

---

## Comportement d'un béton autoplaçant vis-à-vis des attaques acides

O. Belaribi<sup>1\*</sup>, N. Belas Belaribi<sup>1</sup>, A.Mebrouki<sup>1</sup>, N. Bouhamou<sup>1</sup>, D. Sifodil<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Construction, Transport et Protection de l'Environnement, Université Abd El Hamid Ibn Badis de Mostaganem, Algérie.

<sup>2</sup>Université des Sciences et Technologies d'Oran, Algérie

\*E mail : belaribi.omar@yahoo.fr

---

*RESUME. Les bétons autoplaçants (BAP) sont des bétons très fluides dont la mise en place sans vibration présente plusieurs avantages tant au niveau environnemental, technologique qu'économique qui intéressent de plus en plus les industriels. Cependant, si leurs propriétés à l'état frais et à l'état durci ont été largement étudiées, il n'en est pas de même de leurs comportements vis-à-vis de la durabilité, ces caractéristiques sont essentielles pour le dimensionnement et la conception d'ouvrages. L'objectif de ce travail est de contribuer à apporter des réponses claires à une question majeure, les BAP à base de matériaux locaux algériens sont-ils résistants vis-à-vis de l'intrusion des substances chimiques agressives classiques? Pour cela, nous avons étudié le comportement du BAP à l'état frais (essais recommandés par l'AFGC, et à l'état durci. La durabilité vis-à-vis de l'intrusion des substances chimiques agressives a montré que l'attaque des acides inorganiques est plus agressive pour le BAP que les acides organiques.*

*ABSTRACT. The building industry is turning increasingly to the use of self-compacting concrete (SCC) in order to improve many aspects of building construction: SCC offers several advantages in technical, economic, and environmental terms. However, if their properties to fresh and cured state have been extensively studied, it is not the same for their behavior to durability, these characteristics are essential for the design and structural design. The objective of this work is to contribute provide clear answers to a major issue, the SCC-based Algerian local materials are resistant to the intrusion of aggressive chemicals classics? For this, we studied the behavior of fresh SCC (tests recommended by the AFGC and cured state. Durability to the aggressive intrusion of chemicals showed that the inorganic acid attack is more aggressive for the SCC as organic acids.*

*MOTS CLES : bétons autoplaçants BAP, état frais, état durci, matériaux locaux, durabilité, substances chimiques, acides inorganiques, acides organiques.*

*KEYWORDS: Self-compacting concretes (SCC), fresh state, cured state, local materials durability, Chemical substance, inorganic acids, organic acids.*

---

## 1. Introduction

Malgré les aspects intéressants qu'ils proposent, en particulier à l'état frais, et leur utilisation en constante augmentation, les BAP ne disposent pas encore du recul nécessaire et suffisant pour être acceptés par tous les maîtres d'ouvrage et maîtres d'oeuvre ce qui limite encore leur diffusion. Ce retour d'expérience, dont bénéficient les bétons vibrés (BV) employés jusqu'ici, est essentiel pour le comportement (mécanique et autre) à long terme des BAP. De plus, la nécessité actuelle de trouver de nouvelles solutions techniques respectant le développement durable amène à étudier le caractère vieillissant du matériau béton, et plus particulièrement du béton autoplaçant.

Cette recherche s'inscrit dans cette logique et a été menée pour étudier la résistance d'un BAP vis-à-vis de l'attaque des acides. Pour ce faire, le comportement d'un béton autoplaçant à base de matériaux locaux a été caractérisé à l'état frais (essai d'étalement, essai de la boîte en L, essai de stabilité au tamis, essai de ressuage et essai de la colonne) et à l'état durci en particulier son comportement vis-à-vis des attaques acides.

## 2. Matériaux utilisés

### 2.1. Le ciment

Un ciment CPJ CEMII / A 32,5 a été utilisé. Ces caractéristiques physiques sont groupées dans le tableau 1.

Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )	1.09
Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	2.99
Surface spécifique Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	3139

**Tableau 1.** *Caractéristiques physiques du ciment*

La composition minéralogique du clinker selon Bogue est donnée par le tableau 2.

Constituants	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
<b>Teneurs (%)</b>	<b>37.17</b>	<b>28.03</b>	<b>10.85</b>	<b>12.95</b>

**Tableau 2.** *Composition minéralogique du clinker selon Bogue*

## 2.2. Les fines

Les bétons autoplaçants sont caractérisés par un volume de pâte plus important (composée entre autres par des fines de nature calcaire) que celui des bétons vibrés.

Les caractéristiques physiques et chimiques des fines de nature calcaire sont présentées respectivement dans le tableau 3.

Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )	0.87
Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	2.66
Surface spécifique Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	4100

**Tableau 3.** *Caractéristiques physiques des fines calcaires*

## 2.3. Le superplastifiant

Le superplastifiant utilisé est un "Viscocrete 20" HE non chloré à base de copolymère acrylique (NF EN 934-2 [1]). Il améliore la stabilité, limite les risques de ségrégation et rend la formule moins sensible aux variations d'eau et des constituants. Aussi il permet d'obtenir des résistances mécaniques élevées au jeune âge. Les caractéristiques de ce superplastifiant sont données par le tableau 4.

Masse volumique	1085 kg/m <sup>3</sup>
pH	4,5 ± 1
Teneur en chlore	< 0,1 %
Pourcentage d'extrait sec en masse	40 % ± 1
Plage du dosage recommandée	0,2 à 1,5 %
Nature	Fludifiant et viscosant

**Tableau 4.** *Caractéristiques du superplastifiant Viscocrete 20 HE.*

## 2.4. Les granulats

Deux classes de graviers de nature calcaire et de masse volumique absolue de 2.67 g/cm<sup>3</sup> ont été choisies : 3/8 et 8/15.

♦ *Les sables*

Dans notre étude expérimentale, nous avons utilisé deux sables de fraction 0/4 ; 40 % de sable de mer siliceux (apport de la fraction fine) et 60 % de sable de concassage (calcaire). Le tableau 5 fournit leurs caractéristiques physiques.

	Sable de mer (SM)	Sable de carrière (SC)
<b>Masse volumique absolue (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.61	2.64
<b>Masse volumique apparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1.43	1.52
<b>Equivalent de sable (%)</b>	95.32	74
<b>Pourcentage de fines (%)</b>	1.43	13.04
<b>Module de finesse</b>	1.72	3.35

**Tableau 5.** *Caractéristiques physiques des sables*

### 3. Compositions du BAP étudié

Les constituants et les caractéristiques de la composition (inspirée des travaux de recherche de Bouhamou [2]) sont présentés respectivement dans les tableaux 6 et 7.

<b>Constituants</b>	<b>Dosages (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Ciment ©	400
Fines calcaires (F)	78,95
Sable de mer (SM)	578
Sable de carrière (SC)	249
Gravier 3/8	333
Gravier 8/15	492,2
Superplastifiant (Sp)	6
Eau	206

**Tableau 6.** *Composition du BAP (kg/m<sup>3</sup>)*

Caractéristiques	BAP
Rapport $E_{eff} / L_{Equiv}$	0,430
Rapport $E_{eff} / C$	0.515
Sp /C (%)	1, 5
F/C	19,7
Rapport G/S (en masse)	0,998
Volume de pâte (l/m <sup>3</sup> .)	375
Masse volumique réelle (kg/m <sup>3</sup> )	2410
Masse volumique durcie (kg/m <sup>3</sup> )	2262

**Tableau 7.** *Caractéristiques de la composition*

#### 4. Caractérisation générale des bétons à l'état frais et à l'état durci

La caractérisation à l'état frais des bétons s'est limitée aux essais recommandés par l'AFGC [3] : étalement au cône, écoulement à la boîte en L, stabilité au tamis et ressuage.

Le tableau 8 regroupe les résultats des essais à l'état frais.

	Affaissement / Étalement		Ségrégation (%)	Taux de remplissage
	(cm)	(t <sub>50</sub> en s)		
<b>Valeurs limites</b>	65 à 75	≤ 3	0% à 15%	0.8 ≤ Tr < 1
<b>BAP</b>	73,6	2,76	7.36	0.91

**Tableau 8.** *Propriétés à l'état frais*

Quelques observations peuvent être faites sur la formulation du BAP :

Sur l'étalement des BAP : l'étalement spécifié est compris entre 73 et 74 cm. cette exigence a été convenablement remplie par le béton. Bien qu'aucune limite ne soit donnée pour les temps d'étalement, le temps mesuré pour atteindre une galette de 50 cm de diamètre (t<sub>50</sub>) est proche à la valeur couramment rencontrée (3

secondes). Leur étalement laisse présumer que le béton a des propriétés autoplaçantes [3].

Sur la ségrégation statique du BAP : l'essai de stabilité au tamis permet de calculer un taux de ségrégation et de déduire si le béton testé possède une stabilité satisfaisante ou non. Le BAP a un taux de ségrégation inférieur à 15%, synonyme d'une stabilité correcte

Sur la ségrégation dynamique des BAP : l'essai de la boîte en L est exploité au travers du taux de remplissage (rapport des hauteurs du béton en début et en fin de la boîte), qui doit en principe être compris entre 0,8 et 1 [3]. Le béton ne présente aucun signe de blocage et un écoulement continu dans la boîte en L.

## 5. Attaque par les acides (ASTM C 267-96)

Pour la caractérisation de la résistance vis-à-vis des attaques chimiques ainsi que la dégradation, des éprouvettes cylindriques de diamètre égal à 59 mm et de hauteur égale à 126 mm ont été confectionnées, démoulées à 24 heures, et conservées dans l'eau pendant 28 jours.

La résistance due aux agressions chimiques des échantillons immergés dans des solutions acides est évaluée selon la norme ASTM C 267-96 [4].

Après 28 jours de cure sous l'eau, les éprouvettes sont pesées pour déterminer M1 puis elles sont immergées dans les différentes solutions suivantes :

- ◆ 5% et 2% d'acide chlorhydrique (HCl) acide fort
- ◆ 5% et 2% d'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) acide fort
- ◆ 5% et 2% d'acide acétique ( $CH_3COOH$ ) acide faible
- ◆ Témoins (eau distillée) neutre

Ces concentrations sont souvent choisies dans la littérature. L'utilisation de faibles concentrations demanderait plus de temps d'investigation, C'est pourquoi le choix s'est porté sur celle de 5% qui représente le seuil maximal pour un milieu très agressif.

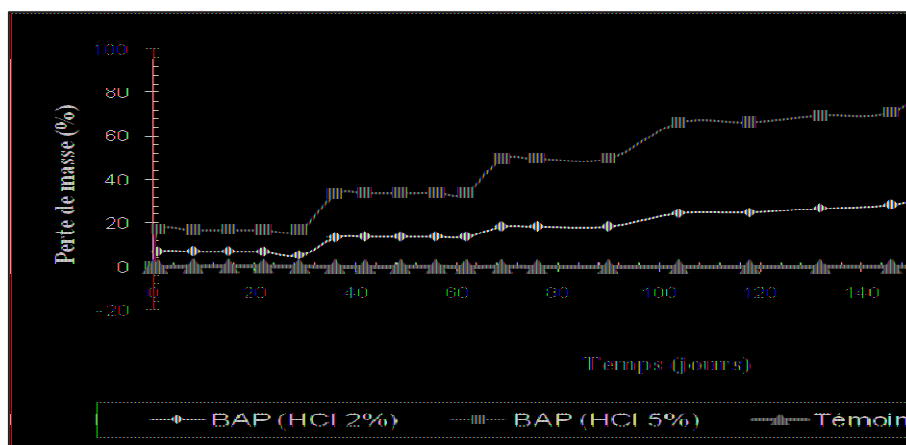
La résistance aux agressions chimiques des échantillons immergés dans ces solutions est vérifiée par leur perte de poids. Les éprouvettes sont rincées 3 fois à l'eau du robinet pour éliminer le mortier altéré et puis laissées sécher pendant ½ heure. Ensuite on procède à la pesée de ces dernières ( $M_2$ ). Cette opération est effectuée après le premier jour d'immersion, puis une fois par semaine, la solution d'attaque est renouvelée tous les mois (selon la valeur du pH). Le degré de l'attaque est évalué par la formule suivante [4] :

$$\text{Perte de masse (\%)} = \left[ \frac{M_1 - M_2}{M_1} \right] \times 100$$

Avec  $M_1$ ,  $M_2$  les masses des éprouvettes avant et après immersion, respectivement.

### 5.1. L'effet de l'acide chlorhydrique

Le suivi de la perte en poids en fonction du temps des éprouvettes de BAP immergées dans la solution à base d'acide chlorhydrique HCl de 5 % et 2% de concentration, est illustré par la figure 1.



**Figure 1.** Variation de la perte en poids du BAP en fonction de la période d'immersion en 2% HCl, 5% HCl et de celle du témoin (eau distillée).

On a deux éprouvettes de BAP immergées dans une solution de HCl à 5 % de concentration et deux éprouvettes immergées dans une solution de HCl à 2 % de concentration. Il est clair que plus la concentration est faible moins la solution est agressive.

Entre le premier jour et le 29<sup>ème</sup> jour on a pratiquement une stabilité totale de la perte de masse dans les deux concentrations, ceci s'explique par la forte solubilité de l'acide chlorhydrique dans l'eau qui réagit rapidement avec l'hydroxyde de calcium  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  pour donner le chlorure de calcium  $\text{CaCl}_2$  qui détériore l'éprouvette provoquant une perte de masse.



Hydroxyde de calcium + acide chlorhydrique → chlorure de calcium + eau

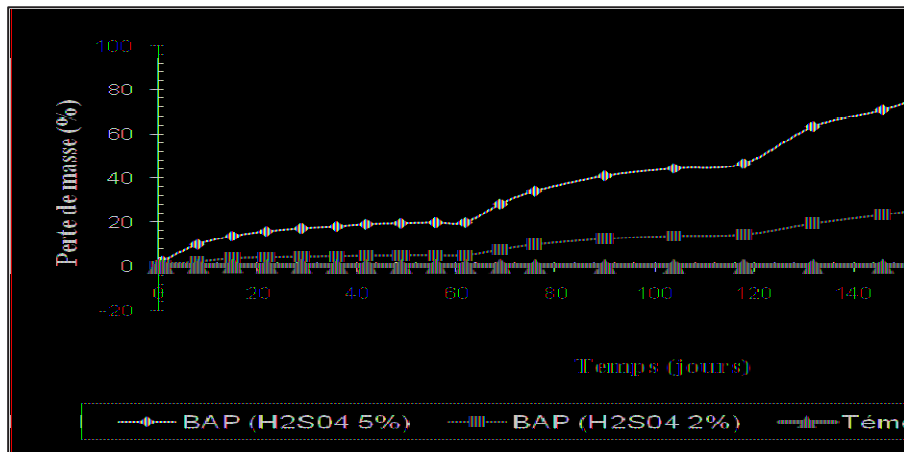
Donc si le milieu du BAP est fortement agressif avec une source de renouvellement de l'acide chlorhydrique, l'attaque serait très nuisible.

Les acides inorganiques forts ne réagissent pas uniquement avec l'hydroxyde de calcium, ils attaquent également les autres composants de la pâte de ciment durcie, en formant des sels calciques, aluminiques ou ferriques, ainsi que des acides siliciques colloïdaux (gels de silice) [6].

On remarque par ailleurs qu'il n'y a aucune perte de masse pour le BAP témoin.

### 5.2. L'effet de l'acide sulfurique

Le suivi de la perte en poids en fonction du temps des éprouvettes du BAP immergées dans la solution d'acide sulfurique  $H_2SO_4$  de 5 % et 2% de concentration (figure 2).

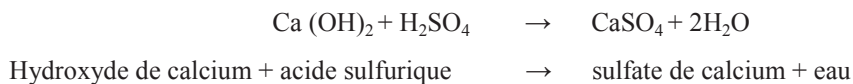


**Figure 2.** Variation de la perte en poids du BAP en fonction de la période d'immersion en 5%  $H_2SO_4$ , 2%  $H_2SO_4$  et de celle du témoin (eau distillée).

L'acide sulfurique est un acide inorganique fort mais de faible solubilité dans l'eau. Le rapport des deux pertes étant équivalent à 3.

Au-delà de 60 jours la cinétique est la même dans les jours qui suivent mais avec une amplitude plus élevée, ceci s'explique par le fait que l'acide sulfurique a une solubilité très faible dans l'eau (0.0043g /100ml de  $H_2O$ ) donc il est relativement inoffensif mais c'est les ions de sulfates qui jouent en l'occurrence le rôle nuisible.

L'acide sulfurique réagit avec l'hydroxyde de calcium pour former le sulfate de calcium

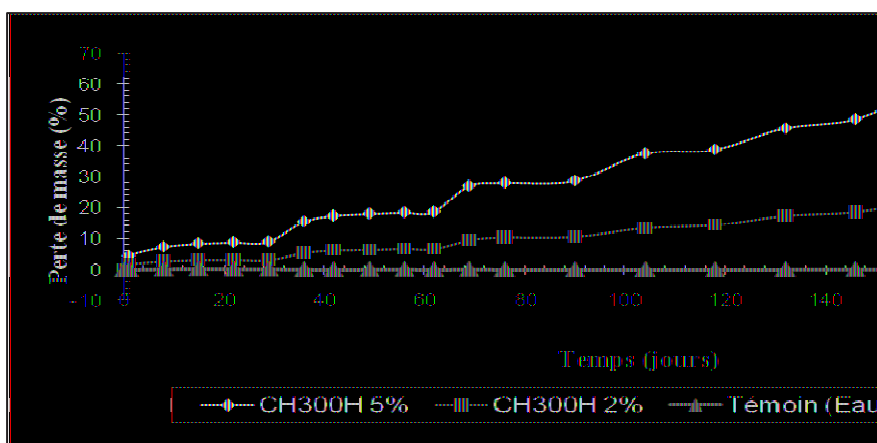




La coloration de la surface des BAP en blanc après leurs immersions dans l'acide sulfurique explique la présence de gypse et d'ettringite.

### 5.3. L'effet de l'acide acétique

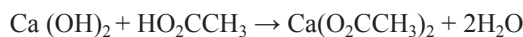
Le résultat du suivi de variation de la perte en poids en fonction du temps des éprouvettes du BAP immergées dans la solution d'acide acétique CH<sub>3</sub>COOH de 5 % et 2% de concentration est donné par la figure 3.



**Figure 3.** Variation de la perte en poids du BAP en fonction de la période d'immersion en 5% CH<sub>3</sub>COOH, 2% CH<sub>3</sub>COOH et de celle du témoin (eau distillée).

Après le changement des solutions, nous avons également remarqué une évolution des pertes de masse par paliers croissants.

Ces résultats peuvent être expliqués par le fait que l'acide acétique est un acide organique qui forme avec l'hydroxyde de calcium de l'acétate de calcium qui est difficilement soluble dans l'eau et c'est pour cette raison que la dégradation continue toujours même si le taux diminue.



Hydroxyde de calcium + acide acétique → acétate de calcium + eau

## 6. Conclusion

L'objectif de ce travail aussi modeste soit-il était de contribuer à apporter des réponses claires à une question majeure : les BAP à base de matériaux locaux sont-ils résistants vis-à-vis de l'intrusion des substances chimiques agressives classiques?

En se basant sur les résultats obtenus, nous pouvons tirer les conclusions suivantes:

- ◆ Le béton autoplaçant étudié est très fluide avec absence de ressuage et de ségrégation, il renferme un pourcentage important de fines qui lui procure un meilleur arrangement granulaire.
- ◆ Les rapports  $E/C = 0,515$ ,  $F/C = 19.7$  et  $V_{p\grave{a}te} = 37.5\%$  ont influé positivement sur la stabilité et la résistance à la ségrégation du BAP. Ces derniers ont permis d'obtenir un BAP répondant aux exigences de l'AFGC.
- ◆ L'ajout d'environ 20% de fines calcaires, contribue à diminuer la viscosité du BAP (augmentation du diamètre d'étalement).
- ◆ L'attaque des acides inorganiques (acide chlorhydrique et acide sulfurique) est plus agressive que celle de l'acide organique (acide acétique), la dégradation est liée non seulement à la concentration des acides mais aussi à leurs solubilités.
- ◆ Si le milieu du BAP est fortement agressif avec une source de renouvellement de l'acide chlorhydrique, l'attaque serait très nuisible.
- ◆ Plus la concentration des acides est faible moins les solutions sont agressives.
- ◆ A même concentration le BAP immergé dans l'acide acétique développe une meilleure résistance par rapport aux autres BAP.
- ◆ Aucune perte de masse n'est remarquée pour le BAP immergé dans l'eau distillée.

Notre travail a ainsi contribué à donner certaines réponses à la question posée préalablement. Cependant, les hypothèses choisies au début du projet nous ont conduits à étudier certains paramètres préférentiellement à d'autres. De nouvelles études pourront faire suite à ce travail en envisageant de faire une étude comparative entre la durabilité d'un BAP et celle d'un béton ordinaire composé de matériaux locaux et varier des paramètres tels que les matériaux constitutifs de la formulation en estimant leur influence sur les propriétés mécaniques et physico-chimiques du BAP. Sont concernés les granulats, et l'influence de leur diamètre, les additions minérales, qui peuvent être de différents types, et les adjuvants, notamment l'utilisation unique d'agent de viscosité.

D'autres propriétés nécessitent la continuité de recherches, on peut principalement citer le fluage, la résistance au feu et l'adhérence acier – béton.

Enfin, une étude microstructurale plus approfondie des BAP s'avère incontournable.

## 7. Références bibliographiques

- [1] NF EN 934-2., « Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis » – Partie 2 : *Adjuvants pour bétons – Définitions, spécifications et critères de confirmation* (Sept 2002).

- [2] BOUHAMOU N. (2008), « influence des rapports eau/ciment et fines/ciment sur le comportement a l'état frais et durci du béton autoplaçant a base de matériaux locaux algériens ». *Thèse de Doctorat*, Université de Mostaganem, Algérie. Département de Génie Civil.
- [3] AFGC « Recommandations provisoires » document scientifique et technique (juillet 2000).
- [4] NORME ASTM C 267-96., « Standard Test Methods for Chemical Resistance of Mortars, Grouts, and Monolithic Surfacing and Polymer concretes», *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01, 1996.
- [5] YASSINE SENHADJI., «L'influence de la nature du ciment sur le comportement des mortiers vis-à-vis des attaques chimiques (acides et sulfatiques) » *Ingénieur d'Etat en génie civil, thèse de Magister*, Option : Géo-Matériaux, Université des Sciences et de Technologie Med Boudiaf d'Oran Algérie 2006.
- [6] BULLETIN DU CIMENT n° 12, « substances exerçant une action chimique sur le béton » <http://www.tfb.ch> Suisse (1995).