
ETUDE SUR LA POMPABILITE DES BETONS FORMULES A BASE D'ADDITIONS MINERALES

BELAIDI Amina¹, BOUKLI HACENE Sidi Mohammed El Amine², KADRI El-hadj³, TALEB Omar⁴.

¹ Laboratoire EOLE, Université de Tlemcen, 13000 Algérie, a_belaidi@hotmail.com.

² Laboratoire EOLE, Université de Tlemcen, 13000 Algérie, Boukli_ma@yahoo.fr.

³ Laboratoire L2MGC, Université de Cergy Pontoise, Paris, France, el-hadj.kadri@u-cergy.fr.

⁴ Laboratoire EOLE, Université de Tlemcen, 13000 Algérie, omataleb@yahoo.fr.

RÉSUMÉ. Les bétons pompables sont connus par leur aptitude à s'écouler à travers un tuyau à l'aide d'une pompe, et aussi leur capacité à s'écouler sous pression tout en gardant leurs propriétés initiales. Afin d'éviter le problème de blocage dans les tuyaux de pompage qui est dû principalement à la composition du béton, il est essentiel d'analyser le comportement du béton dans ces tuyaux.

L'objectif de ce travail est d'évaluer le comportement tribologique de plusieurs bétons adjuvantés avec une substitution du ciment par différentes additions comme les fillers calcaires, la pouzzolane naturelle et aussi le laitier de haut fourneau. Cela permettra de sélectionner l'addition qui améliorera la tribologie du béton.

Pour cela, un tribomètre rotatif a été utilisé pour déterminer les paramètres tribologiques (le seuil d'interface et la constante visqueuse). Le laitier s'avère efficace car nous avons enregistré une baisse de la constante visqueuse du béton ce qui indique une amélioration de son écoulement dans les tuyaux de pompage.

ABSTRACT. Pumpable concretes are known for their ability to flow through a pipe with a pump, and also their ability to flow under pressure while retaining their initial properties. In order to avoid the problem of blockage in pumping pipes which is mainly due to the composition of the concrete, it is essential to analyze the behavior of the concrete in these pipes.

The objective of this work is to evaluate the tribological behavior of several concretes containing the superplasticizer. These concretes are made with a substitution of cement by different additions such as limestone fillers, natural pozzolana and blast furnace slag. This will select the addition that will improve the tribology of the concrete.

For this purpose, a rotary tribometer was used to determine the tribological parameters (the interface yield stress and the viscous constant). The slag is effective because we have recorded a decrease in the viscous constant of the concrete which indicates an improvement in its flow in the pumping hoses.

MOTS-CLÉS : Tribologie, Tribomètre, Seuil d'interface, Constante visqueuse, Additions.

KEYWORDS: Tribology, Tribometer, The interface yield stress, Viscous constant, Additions.

1. Introduction

La technique de pompage du béton est utilisée il y a plus de 100 ans [KAPLAN 1]. Et elle est devenue l'une des techniques de mise en place du béton la plus utilisée car elle présente plusieurs avantages.

Malgré cela, le pompage du béton est complexe et il est primordial de connaître si un béton est pompable ou non pour ne pas avoir des risques de blocage.

Des chercheurs [KAPLAN 1, CHAPDELAIN 2, NGO 3, KWON 4, FEYS 5] ont montré qu'il est possible d'évaluer l'aptitude au pompage du béton à partir des mesures tribologiques du béton frais tout en étudiant les frottements le long des parois des conduites de pompage.

Ces mesures sont effectuées à l'aide d'un appareil appelé « le tribomètre », cet appareil permet de déterminer des paramètres tribologiques qui sont le seuil d'interface τ_0 et la constante visqueuse η .

L'ajout des additions jusqu'à un certains taux pour avoir une quantité suffisante de pâte peut améliorer la pompabilité des bétons car cela permet de former une couche limite à l'interface tuyau/béton ce qui réduit les frottements. Mais l'incorporation excessive de ces ajouts permet de remplir les vides et donc avoir un squelette granulaire trop compact, ce qui cause des problèmes de blocages [NEVILLE 6].

A cet effet, nous avons jugé utile de confectionner des bétons à partir des granulats calcaires locaux avec substitution d'une partie du ciment par les fillers calcaires (FC), la pouzzolane naturelle (PZ) et le Laitier de haut fourneau (LHF) et d'analyser leur influence sur les paramètres tribologiques.

2. Matériaux utilisés

Les caractéristiques des matériaux utilisés sont consignées sur le tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques des matériaux utilisés.

	Densité	Surface spécifique de Blaine (cm^2/g)
Sable (0/4) (S)	2.7	-
Graviers (4/8) (G1)	2.6	-
Graviers (8/16) (G2)	2.59	-
Graviers (16/20) (G3)	2.52	-
Ciment (C)	3.071	3598
Fillers calcaires (FC)	2.7	3200
Pouzzolane (PZ)	2.66	4060
Laitier de haut fourneau (LHF)	2.86	4000
Superplastifiant SUPERIOR RM 34 S 12(SP)	1,08	-

3. Composition des bétons analysés

Les bétons ont été formulés sur la base des squelettes granulaires optimisés [BOUKLI 7], en faisant varier les ajouts minéraux : un béton de référence, un béton à 10% de fillers calcaires, un béton à 10% de pouzzolane naturelle et un béton à 20% de Laitier de haut fourneau. Les bétons testés sont rassemblés dans le tableau 2.

Le dosage en superplastifiant est celui de saturation, il a été déterminé en utilisant l'essai du mini-cône sur des pâtes de ciment selon la norme NF EN 1961.

Tableau 2. Compositions des bétons pour les différents taux de substitutions.

	E/C	C (Kg/m^3)	FC (Kg/m^3)	PZ (Kg/m^3)	LHF (Kg/m^3)	Eau (Kg/m^3)	G1 (Kg/m^3)	G2 (Kg/m^3)	G3 (Kg/m^3)	S (Kg/m^3)	SP (Kg/m^3)
B0	0.5	350	0	0	0	175	144	432	533	660	4.2
B1		315	35	0	0						
B2		315	0	35	0						
B3		280	0	0	70						

4. Essais de caractérisation du mélange

Après avoir confectionné les bétons, nous avons effectué des essais de caractérisation à l'état frais et durci. A savoir, l'essai d'affaissement, l'essai tribologique et l'essai de résistance à la compression.

4.1. L'essai d'affaissement

Les affaissements des bétons ont été mesurés à l'aide du cône d'Abrams selon la norme NF P18-451.

4.2. L'essai tribologique

Dans cette étude nous avons déterminé le comportement tribologique des bétons ordinaires en utilisant le tribomètre développé par [NGO 3] (Figure. 1).



Figure 1. Les parties du tribomètre utilisé.

L'essai consiste à faire tourner le cylindre dans un échantillon de béton en imposant des vitesses de rotation selon le profil défini dans les travaux de [NGO 3].

Le résultat se présente sous la forme d'un diagramme couple-vitesse de rotation du cylindre selon l'équation [1].

$$T = T_0 + kV \quad [1]$$

Avec

T (N.m) le couple total appliqué sur le cylindre tournant; T_0 (N.m) le couple à l'origine; k (N.m.s/rad) un coefficient et V (tr/min) la vitesse de rotation de la pièce tournante.

Les paramètres tribologique sont déterminés à partir des équations [2] et [3] en prenant en compte la géométrie de l'appareil.

$$\tau_0 = \frac{T_0}{2\pi r^2 h} [2] \quad \text{et} \quad \eta = \frac{k}{(2\pi)^2 r h} [3]$$

Avec

τ_0 (Pa) le seuil de cisaillement à l'interface; η (Pa.s/m) la constante visqueuse; r (m) est le rayon moyen du cylindre ; T (N.m) le couple mesuré et h (m) la hauteur du cylindre.

4.3. L'essai de résistance à la compression

L'essai de résistance à la compression a été réalisé selon la norme NF P 18-406, sur des éprouvettes cylindriques 11x22 cm².

5. Résultats et discussions

Les résultats issus des essais au cône d'Abrams montrent que l'incorporation des additions minérales engendre une diminution de l'affaissement des bétons (Figure 2). Nous remarquons aussi que la pouzzolane a un effet plus important sur l'affaissement du béton par rapport aux deux autres additions et cela est probablement dû à sa surface spécifique élevée.

En revanche, l'utilisation de ces additions minérales a un effet bénéfique sur la constante visqueuse, nous remarquons dans la figure 3(b) une diminution de la constante visqueuse lors de la substitution d'une partie du ciment par les additions ce qui réduit les frottements à l'interface béton-paroi de la tuyauterie.

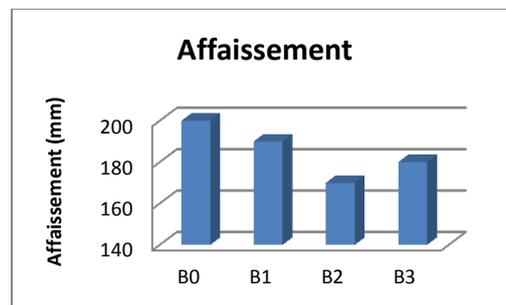


Figure 2. L'affaissement des bétons étudiés.

Pour cela, il serait donc aberrant d'estimer la pompabilité du béton à partir de l'affaissement car cette mesure reste insuffisante.

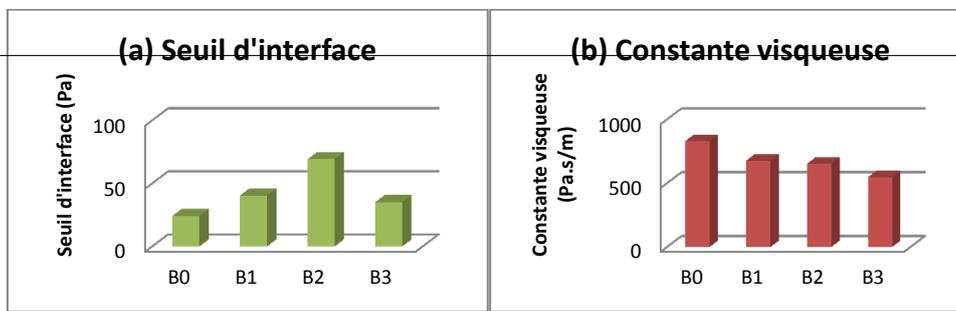


Figure 3. Variation des propriétés tribologiques des bétons étudiés (a) le seuil d'interface ; (b) la constante visqueuse.

Les résultats montrent aussi que la résistance à la compression a tendance à augmenter en substituant une quantité de ciment par les additions minérales (Figure 4).

Nous remarquons que pour une substitution de 10% de ciment par les fillers calcaires (B1), il y a une augmentation de la résistance à la compression à 28 jours par rapport au béton de référence (B0).

De plus, la substitution du ciment par de la pouzzolane naturelle (B2) ou le laitier de haut fourneau (B3) améliore la résistance à la compression à 28 jours.

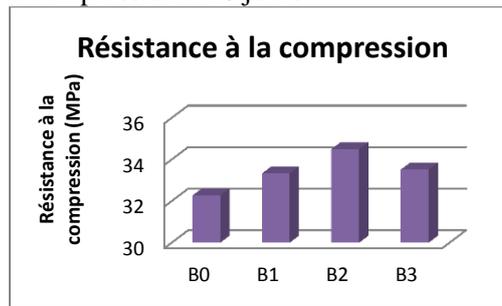


Figure 4. Résistance à la compression à 28 jours des bétons.

6. Conclusions

- Les additions minérales testées permettent non seulement d'améliorer le pompage du béton mais aussi augmenter la résistance à la compression.
- L'efficacité des essais tribologiques pour étudier les frictions à l'interface afin d'éviter tous les problèmes de blocage par un simple essai et en utilisant un tribomètre.
- L'utilisation des additions minérales conduit à une économie significative des coûts des matériaux et d'autres avantages écologiques tels que la réduction d'émission des gaz à effet de serre dégagés lors de la fabrication du ciment.

7. Références

- [BOUKLI 7] BOUKLI HACENE S.M.A., Contribution à l'étude de la résistance caractéristique des bétons de la région de Tlemcen. PhD thesis, Université de Tlemcen, Algérie, 2010.
- [CHAPDELAIN 2] CHAPDELAIN F., Étude fondamentale et pratique sur le pompage du béton, PhD thesis, Université Laval, Canada, 2007.
- [FEYS 5] FEYS D., KHAYAT K. H., PEREZ-SCHELL A., and KHATIB R. «Development of a tribometer to characterize lubrication layer properties of self-consolidating concrete». *Cement and Concrete Research*, vol. n° 54, p. 40–52, 2014.
- [KAPLAN 1] KAPLAN D., Pompage des bétons, PhD thesis, Ecole Central des Ponts et Chaussées, Paris, France, 2000.
- [KWON 4] KWON S. H., PARK C. K., JEONG J. H., JO S. D., and LEE S. H., «Prediction of Concrete Pumping-Part I: Development of New Tribometer for Analysis of Lubricating Layer». *ACI Materials Journal*, vol. 110, n° 6, p. 647-655, 2013.
- [NEVILLE 6] NEVILLE A.M., *Propriétés des bétons*, Eyrolles, 2000.
- [NGO 3] NGO T.T., Influence de la composition des bétons sur les paramètres de pompage et validation d'un modèle de prévision de la constante visqueuse, PhD thesis, Paris, France, 2009.