâce à des coefficients empiriques donnés par la norme. La figure ci-dessous montre les résultats obtenus pour les deux formulations ainsi que les classements qui s'en suivent.

Ces résultats doivent être analysés selon deux points de vue : mécanique et économique. Un dosage de 7% de ciment permet d'obtenir une classe S2 suffisante pour les couches d'assise de chaussée. La situation des valeurs de la formulation au centre de la classe S2 n'impose pas, avant étude de l'influence des paramètres, d'adopter un dosage de 8%. Quant au dosage de 10% de ciment, on voit qu'il permet d'atteindre la classe de résistance S3, mais d'un double point de vue économie et sensibilité à la fissuration (le ciment apporte un comportement fragile), il est moins intéressant : il est sans doute préférable de majorer l'épaisseur de la couche de fondation de cette grave plutôt que d'augmenter son dosage en ciment.

### 5. SENSIBILITÉ AUX PARAMÈTRES

Pour être complète, l'étude doit permettre de mesurer l'influence des paramètres inhérents à la fabrication : la densité sèche, la teneur en eau et la quantité de liant. Plusieurs essais ont été réalisés en faisant varier séparément chacun de ses paramètres, de la façon suivante :  $\gamma_d = 0,95(\gamma_d \text{ réf.})$  ;  $\gamma_d = 1,02(\gamma_d \text{ réf.})$  ;  $W=W \text{ réf.} + 0,5\%$  ;  $W=W \text{ réf.} - 1\%$  ;  $l = 0,8 \text{ liant}$  ;  $l = 1,2 \text{ liant}$ .

L'ensemble des résultats sont résumés ci-dessous :

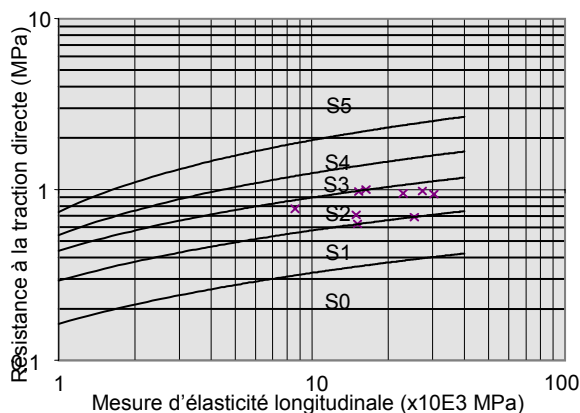


Figure 9. Classements des graves suivant les performances mécaniques à 360 jours

Tous les résultats obtenus restent dans la classe de résistance S2, mais dans certains cas, les résultats assez faibles montrent qu'il faudra être prudent avant un démarrage de chantier.

### 6. CONCLUSION

Le Port Autonome de Dunkerque dispose annuellement d'une quantité considérable de sable de dragage extrait de l'avant-port pour éviter son ensablement. La présente étude a pour objectif la valorisation de ce sable dans le cadre d'une grave routière. Pour réaliser cela, la formulation à déterminer doit répondre à certaines caractéristiques : compacité, portance, résistance et doit présenter en outre des avantages économiques. Ce sont ces 4 paramètres qui ont servi de fil directeur dans ce travail et dans la recherche d'une formulation de grave optimale.

Finalement, un mélange répondant à toutes ces questions a pu être mis en avant.

### 7. REFERENCES

Abriak, N.E., Grégoire, P. 2003. Amélioration de la portance du sable de dragage extrait de l'avant-port de Dunkerque, 2<sup>ème</sup> Symposium International sur les Sédiments Contaminés, Québec.

AFNOR. Décembre 1992. Déchets, essai de lixiviation. Normalisation française X31-210

AFNOR. Août 1993. Préparation des matériaux traités aux liants hydrauliques ou non traités. Normalisation française NF P98-230-2.

AFNOR. Novembre 1994. Méthodologie d'étude en laboratoire des matériaux traités aux liants hydrauliques. Normalisation française NF P94-114-2

AFNOR. Novembre 1994. Sables traités aux liants hydrauliques et pouzzolaniques. Normalisation française NF P98-113.

Journal Officiel des Communautés Européennes. 14 juin 2000. Arrêté relatif aux niveaux de référence à prendre en compte lors d'une analyse de sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire.

Ministère français de l'environnement. 9 mai 1994. Circulaire DPPR/SEI/BPSIED/FC/FC, n°94.IV.I.

Ministère français de l'Équipement, du Logement et du Transport. Septembre 1992. Réalisation des remblais et couches de forme. Guide technique (ed. SETRA).