

# ÉLABORATION DE BÉTONS AUTOPLAÇANTS À BASE DE SÉDIMENTS DE DRAGAGE DU BARRAGE DE FERGOUG

N. BELAS, O. BELARIBI, B. BOULAKOUD,  
M. BENKHIRA, N. BOUHAMOU, A. MEBROUKI.

Laboratoire Construction, Transport et Protection de l'Environnement, Université  
Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, [belaribi2001@yahoo.fr](mailto:belaribi2001@yahoo.fr)

*RÉSUMÉ : Ce travail expérimental a porté sur l'utilisation de la vase du barrage de Fergoug (Mascara), après avoir subi un traitement thermique pour devenir réactive avec le ciment, il s'agit donc de la valoriser en tant que matériau substituable en partie au ciment entrant dans la composition des bétons autoplaçants. Le but est de mettre en évidence l'influence de la vase calcinée du barrage Fergoug comparée à celle de la pouzzolane naturelle de Béni-Saf sur les comportements des bétons autoplaçants (BAP) à l'état frais et à l'état durci. L'étude est menée sur trois BAP : le premier à base de 20 % de pouzzolane naturelle de Béni-Saf, le deuxième à base de 20 % de la vase calcinée de Fergoug et un BAP témoin de référence pour les besoins de comparaison. Les résultats trouvés montrent la possibilité d'obtenir des BAP à base de vase calcinée répondant aux normes de l'AFGC [1], ayant un comportement mécanique satisfaisant d'où la possibilité de valoriser les vases en tant que matériaux de construction à part entière.*

Mots - clés : vase, barrage de Fergoug, béton autoplaçant (BAP), état frais, état durci.

## 1-Introduction

La spécificité autoplaçante conduit à l'utilisation des quantités de fines (ciment+additions) dans le béton soit en moyenne  $500 \text{ kg/m}^3$ . Tout d'abord, pour s'adapter à la croissance du marché, le secteur cimentier oriente ses développements technologiques vers des solutions permettant soit d'améliorer le rendement de la fabrication des matériaux de construction soit de réduire leur coût de production. Le secteur des matériaux de construction (grand consommateur d'énergie) cherche à optimiser ses dépenses énergétiques ; ainsi il se dirige de plus en plus vers l'utilisation d'ajouts minéraux dont le coût de production est inférieur à celui du ciment, et qui par conséquent, pourront partiellement le remplacer.

Une autre raison est induite par l'évolution de la politique algérienne vers la protection de l'environnement. L'érosion provoque des problèmes environnementaux et parmi ces conséquences immédiates, la sédimentation à savoir la réduction de la capacité des barrages [2]. Donc, pour éliminer ces quantités de vase, le dragage reste le moyen efficace de dévasement des barrages algériens.

Dans ce sens, l'introduction de la vase draguée des barrages qui doit être calcinée pour devenir réactive avec le ciment, semble devenir un avantage. Les réactions chimiques qui se développent lors de la fabrication du ciment, libèrent du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ )

contribuant ainsi à l'augmentation de l'effet de serre alors que les transformations minéralogiques de la vase calcinée génèrent uniquement de la vapeur d'eau. De plus, la vase calcinée n'entre pas en compétition avec le ciment. Elle le complète et l'améliore plus qu'elle ne le remplace. En effet, l'incorporation de la vase en substitution d'une partie du ciment est intéressante car elle permet d'améliorer plusieurs propriétés (rhéologiques, mécaniques, durabilité, aspect...) des bétons. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail dont le but est de contribuer à la valorisation des sédiments dragués du barrage de Fergoug transformés, par un procédé thermique (calcination), en tant que pouzzolanes de synthèse utilisables dans les BAP.

## 2-Matériaux et méthodes

### 2.1- Matériaux

#### 2.1.1-Le ciment

Le ciment de type CPA CEM I 42.5 ES (Eaux Séléniteuses) provenant de l'usine de Zahana (Ouest Algérien) a été utilisé pour la composition des BAP. Il est de surface spécifique Blaine égale à  $3180 \text{ cm}^2/\text{g}$  et sa composition chimique et minéralogique sont rapportées dans les tableaux 1 et 2.

**Tableau 1** : Composition chimique du ciment Portland

Elément	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	CaO	MgO	$\text{SO}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	PF	RI
Teneur en %	22.30	5.10	3.99	63.60	1.43	1.24	0.70	0.34	1.18	0.36

Tableau 2 : Composition minéralogique (%) du ciment Portland

C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	CaO libre
53.13	23.55	6.76	12.13	< 01

2.1.2-La vase

Toute la quantité de la vase utilisée est prélevée dans la zone de rejet en aval du barrage de Fergoug. Sa surface spécifique Blaine est égale à 6740 cm<sup>2</sup>/g.

Nous avons préparé une pouzzolane artificielle en calcinant la vase selon les étapes suivantes :

- Après séchage en étuve à 105°C, les vases ont été broyées et tamisées par voie sèche. Les tamisats qui passent à travers 80µm et qui représentent plus de 95% du prélèvement sont récupérés pour la cuisson.

- Les opérations de calcination ont nécessité certaines précautions : pour éviter les chocs thermiques, la vitesse de cuisson a été réglée à 5°C par minute, la température de calcination 750 °C a été maintenue constante pendant 5 heures [3].

- Le produit ainsi obtenu (vase calcinée) a été conservé à l’abri de l’air et de l’humidité.

La figure 1 représente l’aspect de la vase avant et après calcination.



Figure 1 : Aspect de la vase avant et après calcination.

2.1.3- La pouzzolane

La pouzzolane utilisée est une pouzzolane naturelle provenant du gisement de Bouhamidi (Béni-Saf à l’ouest algérien), de surface spécifique Blaine égale à 4453 cm<sup>2</sup>/g.

Elle est fournie sous forme de roches concassées de type pierre ponce et scorie de diamètres variant de 5 à 10 mm. Pour pouvoir la substituer au ciment CPA de Zahana, nous avons d’abord procédé à son étuvage à 105 °C afin d’éliminer toute éventuelle humidité et faciliter son broyage. Nous l’avons ensuite complètement broyée puis passée au tamisage. L’ensemble du tamisat du tamis 0.08 mm est récupéré et utilisé en substitution au ciment à différentes proportions.

Les caractéristiques chimiques des deux ajouts sont regroupées dans le tableau 3

Tableau 3 : Composition chimique des ajouts

Elément	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	PF
vase calcinée de Fergoug (%)	51,69	15,49	7,53	18,06	3,08	0,23	2,99	0,41	1,87
pouzzolane naturelle	42,96	16,32	8,41	9,72	4,57	0,11	1,59	0,47	4,85

2.1.4- Les granulats

Les granulats utilisés dans notre étude sont d’origine calcaire et proviennent de la carrière de Kristel située dans la région d’Oran (sable 0/4 et graviers 3/8 et 8/15), sauf le sable de mer (siliceux) qui provient de la carrière de Sidi-Lakhdar (Mostaganem).

L’analyse granulométrique des granulats utilisés est représentée par la figure 2 .

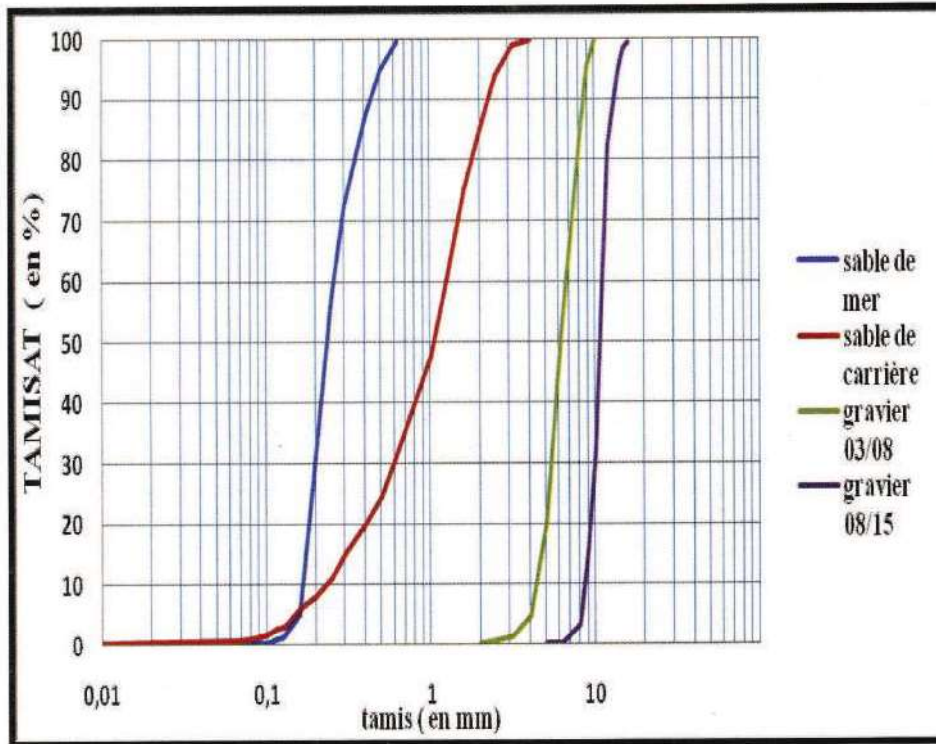


Figure 2 : Courbes granulométriques des granulats utilisés.

Les résultats de la caractérisation physique des granulats utilisés sont représentés dans le tableau 4

Tableau 4 : Tableau récapitulatif des caractéristiques physiques des granulats utilisés

Caractéristiques	S.de mer (SM)	S. de carrière (SC)	Graviers (3/8) (8/15)	
Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )	1.51	1.52	1.43	1.45
Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	2.59	2.66	2.63	2.64
Equivalent de sable (%)	Visuel	89.03	/ /	
	Piston	85.21	89.26	
Module de finesse	1.66	2.63	/ /	
Pourcentage de fines (%)	0.67	0.90	0.41	0.33
Absorption (%)	1.12	0.81	0.58	0.61

### 2.1.5-Adjuvant

Un seul adjuvant a été utilisé : c'est un superplastifiant/haut réducteur d'eau et limitant la ségrégation, il est polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique de densité 1,06 et 30,2% d'extrait sec.

### 2.1.6-Formulations étudiées

Le tableau 5 donne les compositions des trois formulations des bétons autoplaçants étudiés.

Tableau 5 : Compositions (en kg) des trois BAP pour 1 m<sup>3</sup> de béton frais

Compositions (Kg)	BAP T	BAP VF	BAP PZ
Ciment	448.16	407.96	410.23
Vase (Fergoug)	/	81.59	/
Pouzzolane N	/	/	82.05
Eau	224.08	203.98	205.12
Superplastifiant	8.20	10.61	9.64
Sable de mer	560	560	560
Sable de concassage	251	251	251
Gravier 3/8	333	333	333
Gravier 8/15	499	499	499

Avec :

BAP T : béton autoplaçant témoin sans additions

BAP VF : béton autoplaçant avec vase de Fergoug

BAP PZ : béton autoplaçant avec pouzzolane naturelle

Les différentes caractéristiques des trois BAP sont illustrées dans le tableau 6.

Tableau 6 : Caractéristique des trois BAP utilisés

Caractéristiques	BAP T	BAP VF	BAP PZ
E/C	0.5	0.5	0.5
Ajout/Ciment (%)	-	20	20
Sp/C (%)	1.83	2.60	2.35
Volume de pâte (l/m <sup>3</sup> )	375	375	375
G/S	1.02	1.02	1.02
Volume de squelette granulaire (l/m <sup>3</sup> )	625	625	625

## 2.2-Méthodes

### 2.2.1-Essais de caractérisation à l'état frais

Avant de définir une composition comme étant celle d'un BAP, il faut s'assurer que les propriétés du béton à l'état frais obéissent à certains critères établis par les recommandations de l'AFGC (Association Française de Génie Civil) [1].

Des essais spécifiques utilisés dans cette étude permettent de caractériser les BAP à l'état frais:

- ✓ Essai d'étalement (slump flow) ;
- ✓ Essai de L-Box ;
- ✓ Essai de J-Ring ;
- ✓ Essai de stabilité au tamis ;
- ✓ Essai de ressuage.

### 2.2.2-Essais de caractérisation à l'état durci (résistance à la compression)

Pour mesurer les résistances à la compression des BAP selon la norme NF P 18-406, des éprouvettes cubiques (7x7x7) cm<sup>3</sup> ont été confectionnées dans des conditions thermohygrométriques (T = 20±2 °C, HR=65%). Les essais ont été réalisés à 3, 7, 14 et 28 jours.

## 3-Résultats et analyses

### 3.1-Caractérisations des BAP frais

Les résultats des essais de caractérisation des trois BAP confectionnés, à l'état frais, sont représentés dans le tableau 7.

Tableau 7 : Les résultats des essais de caractérisation à l'état frais

Essai	Béton	BAP T	BAP VF	BAP PZ
Etalement	Ø (cm)	70	68	68
	t <sub>50</sub> (s)	3.56	3.83	3.69
Boite en L	h <sub>2</sub> /h <sub>1</sub> (%)	89	83	86
	t <sub>20</sub>	2.39	2.58	2.41
	t <sub>40</sub>	3.76	3.98	3.80
Essai de J-Ring	Ø (cm)	62	58	59
	2h <sub>r</sub> (cm)	0.73	0.69	0.69
	h <sub>m</sub> (cm)	0.54	0.51	0.50
Stabilité au Tamis	2h <sub>r</sub> -h <sub>m</sub> (cm)	0.92	0.87	0.88
	%	6.91	5.11	5.87
Essai de ressuage	%	1.21	1	1.09

➤ **Étalement**

Le tableau 7 montre que les trois BAP testés vérifient la condition d'étalement imposée par la recommandation de l'AFGC ( $60\text{ cm} \leq \emptyset \leq 75\text{ cm}$ ) [1] (Figure 3).

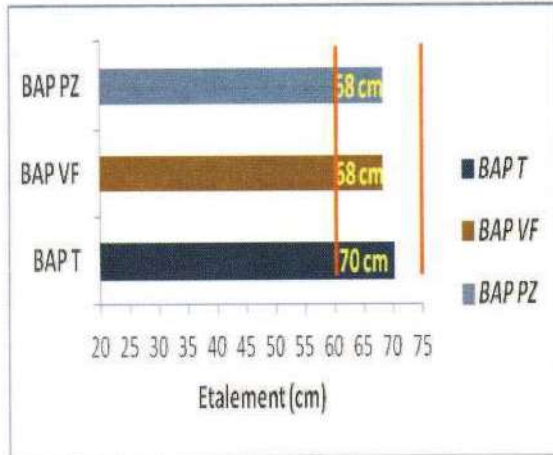


Figure 3 : Valeurs d'étalements des trois BAP.

Les valeurs d'étalements obtenus (70 cm pour le BAP T et 68 cm pour le BAP VF et BAP PZ) classent ces bétons comme des bétons autoplaçants dans un milieu non confiné.

Les valeurs de  $t_{50}$  obtenues sont conformes aux spécificités les plus courantes d'un BAP à l'état frais ( $3s \leq t_{50} \leq 5s$ ) [1] (Figure 4).

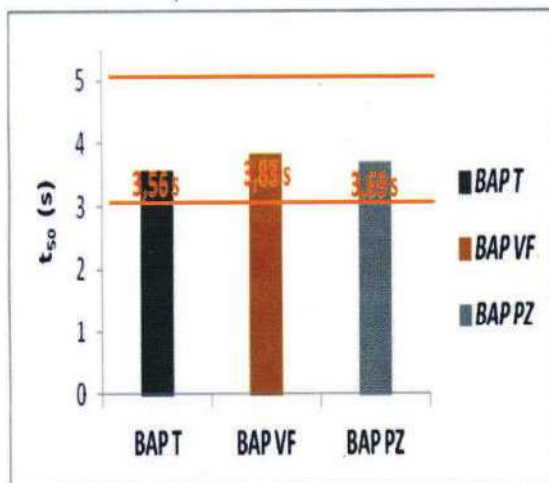


Figure 4 : Valeurs de  $t_{50}$  des trois BAP.

Pour les trois compositions de BAP, l'auréole de laitance à la périphérie des galettes de béton était absente. De plus, les gros granulats ont toujours été entraînés correctement par la matrice cimentaire et ne sont pas restés amoncelés au milieu des galettes de béton.

➤ **Boite en L**

La ségrégation dynamique des trois BAP est caractérisée par l'essai de la boîte en L, on peut y voir aussi que les trois formulations présentent des taux de remplissage supérieur à 80 % (Figure 5). Par conséquent ces bétons ont une bonne mobilité dans un milieu confiné et cela malgré les armatures qui font obstacle.

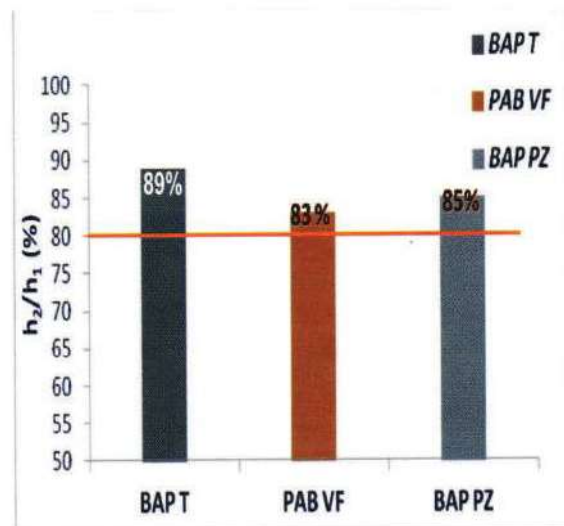


Figure 5 : Les taux de remplissage des trois BAP.

➤ **J-Ring**

L'essai de J-Ring permet d'apporter des informations sur la déformabilité restreinte, et l'homogénéité du mélange.

Le principe de l'essai est de placer le cône d'Abrams au centre du plateau métallique entouré du J-Ring, puis de remplir une quantité

Tel que :

$$hm = \frac{\sum (h1 - hai)}{4}$$

$$hr = \frac{\sum (hai - hri)}{4}$$

représentative de béton ; ensuite soulever le cône puis mesurer l'étalement obtenu ainsi que les hauteurs de bétons situés au centre du plateau ( $h1$ ), à l'intérieur avant les barres ( $hai$ )

et à l'extérieur ( $h_{ri}$ ) après les barres du J-Ring. Ensuite on détermine  $h_m$  et  $h_r$  pour vérifier la relation  $2h_r - h_m < 15 \text{ mm}$ .

Les trois BAP ne présentent aucun blocage à travers les armatures et satisfont la condition de l'essai (Figure 6).

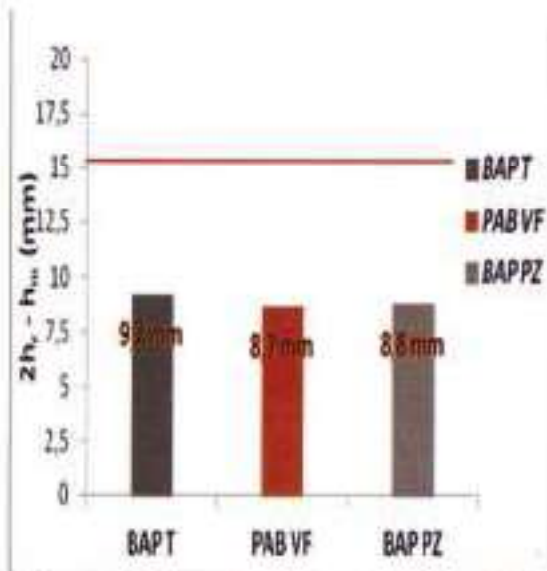


Figure 6 : Résultats obtenus d'après l'essai de J-Ring.

➤ *Stabilité au tamis*

Sur la ségrégation statique, les résultats issus des essais de stabilité au tamis montrent que les trois compositions testées ont une stabilité satisfaisante ( $0 \leq \Pi \leq 15 \%$ ) (Figure 7)

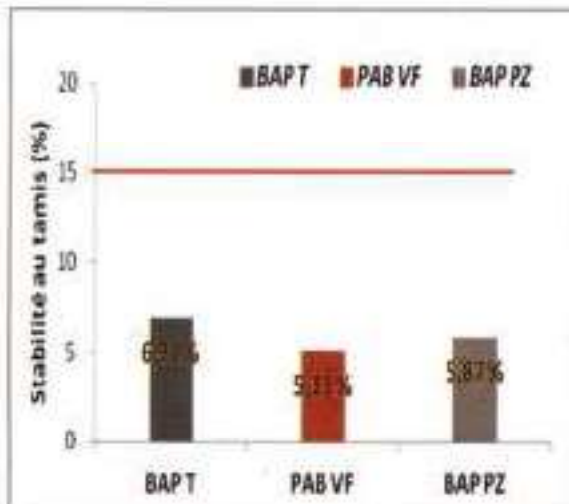


Figure 7 : Taux de ségrégation des trois BAP.

➤ *Resuage*

Tous nos bétons respectent la condition de l'essai du resuage recommandé dont la valeur doit être inférieure ou égale à 3% en volume (Figure 8).

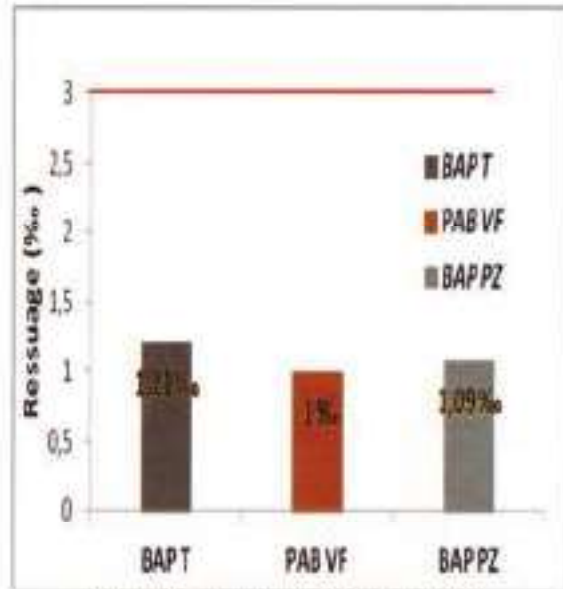


Figure 8 : Resuage des trois BAP

3.2-Résistances à la compression

La résistance à la compression est une caractéristique essentielle des bétons et l'un des paramètres fondamentaux de notre étude.

Cette résistance mécanique a été mesurée à différentes échelons. Elle représente la moyenne des résistances d'une série de trois éprouvettes cubiques de dimension  $(7 \times 7 \times 7) \text{ cm}^3$  soumises à l'écrasement.

Les résultats sont présentés dans les figures 9 et 10.

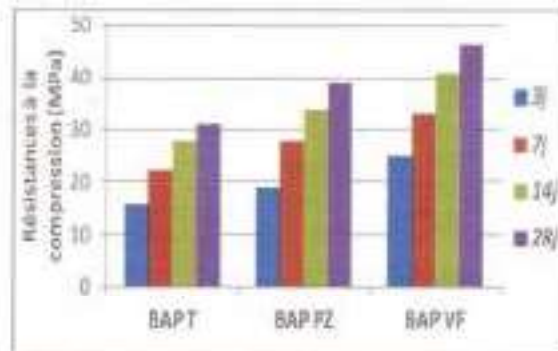


Figure 9 : Comparaison des résistances mécaniques à la compression des différents BAP.

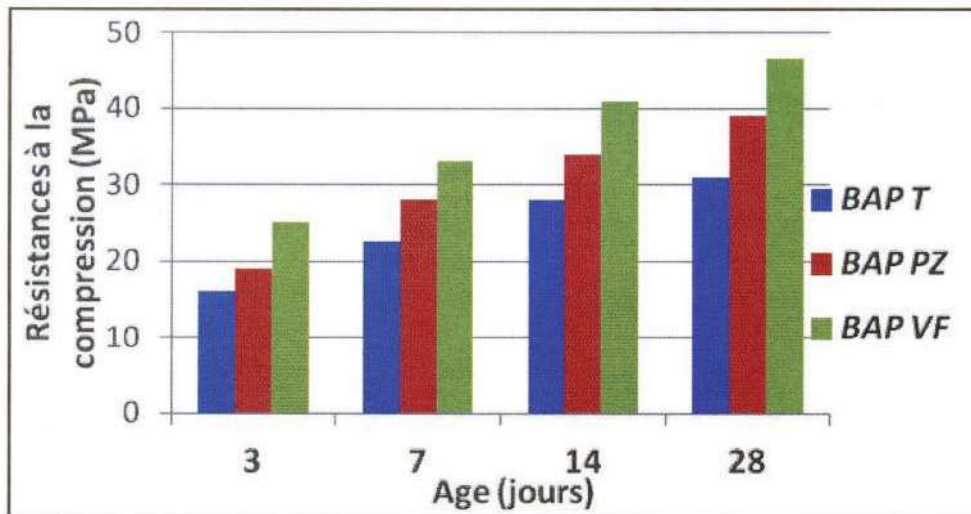


Figure 10 : Evolution des résistances mécaniques des BAP en fonction du temps.

D'après les résultats obtenus, on remarque que les résistances à la compression de tous les BAP testés augmentent régulièrement avec l'âge et ne présentent aucune chute. En comparant les classes de résistance, le BAP à base de la vase calcinée de Fergoug (BAP VF) présente des résistances mécaniques à la compression plus élevées (46.5 MPa à 28 jours) par rapport aux BAP à base de la pouzzolane naturelle de Béni-Saf (BAP PZ) et le BAP témoin (BAP T).

En effet les BAP à base d'ajouts (BAP VF et BAP PZ) présentent une supériorité dans le développement des performances mécaniques par rapport au témoin respectivement de l'ordre de 36%, 16% à 3 jours et 33%, 21% à 28 jours.

L'incorporation de la vase calcinée dans la formulation du BAP VF génère une accélération de sa résistance mécanique à toutes les échéances. Les particules de la vase calcinée lorsqu'elles sont bien défloculées par le superplastifiant, favorisent l'hydratation du ciment et de la vase, principalement par un effet physique et conduisent à une matrice cimentaire dont la structure est plus dense d'autant plus que la vase présente une finesse plus élevée [4]. Ces effets ont une influence visible sur la résistance mécanique.

#### 4-Conclusion

Les essais de caractérisation des BAP à l'état frais ont montré qu'ils répondent aux spécifications de l'AFGC. Les ajouts utilisés peuvent avoir des effets bénéfiques aussi bien sur les BAP frais par l'amélioration de la fluidité et l'élimination des risques de ségrégation en relation avec le dosage de superplastifiant, que sur les BAP durcis par l'amélioration des comportements mécaniques.

La substitution du ciment par une quantité d'ajouts (BAP VF et BAP PZ) engendre une augmentation importante de la résistance à la compression jusqu'à 28 jours de durcissement. Néanmoins en comparant les deux ajouts, la vase calcinée issue du barrage de Fergoug à une incidence directe et plus prononcée sur la résistance mécanique à la compression. Le dosage en superplastifiant utilisé pour ce BAP peut également avoir son impact positif, vu qu'il est nettement plus important.

Ces résultats prouvent clairement l'intérêt de valoriser les sédiments de dragage en l'occurrence ceux issus du barrage de Fergoug. Vu les résultats de cette étude, de nouveaux paramètres pourront faire suite à ce travail en envisageant de faire substituer plusieurs



dosages de ciment par la vase calcinée et d'étudier le pourcentage optimal et/ou maximal de substitution avec un suivi du comportement au-delà de 28 jours.

### 5-Références bibliographiques

[1] Association Française de Génie Civil, *Documents scientifiques et techniques, recommandation pour l'emploi des bétons autoplaçants*, IREX, Janvier 2008.

[2] ANBT *agence nationale des barrages et transferts*, 2011.

[3] Semcha A., *Valorisation des sédiments de dragage : Applications dans le BTP, cas du barrage de Fergoug*, Thèse de Doctorat, Université de Reims Champagne-Ardenne, 2006.

[4] Belguesmia K., *Comportement vis-à-vis des attaques sulfatiques et de la carbonatation d'un béton autoplaçant à base de sédiment de dragage*, Thèse de Magister, Université de Mostaganem, 2011.