

Effet de l'ajout de la Barytine BaSO₄ dans la formulation des bétons lourds

Emna BOUALI^{1,2*}, El Hadj KADRI¹, Abdelhak KACI¹, Abdelhak AYADI², Hamza SOUALHI¹

¹Laboratoire de Mécanique et Matériaux de Génie Civil, Université de Cergy Pontoise, Neuville sur Oise, France

²Laboratoire CFDT, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax, Sfax, Tunisie

* Auteur correspondant : emna.bouali@u-cergy.fr

RÉSUMÉ. Les bétons à haute densité sont couramment utilisés pour la radioprotection dans les centrales nucléaires afin d'assurer une protection contre les rayons X et gamma. Ils sont aussi utilisés dans d'autres structures où un poids important est requis. Cette étude expérimentale a été réalisée pour fabriquer des bétons lourds destinés au bétonnage des pieux forés sous boue afin d'éliminer au maximum la quantité résiduelle. Les mélanges de béton ont été réalisés avec des granulats denses comme la barytine ajoutée avec différents pourcentages (38, 46, 53 et 57%) pour avoir des bétons de différentes densités (2,9,3,3,1 et 3,2). Une étude de comportement rhéologique (viscosité, seuil de cisaillement) a été effectuée afin d'analyser l'effet de l'ajout de la barytine sur les paramètres rhéologiques. Les résultats de cette étude ont montré que l'utilisation de la barytine en substitution partielle du ciment engendre une perte de viscosité par contre la barytine utilisée en addition entraîne une augmentation de la viscosité et du seuil de cisaillement.

ABSTRACT. Heavy weight concretes or heavy density concretes are commonly used for radiation shielding in nuclear plant to ensure protection against X-rays and Gamma rays. It can also be required in other structures where a large mass is needed. This experimental study was effected to design a heavyweight concrete, which can be used in bentonite-bored piles concreting in order to remove as much as possible the amount of mud that resides in the pile. In this study, barite is used as fine aggregate (in form of powder) mixed with Portland cement to design concrete. Different barite concrete mixes were designed, where barite is used once as an addition while maintain constant the amount of cement (400Kg/m³), and as a substituent, with different percentage (38, 46, 53 and 57%) to reach different concrete densities (2,9,3,3,1 and 3,2). The effect of barite on concrete rheological behavior was investigated. Based on the results, the use of barite as a cement substituent causes a viscosity decrease however, when barite is used in addition leads to an increase in viscosity and yield stress of concrete.

MOTS-CLÉS : béton lourd, granulats denses, comportement rhéologique, viscosité, seuil de cisaillement.

KEYWORDS: heavy weight concrete, heavy aggregates, rheological behaviour, viscosity, yield stress.

1. Introduction

Les bétons lourds sont des bétons spéciaux de haute densité supérieur à 3000 Kg/m³. Habituellement, ils sont utilisés comme des écrans de protection contre les rayonnements ionisants au niveau des installations nucléaires ce qui permet de réaliser des ouvrages porteurs assurant une protection contre les rayons Gamma et d'autres rayons radioactifs [GEN 11]. Ils sont utilisés aussi comme des lests dans les ouvrages nécessitant un poids important.

La formulation et la fabrication de ces bétons répondent aux spécifications demandées notamment en termes de classe de résistance à la compression, de classe d'exposition, de classe de consistance (classe d'affaissement), de dimension maximale nominale des granulats (D_{max}), de classe de teneur en chlorures et de masse volumique (NF EN 206-1). Ces bétons sont fabriqués en utilisant des granulats à haute densités comme la magnétite, l'hématite, la barytine, la goethite, la limonite, etc. Ces granulats peuvent être utilisés sous forme d'agrégats ou sous forme de fines.

Cette étude a pour objectif, de fabriquer des bétons lourds de différentes densités en utilisant la barytine [BaSO₄] disponible sous forme de fines, et étudier par la suite le comportement rhéologique, mécanique, thermique des bétons barytés retenus.

2. Bétons de densités élevées

La densité d'un béton normal est de l'ordre de 2400 kg /m³, tandis que celle d'un béton léger est moins que la densité normale c'est-à-dire 1900 kg /m³ ou plus. Un béton est dit de haute densité, lorsque son poids unitaire est d'environ 3360 à 3840kg /m³, qui est environ 50% plus élevé que le poids unitaire de béton classique [JAD 13]. Ils peuvent cependant être produits avec une densité allant jusqu'à 5280 kg /m³ dans le cas d'utilisation du fer sous forme de poudre et agrégats.

3. Matériaux et programme expérimental

Un ciment Portland ordinaire de type CEM I 52,5 N conforme à EN197-1 a été utilisé dans tous les mélanges. La barytine BaSO₄ sous forme de fine habituellement commercialisée en tant qu'additif pour boues a été utilisée comme addition. Le choix d'utilisation de la barytine est justifié par sa forte densité, qui est d'environ 4,2g /cm³ et aussi sa disponibilité.

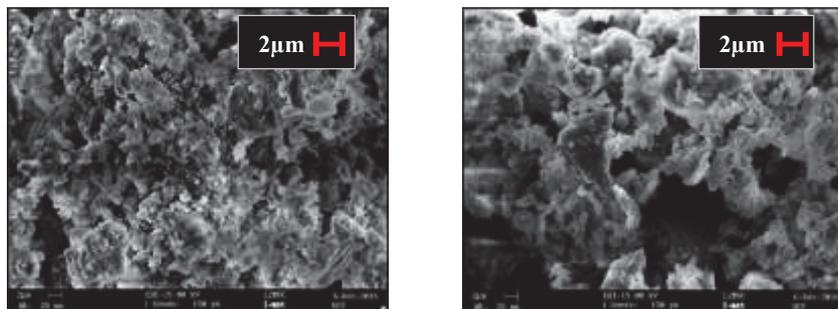
Le ciment et la barytine utilisés dans la fabrication des mélanges de béton ont fait l'objet d'une caractérisation chimique et minéralogique (compacité, densité et distribution granulométrique).

La barytine a été utilisée en deux manières différentes : - en substitution partielle du ciment dans les mélanges de mortiers standards ; - en addition dans les mélanges de mortiers équivalents bétons tout en maintenant la quantité de ciment constante (400 kg/m³).

Différents mélanges ont été préparés pour étudier le comportement rhéologique des bétons barytés fabriqués avec différents pourcentages de barytine pour atteindre des densités de 2,9, 3 et 3,1.

4. Résultats et discussion

4.1 Caractérisation microstructurale



(a). Barytine

(b). Ciment

Figure 1. Observations microscopiques de: (a) Barytine and (b) Ciment

L'aspect morphologique et la forme des particules de barytine et de ciment sont approximativement similaires, il présente une forme angulaire avec une texture de surface robuste. De plus les particules de barytine ont une taille approximativement similaire à celle des particules de ciment (analyse granulométrique), ce qui devrait renforcer la formation d'une matrice homogène après hydratation.

4.2 Caractérisation rhéologique

Avec l'évolution constante des techniques de construction (pompage, projection, impression 3D...) utilisant du béton et du mortier, la connaissance approfondie du comportement rhéologique de ces matériaux à base de ciment devient cruciale, car elle permet de décrire l'état frais du béton, y compris sa maniabilité, sa pompabilité et sa compacité. Les propriétés rhéologiques du mortier et du béton frais (viscosité, seuil de cisaillement) sont représentées par le modèle de fluide Binghamien sous l'équation suivante :

$$\tau = \tau_0 + \mu \dot{\gamma} \quad [1]$$

Notant que τ [Pa] est la contrainte de cisaillement exercée sur le matériau, τ_0 : seuil de cisaillement [Pa], μ : est la viscosité plastique [Pa. s] et $\dot{\gamma}$ [1/s] est le taux de cisaillement.

Les tests rhéologiques ont été réalisés sur deux séries de mesures visant à identifier le comportement rhéologique du mortier en fonction du mode d'utilisation de la barytine (en substitution ou en addition).

Les principaux paramètres rhéologiques sont calculés à travers des mesures expérimentales en convertissant le couple de rotation et les données de vitesse de rotation en relation de contrainte de cisaillement en fonction du taux de cisaillement.

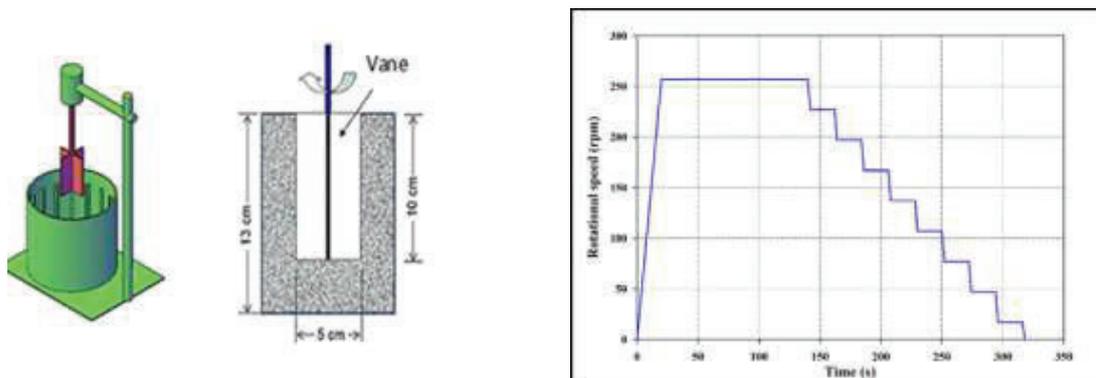


Figure 2. Conception et protocole utilisés dans les tests rhéologiques [SOU 14]

Dans la figure 2, nous représentons le protocole utilisé pour cette étude [SOU 14]. Cette partie était cruciale pour obtenir des paramètres intrinsèques et éviter les erreurs de mesure.

4.2.1 Barytine en substitution

Pour étudier l'effet de la barytine sur le comportement rhéologique des mortiers standards, des tests rhéologiques ont été réalisés sur cinq compositions différentes de mortiers. Les résultats des propriétés rhéologiques sont donnés par la figure 3.

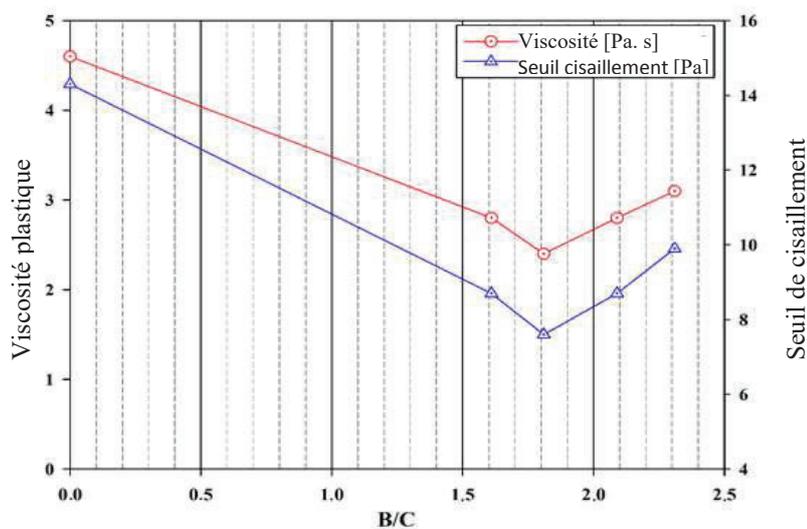


Figure 3. Variation des paramètres rhéologiques en fonction de % de substitution de la barytine.

La figure 3 montre la variation de la viscosité plastique et le seuil de cisaillement en fonction du rapport B/C et implicitement en fonction du pourcentage de substitution de la barytine. La viscosité et le seuil de cisaillement commencent à diminuer jusqu'à 46% de substitution de la barytine, puis augmentent légèrement pour 54 et 57% de substitution. Cette augmentation peut être due à l'augmentation de la viscosité, ce qui signifie que la viscosité a un impact sur le seuil [WAL 11]. Les résultats obtenus prouvent que l'utilisation de la barytine en substitution partielle du ciment entraîne une diminution de la viscosité. Cette perte de viscosité peut engendrer des problèmes lors de l'exécution des pieux car dans ce type d'application, un béton visqueux est indispensable pour éviter le lavage du béton mis en contact avec la boue de bentonite.

4.2.2 Barytine en addition

Afin d'examiner l'influence de l'augmentation des quantités de barytine sur le comportement rhéologique des mortiers équivalents béton (MEB), tout en maintenant constante la quantité de ciment égale à 400 kg/m^3 , des essais ont été réalisés en faisant varier chaque fois le pourcentage de barytine de 38% à 57% en MEB.

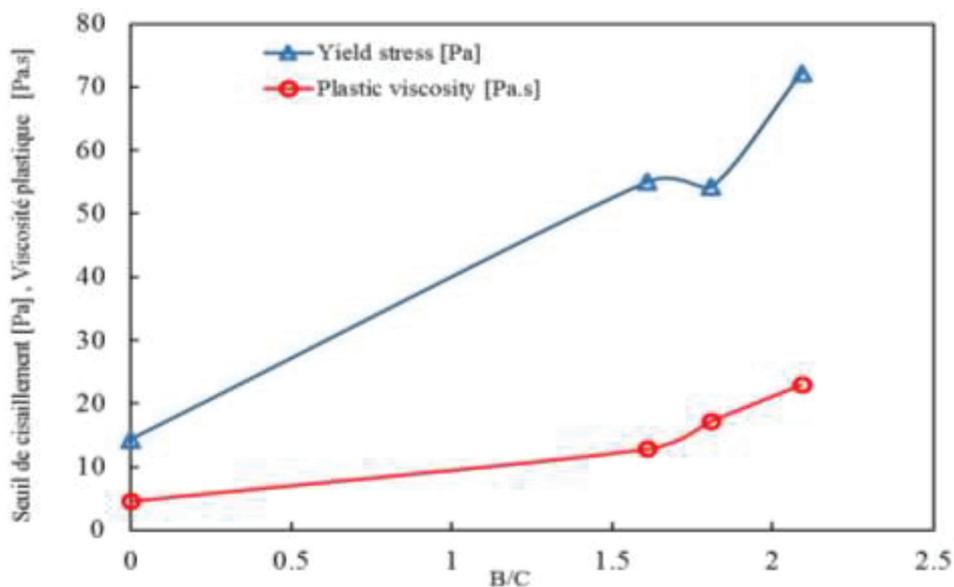


Figure 4. Variation des paramètres rhéologiques en fonction de % d'addition de barytine

Comme illustré dans la figure 4, les paramètres rhéologiques: viscosité et seuil de cisaillement augmentent avec l'augmentation du pourcentage de barytine ajouté en maintenant la quantité de ciment constante dans tous les mélanges de MEB, ce qui peut s'expliquer par l'augmentation de la compacité et du volume de pâte dans chaque mélange.

5. Conclusion

Sur la base des résultats de cette étude expérimentale, les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- L'utilisation de la baryte en tant que fines dans la composition du béton permet d'atteindre une densité significative (2.9, 3, 3.1).
- L'utilisation de la barytine en substitution du ciment entraîne une diminution de la viscosité et de seuil de cisaillement par rapport à un mortier référence.
- En augmentant la quantité de barytine utilisée comme addition dans le mortier équivalent béton, la viscosité plastique et le seuil de cisaillement sont augmentées par rapport à un MEB de référence, ce qui favorise une cohésion satisfaisante, qui sera nécessaire dans une application telle que le bétonnage des pieux sous bentonite.

6. Bibliographie

- [GEN 11] Gencil O., « Physical and mechanical properties of concrete containing hematite as aggregates », Science and Engineering of Composite Materials, vol.18, n°3, 2011, p. 191–199.
- [JAD 13] Jadhao S.P., Shaikh M.G., «Design and Development of High Strength Heavyweight Concrete Using SBR», International Journal of Scientific & Engineering Research, vol. 4, n°5, 2013, p. 233-236.
- [SOU 14] Soualhi H., Kadri E.H., Ngo T.T., Bouvet A., Cussigh, F., Kenai S., «A vane rheometer for fresh mortar: development and validation », Applied Rheology, vol. 24, 2014, p. 22594.
- [WAL 11] Wallevik O. H., Wallevik J.E., « Rheology as a tool in concrete science: The use of rheographs and workability boxes », Cement and Concrete Research, vol. 41, 2011, p. 1279-1288.