HAL
open science

Influence de l'eau de barrage sur la durabilité du béton

Ibrahim Messaoudene, Laurent Molez

To cite this version:

Ibrahim Messaoudene, Laurent Molez. Influence de l'eau de barrage sur la durabilité du béton. 37èmes Rencontres Universitaires de Génie Civil de l'AUGC - Vers des ouvrages intelligents, Jun 2019, Nice, France. hal-02351791

HAL Id: hal-02351791

https://hal.science/hal-02351791v1

Submitted on 6 Nov 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Influence de l'eau de barrage sur la durabilité du béton

Ibrahim Messaoudene[1, 2], Laurent Molez[3]

[1]*Département de Génie Civil, Faculté des Sciences et Technologie, Université de Bordj Bou Arréridj, 34000 – Algérie, ibramessa99@yahoo.fr*

[2]*Laboratoire de Développement Géo-matériaux, Université de M'sila, 28000-Algérie*

[3]*Laboratoire Génie Civil Génie Mécanique –EA 3913 – Institut National des Sciences Appliquées – UEB – CS 70839, 35708 Rennes Cedex, France*

RÉSUMÉ. *Cette étude expérimentale étudie la durabilité de béton de barrage qui est exposé à une eau traitée avec du sulfate d'aluminium utilisé comme agent floculant dans la purification de l'eau potable. Des éprouvettes de béton 10x10x10cm^3 confectionnées avec du ciment CPA-CEMI 42.5 et avec du ciment CPJ- CEMII/B 42.5 sont analysées. L'évolution de la masse a montré que la perte est beaucoup plus marquée avec le ciment CPJ qu'avec le ciment CPA. Néanmoins, la perte de masse n'est pas importante pour les deux types de béton (0,57% et 1,11%) et cela pour une forte concentration en sulfate d'aluminium de 2500mg/l.*

L'analyse mécanique montre une augmentation de résistance de l'ordre de 30% pour une faible concentration en sulfate d'aluminium (25mg/l) et pour une concentration cent fois supérieure (2500mg/l) pour le béton à base du ciment CPA. Pour le béton à base du ciment CPJ, on observe une augmentation de 10% des résistances pour une faible concentration en sulfate d'aluminium (25mg/l) et un maintien des résistances pour une concentration cent fois supérieure (2500mg/l).

ABSTRACT. *This experimental work studies the durability of dam concrete that is exposed to water treated with aluminium sulphate used as a flocculating agent in the purification of drinking water. Concrete specimens 10x10x10cm^3 made with CPA-CEMI cement 42.5 and with cement CPJ-CEMII / B 42.5 were analyzed. The evolution of the mass showed that the loss is much more marked with the CPJ cement than with the CPA cement. Nevertheless, the loss of mass is not important for both types of concrete (0.57% and 1.11%) and this for a high concentration of aluminium sulphate of 2500mg/l.*

Mechanical analysis shows an increase in resistance of 30% for a low concentration of aluminium sulphate (25mg/l) and for a high concentration (2500mg/l) for concrete with CPA cement. For concrete with CPJ cement, a 10% increase in resistances was observed for a low concentration of aluminium sulphate (25mg/l) and resistance was maintained at a higher concentration (2500mg/l).

MOTS-CLÉS : *Béton, durabilité, sulfate d'aluminium.*

KEY WORDS: *Concrete, durability, aluminium sulphate.*

1. Introduction

L'attaque du béton par les sulfates est un processus très complexe et plusieurs facteurs tels que, le type de ciment, le type de cation lié au sulfate, la concentration en sulfate, les ajouts minéraux utilisés et la période d'exposition peuvent affecter la résistance des bétons. Une grande variété de sulfates, provenant le plus souvent des sols, des eaux souterraines, de certaines nappes aquifères, des eaux d'infiltration ou des eaux de mer, peut entrer en contact avec le béton et réagir chimiquement avec les hydrates. Les sulfates représentent un risque majeur d'agression chimique pour le béton, ils sont la deuxième cause de la dégradation des ponts dans le monde après la corrosion des armatures (Divet, 2002).

La détérioration du béton due à l'attaque par les sulfates a suscité beaucoup plus d'attention comparée à tout autre attaque (Al-Amoudi, 2002 ; Jauberthie and Rendell, 2003 et M. Santhanam et al., 2006). L'effet du pH des mélanges cimentaires est considéré comme un facteur important dans l'étude de l'agressivité des sulfates (Cao et al., 1997). L'introduction du laitier de haut fourneau granulé broyé peut consommer une grande partie de portlandite fournie par le ciment Portland lors de son hydratation. Il réduit le pH du mélange et par conséquent améliore les résistances dans les milieux agressifs acides (Achoura et al., 2008 et Messaoudene et al., 2012).

Cette partie expérimentale étudie la durabilité de béton de barrage qui est exposé à une eau traitée avec du sulfate d'aluminium. L'étude consiste à étudier des bétons confectionnés avec deux ciments différents : le CPA-CEMI 42.5 à faible teneur en C_3A et le CPJ-CEMII/B 42.5. Les échantillons sont conservés pendant 02 mois dans deux environnements de sulfate d'aluminium ($Al_2(SO_4)_3.18H_2O$) à concentration 25mg/l et 2500mg/l.

2. Programme expérimental

Des éprouvettes de béton 10x10x10cm^3 confectionnées avec du ciment CPJ- CEMII/B 42.5 noté BO1 et avec du ciment CPA-CEMI 42.5 noté BO2 sont analysées. Les compositions chimique et minéralogique des deux ciments sont données dans le tableau 1. Les échantillons sont démoulés après 24h et conservées dans l'eau à 20°C pendant 28j, puis ils sont conservés en salle climatisée (25°C, 50%HR) jusqu'à obtention d'une masse constante. Ensuite, ils sont conservés pendant 02 mois dans des solutions de sulfate d'aluminium à deux concentrations 25mg/l (taux couramment utilisé dans l'eau de barrage en Algérie) et une concentration cent fois supérieure 2500mg/l afin d'accélérer l'attaque du béton. L'effet de la concentration en sulfate d'aluminium, sur l'évolution de résistance à la compression et sur la profondeur de carbonatation a été étudié. L'évolution des phases cristallines des pâtes de ciment durci a été suivie par diffraction aux rayons X.

Tableau 1. *Composition chimique et minéralogique des ciments.*

Elements	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	SO_3	K_2O	**C_3S**	**C_2S**	**C_3A**	**C_4AF**
CEM II/B 42.5	18.21	4.56	2.96	59.61	3.32	0.61	54.28	20.23	4.76	15.03
CEM I 42.5	21.79	4.29	5	64.37	2.11	0.24	63.26	14.43	2.49	15.9

3. Evolution de la masse des éprouvettes

La figure 1 présente l'évolution des masses des éprouvettes de béton. La masse du béton attaqué (conservé dans une solution de sulfate d'aluminium pendant 2 mois) est normalisée par rapport à la masse du béton témoin non attaqué (28 jours de cure dans l'eau). On remarque bien que la perte de masse n'est pas importante pour les deux types de béton (0,57 et 1,11%) et cela pour une forte concentration en sulfate d'aluminium de 2500mg/l. La perte de masse dans le bain du sulfate d'aluminium est du essentiellement à la dégradation de la surface de l'éprouvette: présence de minuscules pores visibles a l'œil nu sur la surface des échantillons. Cela laisse penser à la formation d'un sel de calcium soluble qu'on peut confirmer plus tard par analyses par diffraction aux rayons X.

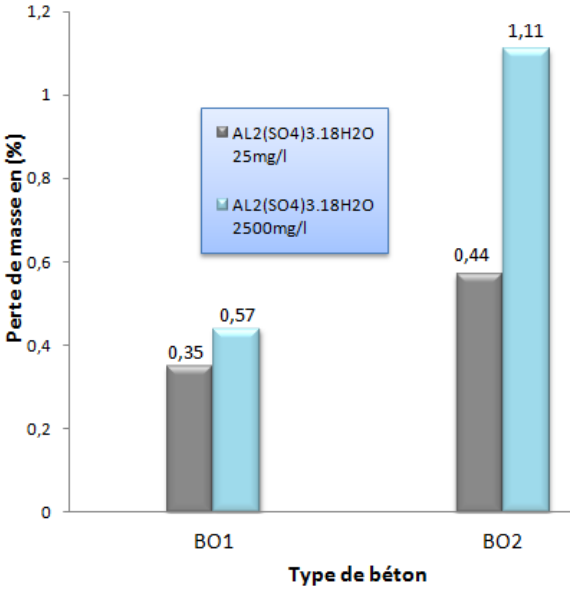

Figure 1. *Évolution de la masse des éprouvettes de béton immergées dans les solutions $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ [25 mg/l] et [2500 mg/l].*

4. Alcalinité de la matrice cimentaire

Le test de colorimétrie par pulvérisation avec une solution de phénolphtaléine (1g dans 100ml d'éthanol) sur des échantillons frais obtenus par cisaillement des éprouvettes de béton (la phénolphtaléine prend une teinte rose-violet quand le pH est supérieur à 9 et reste incolore dans le cas contraire) met en évidence une faible profondeur de carbonatation pour les deux ciments à différentes concentrations en solution d'aluminium (figure 2). Toutefois, la profondeur d'alcalinité réduite est légèrement supérieure quant il s'agit du ciment CPJ, cela ne peut être expliqué que par sa teneur en C_3A légèrement supérieure à celle du ciment CPA (4.76% et 2.49% respectivement). Cela implique la formation d'éléments secondaires qui diminuent le pH du béton.

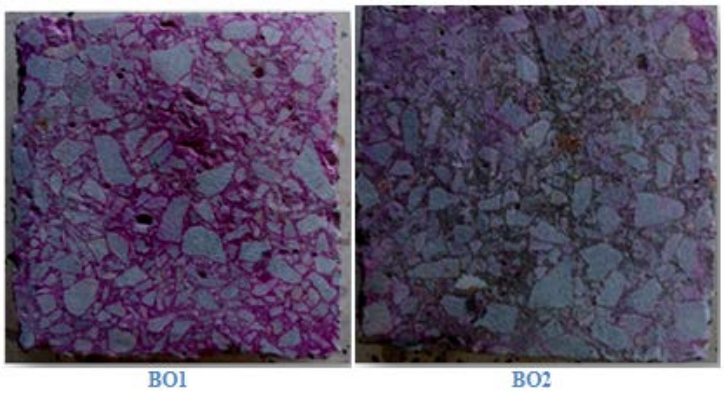

Figure 2. *Mesure de pH par la phénolphtaléine : béton dans la solution $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ à 2500mg/l.*

5. Essais mécaniques

La figure 3 présente les résultats des résistances résiduelles à la compression (normalisées par rapport à la valeur de la résistance du béton témoin non attaqué par le sulfate d'aluminium) en fonction du type de béton et de la concentration en sulfate. On observe, une augmentation de résistance de l'ordre de 30% pour une faible concentration en sulfate d'aluminium (25mg/l) et pour une concentration cent fois supérieure (2500mg/l) pour le béton à base du ciment CPA. Pour le béton à base du CPJ, on observe une augmentation de 10% des résistances pour une faible concentration en sulfate d'aluminium (25mg/l) et un maintien des résistances pour une concentration cent fois supérieure (2500mg/l). Ces résultats peuvent être expliqués par :

- Le ciment CPJ gagne encore en maturité par suite d'ajouts minéraux actifs (16%): le laitier a un pouvoir hydraulique latent et la pouzzolane riche en silice, ces deux minéraux consomment la portlandite libérée par l'hydratation du clinker pour former d'autres CSH, élément responsable de la résistance;

- le ciment CPA, à faible teneur en C_3A (2.49%), est un ciment résistant aux sulfates (CRS), il ralentit l'hydratation et les réactions avec le gypse sont donc diminuées.

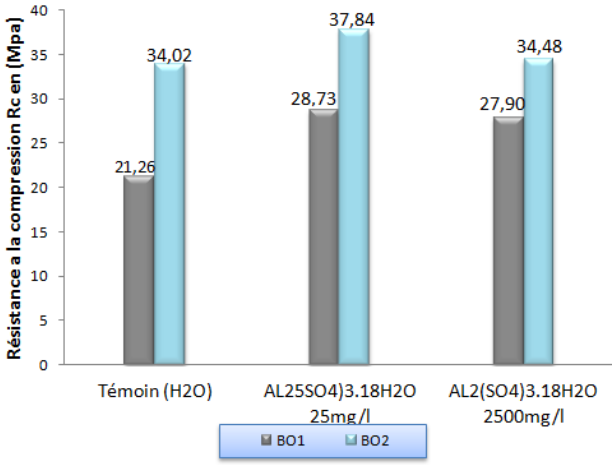

Figure 3. *Variation de la résistance en compression.*

6. Analyse par Diffraction aux rayons X

La diffraction aux rayons X permet de déterminer la structure des minéraux, s'ils sont amorphes ou cristallisés et la nature des phases cristallines. Les analyses ont été effectuées sur poudre de pâte de ciment après un broyage fin (<50µm) des pates de ciment durci conservées trois mois dans l'eau et dans la solution de sulfate d'aluminium à forte concentration (2500mg/l). Le ciment utilisé est à base du ciment CPJ. Les résultats sont bien illustrés sur les figures 4 et 5. La figure 4 présente le diffractogramme de l'échantillon témoin. On observe des pics de cristaux des produits d'hydratation du ciment : C-S-H, portlandite. La présence de la calcite ($CaCO_3$) et de la dolomite ($Mg.CaCO_3$) montrent que le ciment utilisé contient un ajout de fillers de calcaire.

Dans le diffractogramme de poudre de pâte de ciment conservé dans le sulfate d'aluminium à forte concentration (figure 5), l'intensité des pics caractérisant la portlandite a fortement diminuée alors que la phase du gypse a augmenté avec la présence de l'ettringite.

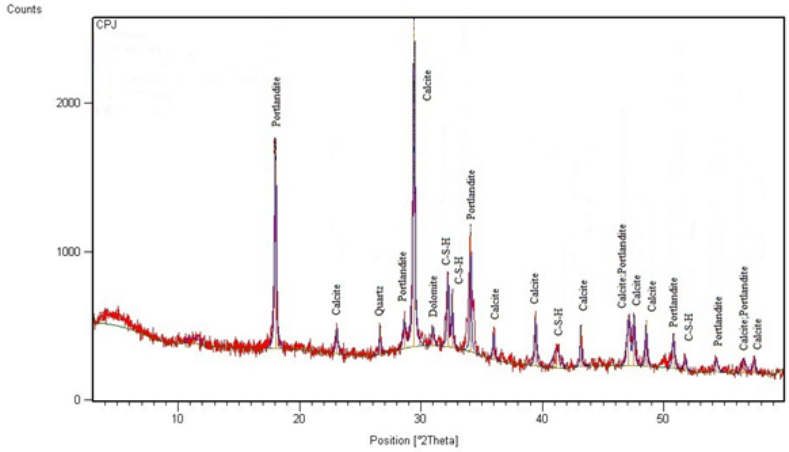

Figure 4. *Diagramme de diffraction X de poudre de pâte de ciment témoin à base de ciment CPJ.*

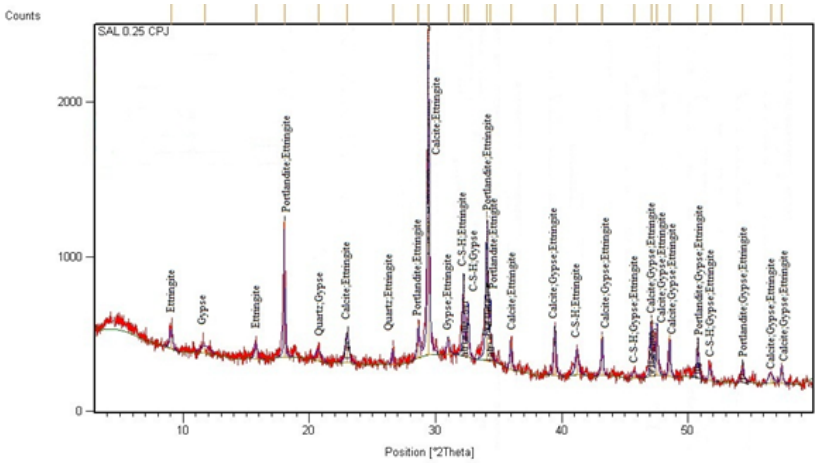

Figure 5. *Diagramme de diffraction X de poudre de pâte de ciment à base de ciment CPJ immergé dans* $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$.

7. Conclusions

De nombreux travaux ont permis d'analyser le comportement des bétons exposés à l'attaque des sulfates. Toutefois aucune étude n'a été faite sur l'effet du sulfate d'aluminium ($Al_2(SO_4)_3.18H_2O$). Cette étude en constitue une première.

Le but principale de cette étude expérimentale est d'étudier la durabilité du béton de barrage qui est exposé à une eau traitée avec du sulfate d'aluminium utilisé comme agent floculant dans la purification de l'eau potable. On a testé deux ciments différents fabriqués en Algérie, le ciment CPA-CEMI 42.5 et le ciment CPJ- CEMII/B 42.5.

Les résultats des différents essais effectués permettent de tirer les conclusions suivantes :

- Les fortes concentrations en sulfate d'aluminium n'affectent en rien les résistances mécaniques, au contraire les résistances enregistrent une nette amélioration ;

- Les deux ciments testés confirment la bonne durabilité des ciments avec ajouts minéraux actifs tels que le laitier et la pouzzolane et les ciments à faible teneur en C_3A.

8. Bibliographie

[ACH 08] ACHOURA D., REDJEL B., JAUBERTHIE R., LANOS C., «Influence des conditions de maturation sur les comportements physico-chimique et mécanique des mortiers à base de laitier granulé en substitution partielle au ciment», *Matériaux & Techniques*, 96, 2008, p. 189-99.

[ALA 02] AL-AMOUDI O.S.B., «Attack on plain and blended cements exposed to aggressive sulfate environments», *Cement and Concrete Composites*, 24, 2002, P. 305-316.

[CAO 97] CAO H.T., BUCEA L., RAY A., YOZGHATLIAN S., «The effect of cement composition and pH of environment on sulfate resistance of Portland cements and blended cements», *Cement & Concrete Composites*, 19 (2), 1997, P. 161-71.

[DIV 02] DIVET L., *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*. RÉF. 4447, 240, 2002, P. 87-94.

[JAU 03] JAUBERTHIE R., RENDELL F., «Physicochemical study of the alteration surface of concrete exposed to ammonium salts», *Cement and Concrete Research*, 33, 2003, P.85-91.

[MES 12] MESSAOUDENE I., JAUBERTHIE R., MOLEZ L., RANGEARD D., NACERI A., «Effet des fillers de laitier et marbre sur la durabilité des ciments portland dans des environnements de sulfates», *30ÈMES RENCONTRES DE L'AUGC-IBPSA, CHAMBÉRY-SAVOIE*, FRANCE, 6-8 JUIN 2012.

[SAN 06] SANTHANAM M., COHEN M., OLEK J., «Differentiating seawater and groundwater sulfate attack in Portland cement mortars», *Cement and Concrete Research*, 36 (12), 2006, P. 2132-2137.