
Valorisation des sédiments dans les travaux de remplissage

Rafik Abdallah, Agnes Zambon, Jacqueline Saliba, Nadia Saiyouri

Université de Bordeaux, UMR 5295, Institut de Mécanique et d'Ingénierie (I2M), Département Génie Civil et Environnemental (GCE), 33000 Bordeaux, France e-mail : jacqueline.saliba@u-bordeaux.fr

RÉSUMÉ. L'objectif de ce travail est de valoriser des sédiments non traités dans la formulation d'un béton allégé. Pour cela, un béton mousse innovant a été développé en remplaçant le sable fin par des sédiments. Plusieurs essais expérimentaux ont été réalisés pour, dans un premier temps, caractériser les sédiments et dans un second temps déterminer les propriétés du béton de mousse à l'état frais et à l'état durci. Le pourcentage en masse de ciment et le pourcentage volumique de mousse ont été variés de 12% à 18% et de 0, 30 à 50% respectivement. Des essais de compression ont été effectués sur des éprouvettes à 7 et 28 jours. La technique non destructive des ultrasons a été aussi utilisée pour suivre le durcissement du béton allégé. Les résultats ont montré que les propriétés mécaniques comme la résistance à la compression, le module de Young et la vitesse des ondes ultrasonores augmentent avec l'ajout du ciment et diminuent avec le % de mousse avec des valeurs acceptables pour des travaux de remplissage.

ABSTRACT. This project deals with the idea of valorisation of Untreated Sediments in the formulation of lightweight concrete. For this, an innovative foam concrete based on the replacement of its fine sand by sediments is developed. Several experimental tests are realized to characterize the sediments, and to study the properties of fresh and hardened foam concrete. The percentage by weight of cement and the volume percentage of foam were modified from 12% to 18% and from 0 to 30 and 50% respectively. Compressive tests were performed on specimens at 7 and 28 days. The ultrasonic non-destructive technique has been used for monitoring the hardening of lightweight concrete. The results showed that mechanical properties such as compressive strength, Young's modulus, and ultrasonic wave velocity increase with cement and decrease with % foam with acceptable values for filling work.

MOTS-CLÉS : Valorisation, sédiments, béton de mousse.

KEYWORDS: Valorization, sediments, Foam Concrete.

1. Introduction

La problématique de gestion des sédiments de dragage revêt de plus en plus d'importance par le durcissement de la réglementation. En effet, l'accumulation des sédiments au fond des cours d'eau ou des ports provoque la diminution du tirant d'eau nécessaire à la navigation notamment pour la circulation fluviale. Leur extraction est ainsi nécessaire avec un volume de sédiments dragués estimé chaque année à environ 50 millions de m³. Les nouvelles directives européennes sur la gestion des sédiments sont très contraignantes. Les sédiments ne peuvent plus être rejetés dans le milieu marin obligeant à terme les collectivités à prévoir un traitement à terre coûteux en raison des volumes considérables à valoriser et de la complexité d'un tel processus. Les sédiments représentent également un problème du point de vue de l'environnement, car les sédiments sont pollués, il faut donc les traiter. Face à cette problématique, des nouvelles filières de valorisation et de traitement ont été recherchées, notamment dans les travaux routiers, aménagement paysager et la transformation des sédiments en produits de construction [FRA 17] [ZAM 16] [LIM 11].

Dans ce travail, des sédiments provenant du bassin d'Arcachon ont été étudiés. Dans un premier temps, ces sédiments ont été caractérisés. Dans un deuxième temps, un béton innovant à base de sédiments marins sera développé. Ce dernier est fabriqué à partir d'une mousse qui lui confère une faible densité afin d'être utilisé par la suite dans les travaux portuaires comme matériau de remplissage pour des palplanches par exemple. Ce béton allégé permettrait ainsi de diminuer le poids d'appui exercé sur le rideau de palplanche et de mettre en place un processus de fabrication du béton à partir des sédiments marins dragués sur le lieu du chantier [HOR 14]. La formulation et le procédé de fabrication du béton allégé ont été basés sur les travaux de Zambon et al. [ZAM 16] qui ont utilisé des sédiments artificiels pour la fabrication du béton. L'effet du pourcentage de ciment et du pourcentage de mousse sur les propriétés mécaniques a été étudié.

2. Programme expérimental

Les sédiments ont été prélevés du port du rocher à la teste de Bush en Gironde sans aucun traitement préalable. Ces sédiments ont été ensuite mélangés dans un malaxeur afin d'assurer une certaine homogénéité entre les différentes formulations. Le ciment utilisé pour la fabrication du béton allégé est le ciment (CEM 1, 52.5 N PM-CP2). C'est un ciment de haute performance adapté à la production de bétons en milieux faiblement agressifs dont les travaux à la mer et les bétons au contact du gel et des sels de déverglaçage. Une mousse à base de « protéine animale » a été utilisée. La mousse est fabriquée à l'aide d'un générateur qui produit 150-200 litre de mousse par minute en amont de la confection du béton et est ensuite incorporée au béton frais pendant l'étape de malaxage. La méthode de formulation est basée sur le rapport w / w_L qui correspond au ratio de la teneur en eau du mélange sur la limite de liquidité des sédiments. Ce rapport a été fixé au début en se basant sur les travaux de Zambon et al. [ZAM 16] à 1.7. Le pourcentage de ciment et le pourcentage de mousse ont été variés de 12% à 18% et de 0%, 30% à 50% respectivement. Six formulations ont été ainsi testées (12C0M, 12C30M, 12C50M, 18C0M, 18C30M, 18C50M avec C pour ciment et M pour mousse).

Les sédiments ont été malaxés pendant dix minutes en ajoutant l'eau progressivement. Ensuite, le ciment est incorporé. La mousse est ajoutée à la fin tout en malaxant pendant une minute afin d'éviter la rupture des bulles d'air.

Les essais de compression ont été réalisés sur des éprouvettes cubiques de dimension 10x10x10 cm³ et ceci à 7 et 28 jours selon la norme EN 206. Après coulage, les éprouvettes ont été couvertes par un film plastique pendant 48h, puis ont été ensuite démoulées et conservées dans une salle climatique à 20°C et une humidité relative de 60%.

Les essais de compression simple ont été effectués à l'aide d'une machine électromécanique d'une capacité de 50 KN. Le chargement du béton a été appliqué avec un déplacement imposé d'une plaque d'acier à une vitesse constante de 0,5 mm/min. Les éprouvettes ont été équipées de 2 capteurs LVDT pour mesurer la déformation longitudinale et de 2 autres capteurs LVDT pour mesurer la déformation transversale.

De plus, un système portable composé d'un générateur d'impulsion PUNDIT (Portable Ultrasonic Nondestructive Digital Indicating Tester) a été utilisé avec deux transducteurs (émetteur et récepteur) de 200 KHz de fréquence afin de suivre l'évolution de la rigidité du béton. Des essais de flexion trois points ont été aussi réalisés sur des éprouvettes de dimensions 7x7x28 cm³.

3. Résultats

3.1 Caractérisation des sédiments

Les propriétés physiques des sédiments ont été déterminées au début : la masse volumique, la teneur en eau, l'essai d'équivalent de sable, la valeur au bleu de méthylène (NFP 94-068), les limites d'Atterberg (NF P 94-051) et la granulométrie par tamisage sous l'eau et par sédimentométrie. Le tableau 1 présente les propriétés des sédiments et la classification selon le système de classification USCS. L'indice de plasticité est égal à 4.

N°	1	2	3	Moyenne
W _i (%)	23,8	24,7	23,4	24
W _p (%)	19,6	19,6	20,6	20
VBS (ml/g)	0,42	0,43	0,41	0,42
ES	46	47		47%
Classification USCS	Sable limoneux			

Tableau 1: propriétés physiques des sédiments.

L'analyse granulométrique des sédiments a été réalisée par tamisage sous l'eau selon la norme (NFP P 94-041) afin de déterminer le pourcentage massique des différentes classes granulaires. La sédimentation a été aussi réalisée afin d'étudier la granulométrie des particules fines (<80 µm) selon la norme (NF P94-057). La figure 1 présente la courbe granulométrique obtenue indiquant que les sédiments sont composés majoritairement de sable (70%) avec une fraction d'argile de 30%.

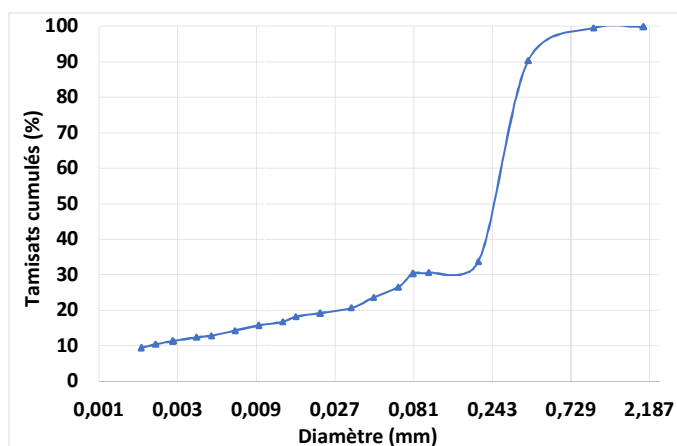


Figure 1: Courbe granulométrique des sédiments marins

3.2 Propriétés du béton frais

Le béton allégé est fabriqué afin d'être utilisé en tant que matériau de remplissage pour les palplanches. Ainsi, une masse volumique à l'état frais supérieure à la masse volumique de l'eau et d'au moins égale à 1,2 Kg/L est visée. Le tableau 2 présente la masse volumique moyenne pour les 6 formulations étudiées. A noter ici que le béton allégé est assez fluide et aucune vibration est nécessaire pour la mise en place. L'étalement correspondant aux différentes formulations est aussi présenté au tableau 2.

	12C0M	12C30M	12C50M	18C0M	18C30M	18C50M
(Kg/L)	2,12	1,79	1,61	2,03	1,86	1,65
Etalement	64	69	72	77	80	86

Tableau 2: propriétés du béton frais

3.3 Propriétés mécaniques

La figure 2 présente l'évolution de la résistance à la compression et du module de Young à 7 et 28 jours en fonction du pourcentage de mousse et du pourcentage de ciment. Les résultats montrent une diminution des propriétés mécaniques en fonction du pourcentage de mousse dû à l'augmentation de la porosité et à l'inverse une augmentation de ces valeurs avec le pourcentage de ciment suite aux différentes réactions d'hydratation. A noter ici qu'une bonne corrélation a été observée entre le module de Young et le module dynamique calculé à partir de la vitesse de propagation des ondes ultrasonores.

La résistance à la compression est supérieure à la contrainte minimale acceptée (0,3 MPa) pour le béton de remplissage des palplanches. Ainsi, le pourcentage de ciment peut être diminué. Par ailleurs, des essais supplémentaires doivent être réalisés afin de prendre en compte la variabilité de la granulométrie des sédiments et surtout dans le cas où le pourcentage d'argile est important ce qui risque de diminuer fortement la résistance à la compression [ZAM 16].

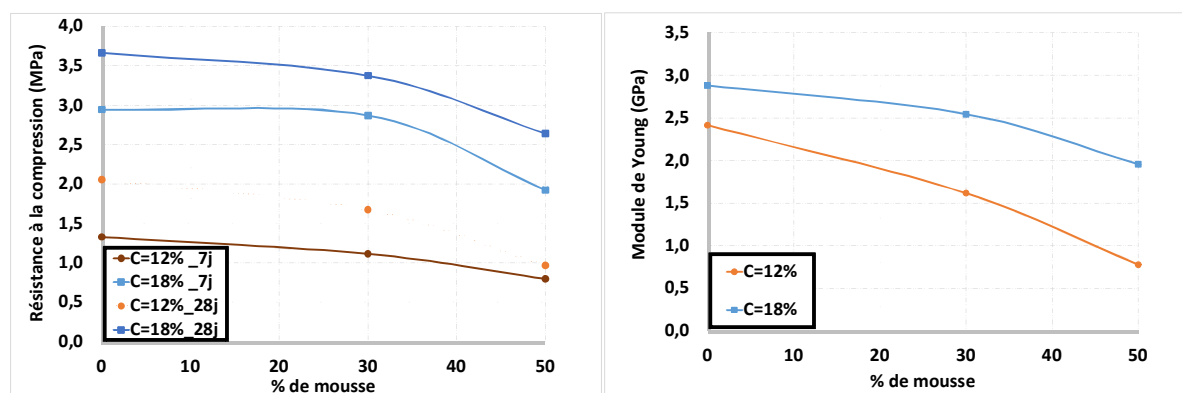


Figure 2: Résistance à la compression et module de Young en fonction du % de mousse et de ciment.

4. Conclusion

Les propriétés à l'état frais et à l'état durci d'un béton allégé à base de sédiments ont été déterminées dans cette étude. L'effet du % de ciment et du % de mousse a été aussi étudié. Les résultats ont montré que la densité diminue avec l'ajout de la mousse et varie légèrement avec l'ajout du ciment. Par ailleurs, les propriétés mécaniques comme la résistance à la compression, le module de Young et la vitesse des ondes ultrasonores augmentent avec l'ajout du ciment et diminuent avec le % de mousse. Ces valeurs sont supérieures au minimum requis pour les travaux de remplissage indiquant un vrai intérêt de la valorisation des sédiments dans ce genre d'application. Des recherches additionnelles sont en cours afin de réaliser une caractérisation physico-chimique plus fines des sédiments (% des métaux lourds et des matières organiques), d'optimiser les formulations et d'étudier la durabilité de ce matériau dans son environnement suite à différents types d'agression (lixiviation).

5. Références

- [FRA 17] FRAR I., BELMOKHTAR N., EL AYADI H., AMMARI M., BEN ALLAL, L., « Valorization of port dredged sediments in cement mortars », *JMES*, Vol. 8, n° 9, 2017, p. 3347-3352.
- [ZAM 16] ZAMBON A., SAIYOURI N., SBARTAI Z-M., DUPLAIN H., « Recycling of Marine Sediments Stemming from Dredging for the Formulation of Lightweight Concrete used for Embankments », *5th International Symposium on Sediment Management - ASIMS*, 2016.
- [LIM 11] LIMEIRA J., ETXEBERRIA M., AGULLO L., MOLINA. D., « Mechanical and durability properties of concrete made with dredged marine sand », *Construction and Building Materials*, Vol. 25, n° 11, 2011, p. 4165-4174.
- [HOR 14] HORPIBULSUK S., WIJITCHOT A., NERIMITKNORBUREE S., « Factors influencing unit weight and strength of lightweight cemented clay », *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, vol.47, 2014, p101-109.