
Contribution à l'étude du potentiel de valorisation de sédiments de dragage portuaire issus de lagunage actif dans la formulation de matériaux cimentaires autoplaçants

Ouedraogo N. Philippe^{1,2}, Becquart Frédéric^{1,2,*}, Benzerzour Mahfoud^{1,2}

¹IMT Lille Douai, LGCgE-GCE, F-59508 Douai, France

²Université de Lille, F-59000 Lille, France

*Correspondant : frederic.becquart@imt-lille-douai.fr

RÉSUMÉ. On s'intéresse dans cette contribution à l'utilisation de sédiments de dragage portuaire issus de lagunage actif dans la formulation de bétons autoplaçants (BAP) avec l'objectif d'un taux d'incorporation de sédiments notable avec apport d'une réelle valeur ajoutée, essentiel entre autres pour assurer la viabilité technico-économique d'une filière de valorisation. La méthode DMDA (Densified Mixture Design Algorithm) est utilisée pour optimiser la composition des BAP « sédiments ». La communication se focalise sur les mortiers équivalents à ces BAP « sédiments ». Trois sédiments sont étudiés marquant leur différence par leur teneur en fines à 125 µm. Les sédiments sont faiblement humides, ne subissent aucun étuvage et sont dosés à volume constant dans les formulations. Le taux d'air occlus croît avec l'augmentation du taux de fines des sédiments. L'étalement des mortiers apparaît d'autant plus important que la teneur en fines des sédiments est moindre. D'un point de vue rhéologique, les fines de sédiments augmentent la viscosité des mortiers cimentaires autoplaçants s'expliquant notamment par l'influence des matières organiques. Le caractère « autoplaçant » et le niveau de performances mécaniques obtenus permettent d'entrevoir plusieurs pistes de valorisation viables technico-économiquement en applications BAP.

ABSTRACT. This contribution deals with the use of harbour dredged sediment from a active lagooning in the formulation of self-consolidating concrete (SCC). The objective is to reach a significant sediment incorporation rate with contribution of a real added value, necessary to ensure the technical and economic viability of a valorisation field. The Densified Mixture Design Algorithm (DMDA) method is used to optimize the composition of the "sediment" SCC. The communication focuses on the mortars equivalent to these "sediment" SCC. Three sediments are studied, marking their difference by their fines content at 125 µm. The sediments are weakly moist, do not undergo a placement in drying oven and are dosed at constant volume in the formulations. The occluded air content increases with the increase in the sediment fines content. The spreading of mortars appears all the more important as the fines content of the sediments is lower. From a rheological point of view, sediment fines increase the viscosity of self-consolidating mortars, explained in particular by the influence of organic matter. The "self-compacting" character and the level of mechanical performances make it possible to identify several SCC applications technically and economically viable.

MOTS-CLÉS : Sédiments de dragage portuaire, lagunage actif, bétons autoplaçants (BAP), méthode DMDA, mortiers, teneur en fines, viscosité.

KEY WORDS : Harbour dredged sediment, active lagooning, self-consolidating concrete (SCC), DMDA method, mortar, fines content, viscosity.

1. Introduction - Contexte d'étude

Le secteur de la construction fait face à une difficulté croissante d'approvisionnements en ressources naturelles granulaires non renouvelables du fait de l'épuisement des gisements et de la difficulté à ouvrir de nouvelles carrières. Ce constat impose de trouver de nouvelles sources d'approvisionnements sur fond accru d'économie circulaire. Si le recyclage des matériaux de construction est une solution, elle reste insuffisante car tous les matériaux ne sont pas réutilisables ou réutilisables à moindre proportion (propriétés intrinsèques amoindries). Il est donc essentiel de trouver des matières premières recyclées minérales, utilisables dans la construction et qui ne proviennent pas du recyclage des matériaux de construction eux-mêmes.

Dans le même temps, la gestion et la valorisation des sédiments portuaires et fluviaux demeurent des enjeux environnemental et économique importants pour les gestionnaires et les collectivités. Plusieurs dizaines de millions de mètres cubes de sédiments sont dragués dans les ports et curés dans les cours d'eau chaque année en France. Les sédiments portuaires et fluviaux constituent donc stratégiquement une offre minérale alternative de masses potentiellement utilisables en tant que matières premières recyclées. Ils peuvent s'inscrire dans la composition de matériaux de construction, ces derniers étant choisis stratégiquement en fonction de la compatibilité des propriétés intrinsèques des constituants alternatifs intégrés et de la viabilité technico-économique du développement industriel sous-jacent.

On s'intéresse dans le présent papier au potentiel de valorisation de sédiments de dragage portuaire non immergeables provenant du Grand Port Maritime de Dunkerque (GPMD) et déshydratés par lagunage actif pendant quelques mois jusqu'à faiblement humides (inférieur à 30-40 % d'humidité massique). Les résultats de caractérisation environnementale des sédiments, appuyés par les retours d'expériences, permettent assurément d'entrevoir plusieurs pistes de valorisation. Dans la continuité des travaux développés par l'IMT Lille Douai sur la valorisation des sédiments (notamment cadre de la démarche SEDIMATERIAUX et Chaire Industrielle EcoSed 2014-2018), le domaine d'étude concerne les matériaux cimentaires et l'utilisation de tels sédiments faiblement humides dans la formulation de mortiers et bétons. Par cette approche, les sédiments ne sont ni complètement asséchés par étuvage, ni calcinés. Il convient de rappeler que la viabilité technico-économique d'une filière pérenne de valorisation des sédiments est, entre autres, étroitement liée au coût de préparation des sédiments à mettre en relation in fine avec la valeur ajoutée de l'écoproduit résultant. A cela s'ajoute la question majeure du taux d'incorporation de sédiments dans les mélanges.

L'étude expérimentale présentée dans ce papier traite de la formulation de mortiers autoplaçants incorporant des sédiments faiblement humides différenciés par leurs taux de fines. Des essais de mesures d'air occlus et d'étalements ont été réalisés à l'état frais. A l'état durci, une évaluation des résistances à la compression et à la flexion respectivement à 7, 28 et 90 jours est effectuée.

2. Etude expérimentale et résultats

Les mortiers formulés dans la présente étude sont des mortiers équivalent béton autoplaçant (BAP) obtenu par application de la méthode AFREM [LAR 97]. Une optimisation granulaire de BAP « sédiments » a été réalisée par la méthode DMDA (Densified Mixture Design Algorithm) [CHA 04]. Les sédiments sont utilisés comme matière première à part entière pour combler les vides au sein de la matrice : les sédiments ne viennent pas en « fonction de substitution » du sable et/ou du ciment comme la plupart des travaux de recherches sur le sujet. L'utilisation de cette méthode DMDA (moyennant calage de quelques paramètres par une étude de sensibilité) permet de converger vers des compositions de formulations de bétons marquées par des dosages massiques notables en sédiments, de l'ordre de 300 kg au mètre cube de béton frais formulés, ceci tout en restant pertinent du point de vue du ratio massique ciment/sédiment (dosage ciment de l'ordre 300-350 kg/m³).

2.1 Constituants granulaires, propriétés physiques et données de formulation

Trois sédiments GPMD, notés S1 – S2 – S3, sont homogénéisés et quartés (figure 1) selon la norme NF EN 932-2. Les sédiments ont une humidité massique dans la fourchette 15.1-16.6% et sont principalement différenciés par leur teneur en fines, respectivement de 34, 43 et 49% à 63 µm (tableau 1). Les granulométries des sédiments passant à 125 µm sont représentées sur la figure 2 et sont similaires. On note les passants à 125 µm de l'ordre de 39, 51 et 54% pour S1 – S2 – S3.

S'agissant des compositions des mortiers, ils sont constitués de sable marin 0/2 mm, de ciment-laitier CEM III-A 42,5 N et d'un superplastifiant SHRE. Les compatibilités du triplet {ciment-adjurant-sédiment} ont été démontrées antérieurement par F. BECQUART à travers différents projets de recherche, au même titre que la

spécificité de la matière organique des sédiments GPMD étudiés, apparaissant compatible en interaction cimentaire. Point marquant de l'étude à ce stade, aucune addition n'est incorporée. Une méthodologie spécifique de confection des mélanges est mise en place liée intrinsèquement à l'incorporation de sédiments. Les mortiers sont curés en eau à 20°C jusqu'à l'échéance de rupture dans le cadre de l'étude de performances mécaniques des mortiers. Le tableau 2 explicite les compositions de mortiers équivalent BAP, notés MS1 – MS2 – MS3 et formulés respectivement à partir des sédiments S1 – S2 – S3.



Figure 1. Sédiments quartés

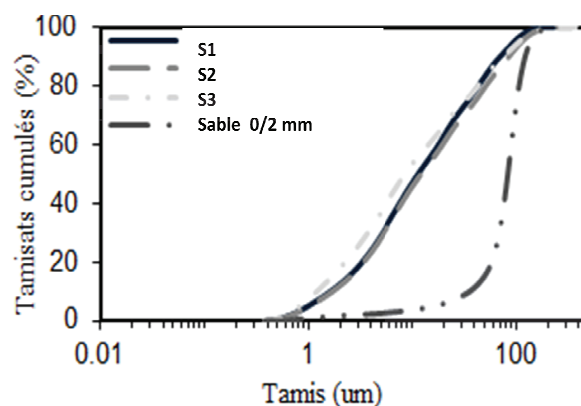


Figure 2. Granulométries des sédiments/sable

Tableau 1. Principales propriétés physiques des sédiments/sable

Propriétés physiques	Sédiments			
	S1	S2	S3	Sable (0/2)
Masse volumique réelle (kg/m ³)	2654	2590	2558	2640
Water content (%)	15.1	16.61	16.2	/
Fraction inférieure à 63 µm (%)	34	43	49	2.74
Fraction inférieure à 125 µm (%)	39	51	54	2.82
Module de finesse	/	/	/	2.72

Tableau 2. Composition des mortiers équivalent BAP

Formulation des mortiers (kg/m ³)	Mortiers		
	MS1	MS2	MS3
Ciment	403	403	403
Eau totale	381	381	381
Sédiment	398	390	383
Superplastifiant	15	15	15

2.2 Caractérisation à l'état frais des mortiers

Des essais de mesures d'air occlus et d'étalement ont été réalisés sur les trois mortiers MS1 – MS2 – MS3 (figure 3) dont la variante majeure est le taux de fines à 125 µm (tableau 1), induisant un volume de pâte des mortiers différent (figure 3 (a)).

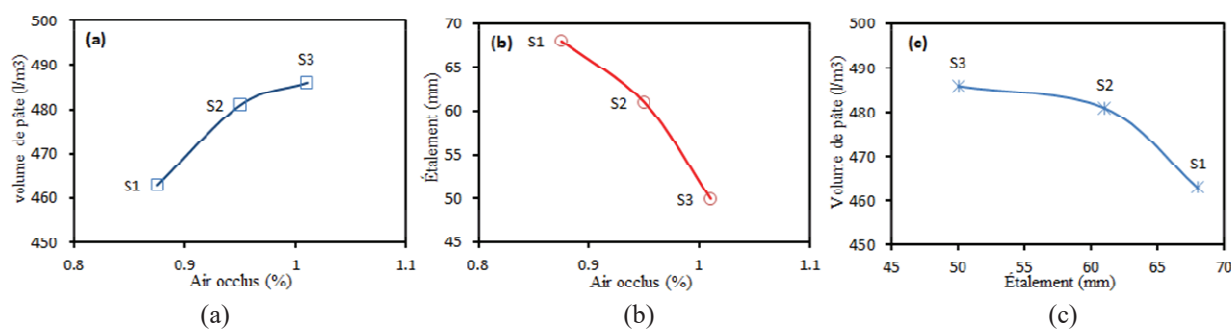


Figure 3. (a) : corrélation volume de pâte et air occlus (b) : corrélation étalement et air occlus (c) : corrélation volume de pâte et étalement

Le taux d'air occlus croît avec l'augmentation du taux de fines des sédiments (figure 3 (a-b)). L'étalement des mortiers apparaît d'autant plus important que la teneur en fines des sédiments est moindre (figure 3 (b-c)) ; d'un point de vue rhéologique, les fines de sédiments augmentent la viscosité des mortiers cimentaires autoplaçants, s'expliquant notamment par l'influence des matières organiques [MAR 18] et de la fraction argileuse.

2.3 Caractérisation à l'état durci des mortiers

Les performances mécaniques des mortiers ont été évaluées aux échéances de cure à 7, 28 et 90 jours. La figure 4 présente les résultats de résistances en compression et en flexion. Les résistances en compression croissent significativement jusqu'aux 90 jours de cure (entre 10 et 12 MPa à 7j ; entre 22 et 26 MPa à 28j ; entre 31 et 37 MPa à 90j) ; à échéance de cure donnée, l'influence du taux de fines sur les résistances en compression des trois mortiers est plus nuancée. Les résultats des résistances à la flexion sont plus contrastés. Si les performances évoluent en croissant significativement pour tous les mortiers entre 7 et 28 jours, on note une baisse de résistance en flexion pour les mortiers MS1 et MS2, au contraire du mortier MS3, le niveau de performance mécanique restant tout à fait acceptable. A noter la présence d'éléments fibrés dans la matrice sédiment comme cela a pu être constaté par observation MEB.

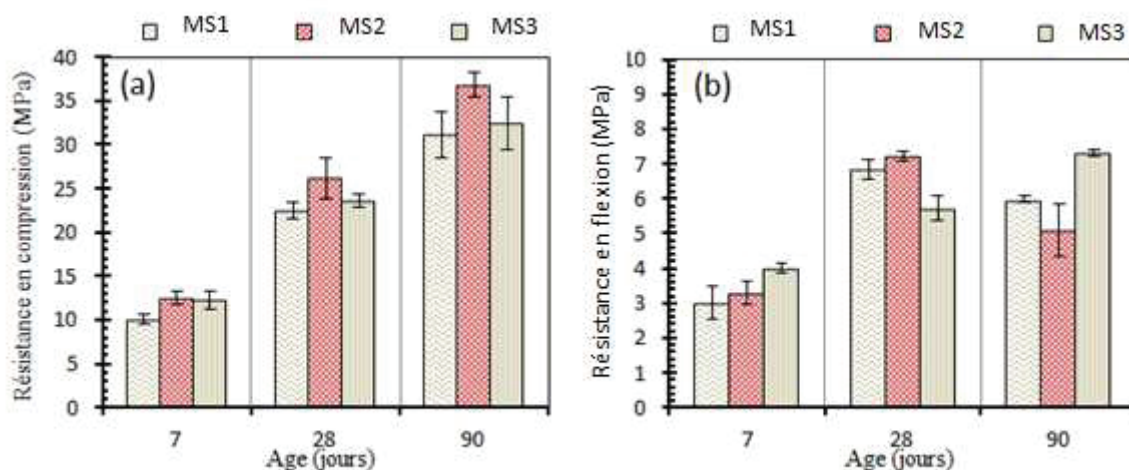


Figure 4. (a) : Résistances en compression des mortiers (b) : Résistances en flexion des mortiers

3. Conclusion

La valorisation de sédiments de dragage portuaire GPMD déshydratés par lagunage actif (sans étuvage aucun avant introduction dans le malaxeur) apparaît compatible avec le domaine des matériaux cimentaires et notamment la réalisation de BAP sédiments. A dosage massique à peu près constant en sédiments, l'augmentation du taux de fines des sédiments induit une augmentation de la viscosité ; la teneur en air occlus croît également dans le même sens. Le caractère « autoplaçant » et le niveau de performances mécaniques obtenus permettent d'entrevoir plusieurs pistes de valorisation viables technico-économiquement, et marqués par des taux d'incorporation « sédiments » notables (chaque piste devant faire l'objet d'une étude de durabilité spécifique dans l'environnement fonctionnel considéré).

4. Bibliographie

- [LAR 97] DE LARRARD F., BOSCH F., CATHERINE C., and DEFLORENNE F., "The AFREM method for the mix-design of high performance concrete," *Materials and Structures*, vol. 30, no. September, pp. 439–446, 1997.
- [CHA 04] CHANG PK., "An approach to optimizing mix design for properties of high-performance concrete", *Cement and Concrete Research*, Volume 34, Issue 4, pp 623-629, 2004.
- [MAR 18] MARTINEZ-GARCIA C., GONZALES-FONTEBOA B., MARTINEZ-ABELLA F., and CARRO-LOPEZ D., "Performance of mussel shell as aggregate in plain concrete", *Construction and Building Materials*, Volume 139, pp. 570-583, 2017.