

# Durabilité d'un BAP à base des agrégats recyclés et de pouzzolane naturelle dans des milieux agressifs

Mohammed Omrane<sup>1,2</sup>, Said kenai<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratory Geo-materials (LDMM), Civil Engineering Department, University of Djelfa, Algeria.  
[m.omrane@gmail.com](mailto:m.omrane@gmail.com) N° Tel: 0772308959

<sup>2</sup> Geomaterials Laboratory, Civil Engineering Department, University of Blida, Blida, Algeria.

Prix Jeunes Chercheurs « René Houpert »

---

*RESUME.* Les bétons auto plaçant sont découverts depuis les années 1980 au Japon. Ces bétons se caractérisent par, une grande fluidité, une homogénéité et une mise en place correcte par gravitation et sans vibration. Ces bétons se développent rapidement et semblent être amenés à remplacer, à terme, les bétons vibrés classiques dans de nombreuses applications. La performance de ces bétons à l'état frais et durci est bien étudiée mais leur durabilité en milieux agressifs reste à élucider. Afin d'améliorer la durabilité de ces BAP, on évalue l'influence de l'ajout des matériaux locaux tel que la pouzzolane naturelle de Béni-Saf et l'influence de l'utilisation des agrégats recyclés sur les caractéristiques du BAP vis-à-vis des milieux agressifs (acides). Les résultats obtenus montrent que : La perte en poids des bétons auto plaçant à base des agrégats recyclés (BAPR) immergés dans la solution d'acide de concentration 5% est inférieure à ceux des bétons auto plaçant à base des agrégats naturels (BAPN), cas de l'acide sulfurique  $H_2SO_4$ , ceci indique que l'utilisation de 50% des agrégats recyclés avec 50% des agrégats naturels pour former un (BAPR) offre une bonne protection contre l'attaque des (BAPR) par l'acide sulfurique  $H_2SO_4$ .

*MOTS-CLÉS:* Durabilité, BAP, Acide sulfurique  $H_2SO_4$ , Pouzzolane naturelle, Agrégats recyclés.

*ABSTRACT.* Self-compacting concretes have been discovered since the 1980s in Japan. These concretes are characterized by a high fluidity, homogeneity and correct positioning by gravity and without vibration. These concretes develop rapidly and seem to be replacing, in the long term, the conventional vibrated concrete in many applications. The performance of these concretes in the fresh and hardened state is well studied but their durability in aggressive environments remains to be elucidated. In order to improve the durability of these BAPs, the influence of the addition of local materials such as natural pozzolana and the influence of the use of the recycled aggregates on the characteristics of the BAP with respect to the media Aggressive (acids). The results obtained show that: The loss in weight of the self-compacting concretes based on the recycled aggregates (BAPR) immersed in the acid solution of concentration 5% is lower than those of the self-compacting concretes based on natural aggregates (BAPN), In the case of sulfuric acid  $H_2SO_4$ , this indicates that the use of 50% of the recycled aggregates with 50% of the natural aggregates to form a (BAPR) provides good protection against the attack of (BAPR) by sulfuric acid  $H_2SO_4$ .

*KEYWORDS:* Durability, SCC, Sulfuric acid  $H_2SO_4$ , Natural pozzolana, Recycled aggregates.

## 1. Introduction

La réutilisation des déchets de construction comme granulats à une grande importance de la protection de l'environnement car d'un côté, elle permet de récupérer les matériaux résultants de la démolition du vieux bâtis ou due aux catastrophes naturelles.

D'autre côté, elle permet de protéger la nature de l'exploitation excessive de la réserve des granulats naturels.

D'autre part les études effectuées sur l'incorporation de la pouzzolane naturelle de Béni-Saf ont montré d'une part l'intérêt de l'utilisation de ce matériau, disponible en grande quantité à l'Ouest Algérien, pour l'amélioration des performances mécaniques des bétons[1-7] et d'autres part, du point de vue écologique, à chaque tonne de ciment produite, une cimenterie moderne émet en moyenne 0,9 t de CO<sub>2</sub>. Donc pour satisfaire les besoins en béton et les nouvelles exigences environnementales, tout en mettant en œuvre une politique de développement durable, l'utilisation d'ajouts minéraux s'avère une solution intéressante qui n'a pas été encore pleinement exploitée.

En plus, les problèmes du béton ordinaire nécessitent des moyens de vibrations, d'où des moyens et coûts supplémentaires pour le maître d'ouvrage.

Les bétons auto plaçant sont découverts depuis les années 1980 au Japon, ces bétons se caractérisent par, une grande fluidité, une homogénéité et sa mise en place correcte par gravitation et sans vibration [8].

Le béton auto-plaçant est une solution pour faciliter l'écoulement du béton à travers les armatures dans les sections fortement ferraillées.

Ce béton (BAP) ayant une composition particulière traduite par la présence d'une certaine quantité des ajouts et d'adjuvants. On cherche à obtenir une performance et optimisation de formulation d'un nouveau béton auto plaçant BAP(R) qui prend en compte:

- la valorisation des déchets de démolition du vieux bâtis ou due aux catastrophes naturelles
- protection de l'environnement et qui lutte contre l'exploitation excessive de la réserve des granulats naturels.
- l'exploitation des matériaux locaux tels que la pouzzolane naturelle de Béni-Saf.

Ces dernières années, la détérioration rapide de diverses structures en béton renforcé a été un problème largement identifié dans le monde. Les milieux acides sont très agressifs pour les structures en béton et favorisent leur dégradation. Ces derrieres ainsi atteintes nécessitent une restauration importante.

Afin d'améliorer la durabilité de ces BAP on évalue l'influence de l'ajout de la pouzzolane naturelle de Béni-Saf et l'influence de l'utilisation des agrégats recyclés sur les caractéristiques du BAP vis-à-vis des milieux agressifs (acides).

On cherche à obtenir des résultats qui permettent de mettre en évidence l'effet bénéfique de l'ajout de la pouzzolane naturelle de Béni-Saf, et l'effet bénéfique de l'utilisation des agrégats recyclés dans les BAP contre l'attaque des acides.

## 2. Formulation des BAP

La formulation que nous avons adoptée est basée sur la formulation proposée par le japonais OKAMURA et appelée la méthode générale, avec quelques modifications concernant la sélection de la quantité de sable, le rapport eau/liant ainsi que le rapport super plastifiant/liant. Ces derniers ont été évalués expérimentalement de manière à avoir des valeurs acceptables satisfait à toutes les exigences de la BAP concernant les essais de l'étalement au cône d'Abrams, d'entonnoir en V et de J-Ring.

On a préparé deux types de béton auto plaçant, béton auto plaçant à base des agrégats naturelle et sable naturel (BAP N) , et un béton auto plaçant à base des 50% (agrégats recyclés et sable recyclé) et 50% (des agrégats naturelle et sable naturel) (BAP R). Pour (BAP N) on a substitué le ciment par 5 %, 10% et 15% de pouzzolane naturelle, et pour (BAP R) la substitution et de 5%, 10%, 15% et 20% . Voir (Tab.1) et (Tab.2).

**Tableau 1.** Composition du BAP N dans 1m<sup>3</sup>

Composants	BAP N 0	BAP N 5	BAP N 10	BAP N 15
<b>Ciment (Kg)</b>	468	447	425	404
<b>Eau (L)</b>	197	196	195	194
<b>Pouzzolane (Kg)</b>	0	19	39	59
<b>Sable (Kg)</b>	907	907	907	907
<b>Gravier 3/8 (Kg)</b>	265	265	265	265
<b>Gravier 8/15(Kg)</b>	530	530	530	530
<b>Sp (Kg)</b>	5.14	5.13	5.11	5.09
<b>Rapport E/C</b>	0.42	0.42	0.42	0.42

**Tableau 2.** Composition du BAP R dans 1m<sup>3</sup>

Composants	BAP R 0	BAP R 5	BAP R 10	BAP R 15	BAP R 20
<b>Ciment (Kg)</b>	458	438	416	396	374
<b>Eau (L)</b>	192	192	191	190	190
<b>Pouzzolane (Kg)</b>	0	19	38	58	77
<b>Sable * (Kg)</b>	841	841	841	841	841
<b>Gravier* 3/8 (Kg)</b>	265	265	265	265	265
<b>Gravier* 8/15(Kg)</b>	530	530	530	530	530
<b>Sp (Kg)</b>	3.67	3.65	3.64	3.63	3.61
<b>Rapport E/C</b>	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42

\* : (50% sable/gravier recyclé avec 50% sable/gravier naturel)

## 2.1. Préparation des BAP

La méthode du malaxage adopté est celle de DOMONE et JIN [9], et Les procédés de mélange sont les suivants:

- Malaxer le gravier (3/8 et 8/15), le sable, le ciment et l'ajout (pouzzolane) pendant 30 secondes pour homogénéiser le mélange ;
- Ajouter pendant 1 minute la première quantité d'eau (Eau1 = 70% Eau) ;
- Ajouter pendant 1 minute le superplastifiant dilué dans le restant de l'eau de gâchage (Eau2 = 30% Eau) ;
- Malaxer pendant 5 minutes ;
- Arrêter le malaxeur et laisser le mélange au repos pendant 2 minutes ;
- Remalaxer le mélange pendant 30 secondes.

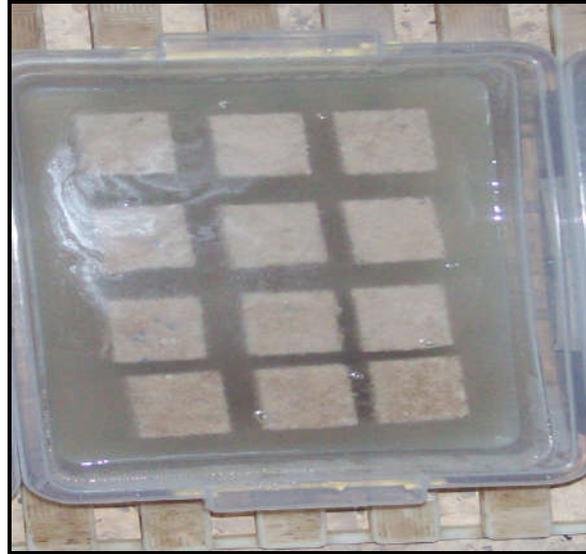
## 2.2. Méthodes d'Essais

Après 28 jours de cure sous l'eau les éprouvettes 7x7x7 sont pesées pour déterminer M1 (**fig.1**).



**Figure 1.** Préparation des éprouvettes pour la pesée.

Puis elles sont immergées dans les solutions d'acide 5% d'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) (**fig.2**).



**Figure 2.** BAP N/R immergés dans les solutions acides 5%  $H_2SO_4$

La résistance due aux agressions chimiques des échantillons immergés dans ces solutions est évaluée selon la norme ASTM C 267-96 [10], les éprouvettes sont nettoyées 3 fois avec de l'eau douce pour éliminer le béton altéré et puis on les laisse sécher pendant une  $\frac{1}{2}$  heure. Ensuite on procède à la pesée de ces dernières d'où la masse M2. Cette opération est effectuée après 1, 7, 14, 21,28 et 90 jours après l'immersion. La solution d'attaque est renouvelée chaque 7 jour ou chaque mois (selon la valeur du pH).

Enfin la résistance chimique est évaluée par la mesure de la perte de masse de l'éprouvette suivant la formule [1]:

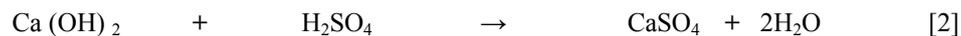
$$\text{Perte de masse (\%)} = [(M1-M2) / M1] \times 100 \quad [1]$$

Avec M1, M2 les masses des éprouvettes avant et après immersion, respectivement.

### 2.3. Equations chimiques

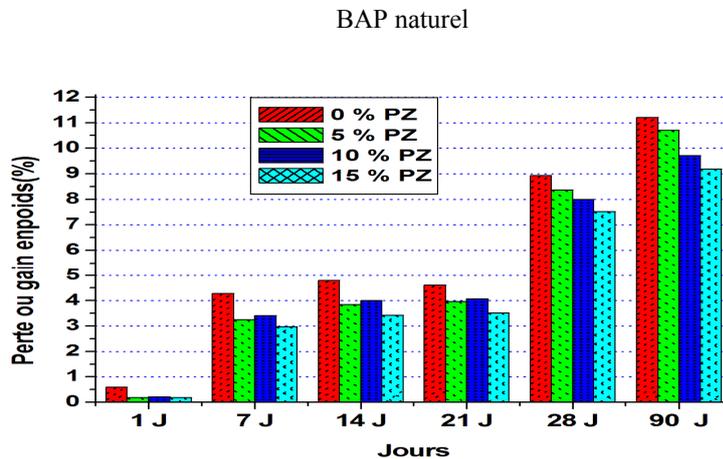
L'acide sulfurique  $H_2SO_4$  est un acide inorganique, il est plus nuisible pour les bétons que les acides organiques.

Les acides inorganiques forment avec le  $Ca(OH)_2$  (hydroxyde de calcium) contenu dans la pâte de ciment durcie des composés facilement solubles dans l'eau. Concernant les acides inorganiques utilisés dans notre étude, on a :



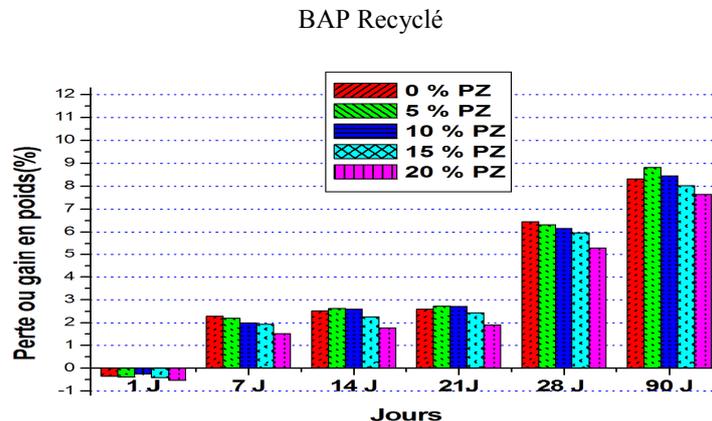
Hydroxyde de calcium + acide sulfurique  $\rightarrow$  Sulfate de calcium + eau

### 3. Résultats et commentaires sur les essais de la durabilité



**Figure 3.** Variation de la masse du BAP N en fonction de la période d'immersion dans 5% de  $H_2SO_4$

D'après la (fig.3) nous remarquons que la perte de masse du BAP N est faible au premier jour et au delà de 7 jusqu'à 21 jours on a pratiquement une augmentation à la perte de masse qui reste stable, même tendance remarqué après 28 et 90 jours d'émersion. Ceci s'explique par la moyenne solubilité de l'acide sulfurique dans l'eau qui réagit lentement avec l'hydroxyde de calcium  $Ca(OH)_2$ . Nous constatons que le BAP N témoin a subi la plus grande perte de masse par rapport aux autres composants qui contiennent des % de pouzzolane naturelle. Ce dernier qui possède la possibilité de réagir avec la chaux libérée, lors de l'hydratation du ciment pour former les CHS de deuxième génération. Mais la pouzzolanité de la pouzzolane naturelle n'est pas forte c.-à-d. elle fonctionne à long terme. Nous remarquons aussi que la perte de masse diminue avec l'augmentation des % de pouzzolane naturelle.



**Figure 4.** Variation de la masse du BAP R en fonction de la période d'immersion dans 5% de  $H_2SO_4$ .

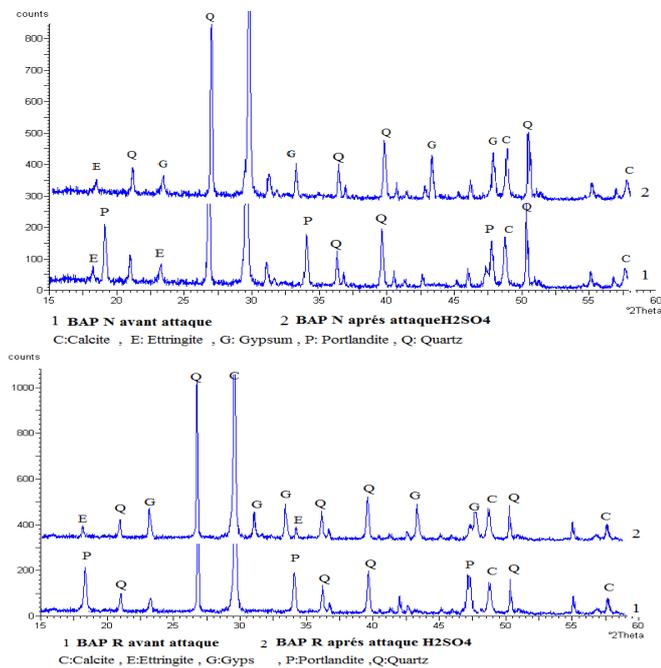
D'après la (fig.4) nous observons pour le BAP R les mêmes remarques et la même tendance avec le BAP N mais avec une diminution notable de la valeur de la perte de masse par rapport aux BAP N.

Nous constatons que le BAP R 20%pz a subi la moins perte de la masse par rapport aux autres composants. Si on fait une petite comparaison entre les résultats obtenus on peut dire que l'utilisation des agrégats recyclés a favorisé la réaction chimique de la pouzzolane naturelle à jeune âge. Ceci s'explique par la couche de pâte de ciment qui couvre les agrégats recyclés.

### 3.1. Analyse minéralogique

L'analyse minéralogique par diffraction des rayons X a été conduite avant l'attaque de l'acide et après 90 jours d'immersion dans une solution de  $H_2SO_4$ . La superposition de deux spectres avant et après attaque montre l'effet de l'attaque acide de  $H_2SO_4$  sur les surfaces externes de BAP N. et de BAP R (**fig.5**). On peut remarquer la présence d'une grande quantité de gypse (G) pour tous les bétons soumis à l'attaque de l'acide  $H_2SO_4$ , ce qui explique la grande dégradation de la surface en contact avec ce type d'acide. L'intensité des pics de gypse ne montre pas de différence significative entre les niveaux de dégradation de chaque béton.

Les spectres avant attaques sont caractérisés par la présence de Portlandite qui semble disparaître après l'attaque de l'acide  $H_2SO_4$ . En effet, au contact de l'acide sulfurique, l'hydroxyde de calcium (Portlandite) réagit pour former du sulfate de calcium (équation [2]).



**Figure 5.** Les spectres XRD de BAP N et de BAP R avant et après attaque  $H_2SO_4$

### 3.2. Examen visuel

Avant de nettoyer les échantillons prélevés dans la solution d'acide sulfurique, on peut observer une couche blanchâtre facilement lavable à l'eau. Les photos montrées dans la (fig.6) ont été prises après lavage de la couche blanche et montrent clairement la dégradation de surface des spécimens après une attaque par l'acide sulfurique.



**Figure 6.** Dégradation de l'échantillon selon l'examen visuel de BAP N et de BAP R après 90 jours d'immersion dans la solution 5% d'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ )

### 4. Conclusion

- La perte en poids des BAP R immergés dans la solution d'acide de concentration 5% est inférieure à ceux des BAP N. Ceci montre l'utilisation bénéfique des agrégats recyclés à un % de 50%.
- La perte en poids des BAP N avec des % de pouzzolane immergés dans la solution d'acide de concentration 5% est inférieure à ceux de BAP N témoin.
- La perte en poids des BAP R avec des % de pouzzolane immergés dans la solution d'acide de concentration 5% est inférieure à ceux de BAP R témoin.

Ceci indique que l'utilisation des pouzzolanes naturelles et les agrégats recyclés à un effet bénéfique contre l'attaque des BAP par l'acide sulfurique.

En perspectives, il est intéressant de continuer l'étude de la durabilité des BAP par d'autres attaques chimiques telles que la carbonatation, l'attaque alcaline, la corrosion et l'attaque par d'autres acides.

## 5. Bibliographie

- [1]. [Kou 95] Kouloumbi N, Batis G, Pantasopoulou P. Efficiency of natural Greek pozzolan in chloride-induced corrosion of steel reinforcement. *Cem Concr Aggr*;17(1) ( 1995):18–25 p.
- [2]. [Rod 98] Rodriguez-Camacho RE. Using natural pozzolans to improve the sulfate resistance of cement mortars In: Malhotra VM, editors. *International conference, Bangkok, Thailand ACI SP-178*; ( 1998). 1021–39 p.
- [3]. [Tag 2003 ] Tagnit-Hamou A, Pertove N, Luke K. Properties of concrete containing diatomaceous earth. *ACI MaterJ*;100(1) .( 2003):73–8 p.
- [4]. [Ghr 2007] Ghrici M, Kenai S, Said-Mansour M.. Mechanical properties and durability of mortar and concrete containing natural pozzolana and limestone blended cements. *Cem Concr Comp.*( 2007);29:542–9p.
- [5]. [Ghr 2006] Ghrici M, Kenai S, Meziane E. Mechanical and durability properties of cement mortar with Algerian natural pozzolana. *Mater Sci.* (2006); 41:6965–72p.
- [6]. [G. Hab 2008] G. Habert, N. Choupay, JM Montel, D. Guillaume, G. Escadeillas. "Effects of the secondary minerals of the natural pozzolana on their pozzolanic activity" *Cement and Concrete Research.*( 2008), 38 963-975p.
- [7]. [A.S.E 2012] A.S.E. Belaidi, L. Azzouz, E. Kadri, S. Kenai. Effect of natural pozzolana and marble powder on the properties of self-compacting concrete *Construction and Building Materials.*( 2012) , 251–257 p.
- [8]. [Oka 2003] Okamura H., Ouchi M. "Self-compacting concrete", *journal of advanced concrete Technology*, April (2003), Vol. 1, No. 1, 5-15 p.
- [9]. [Dom 99] Domone P.L.J. and Jin J., « Properties of mortar for self compacting concrete », *Proceedings of International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (PRO 07)*, 1999, pp. 109-120.
- [10]. [ASTM C 267-96] ASTM C 267-96.( June 1996). Standard Test Methods for Chemical Resistance of Mortars, Grouts, and Monolithic Surfacing and Polymer Concretes, Annual Book of ASTM Standards, *American Society for Testing and Structures.*