

ETUDE DE L'INFLUENCE DU RAPPORT CIMENT/LIANT (C/L) ET DU MODE DE CONSERVATION SUR LE RETRAIT DES BETONS AUTOPLACANTS

B. BOUKNI , H. HOUARI

Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions Université Mentouri Constantine - Algérie

Reçu le 15/05/2009 – Accepté le 19/04/2010

Résumé

Le béton autoplaçant (BAP) est caractérisé par sa grande quantité de fines (ciment +fillers) dans le but d'aboutir à une grande stabilité durant la préparation du béton.

L'objectif de cette étude est de suivre l'évolution des variations dimensionnelles et pondérales des bétons autoplaçants. Les bétons autoplaçants étudiés ont un squelette granulaire identique et des rapports fines/liant différents. Le béton vibré à égale résistance avec un béton autoplaçant a été étudié afin de mettre le point sur la différence de comportement entre les deux types bétons.

Les évolutions des déformations de retrait libre et des variations pondérales ont été analysées pour les trois compositions retenues. L'analyse comparative de ces résultats a permis de mettre en évidence l'influence du type d'addition minérale et du mode de murissement sur le comportement à long terme des BAP.

Les résultats obtenus montrent que l'augmentation de dosage de fillers calcaires diminue le retrait des bétons autoplaçants mais il n'a aucun effet significatif sur la perte en poids.

Mots clés : BAP, variation dimensionnelle, variation pondérale, mode de conservation, retrait, fillers calcaires, matériaux locaux.

Abstract

The self compacting concrete is characterized by its big quantity of liqueur brandies (cement +fillers) with the aim of ending in a big stability during the preparation of the concrete.

The objective of this study is to follow the evolution of the dimensional and weight variations of concretes autoplaçants. Concretes autoplaçants studied have a skeleton identical granulaire and reports liqueur brandies / sociable disposition different. The concrete vibrated in equal resistance with self compacting concrete was studied to put the point on the difference of shrinkage between both concretes.

The evolutions of the deformations of free shrinkage and the weight variations were then recorded for three compositions. The comparative analysis of these results allowed to bring to light the influence of the type of mineral addition on the long-term behavior of the BAP.

The obtained results show that the increase of dosage of fillers decreases the shrinkage of self compacting concretes but it has no significant effect on the loss in weight.

Keywords : BAP, dimensional variation, weight variation, mode of conservation, shrinkage, fillers, local materials.

ملخص

الخرسانة ذاتية التمدد تتصف بالكمية الكبيرة من الدقيق (اسمنت+حشو) للوصول الى الاستقرار خلال تحضير الخرسانة.

الهدف من هذه الدراسة هو تتبع تطور التغيرات الحجمية و الوزنية للخرسانة ذاتية التمدد. الخرسانة ذاتية التمدد المدروسة لديها هيكل حجري متطابق و نسبة دقائق/عجينة مختلف. خرسانة عادية لديها نفس المقاومة مع خرسانة ذاتية التمدد درست أيضا لوضع الفرق في الإنكماش بين الخرسانتين. تغيرات الإنكماش الحر و التغير في الوزن ثم تسجيلها للخرسانات الثلاثة.

دراسة النتائج سمحت بمعرفة تأثير الزيادات المعدنية على سلوكه لمدة زمن طويلة للخرسانة ذاتية التمدد. النتائج المحصل عليها بينت بأن ارتفاع مستوى تركيز الحشو ينقص الإنكماش في الخرسانة ذاتية التمدد و لكن ليس لها أي تأثير على خسران الوزن.

الكلمات المفتاحية : تغيرات وزنية ؛ التغيرات الحجمية ؛ إنكماش ؛ الخرسانة ذاتية التمدد ؛ حشو ؛ مواد محلية

Les bétons auto-plaçants (BAP) sont des bétons très fluides dont la mise en place sans vibration présente plusieurs avantages tant au niveau environnemental, humain, technologique qu'économique, ce qui intéresse de plus en plus les industriels.

En effet, cette nouvelle génération de matériaux se caractérise par un volume de pâte supérieur à celui d'un béton vibré de même classe de résistance. Ce surplus de pâte s'explique par la substitution partielle des gravillons par des fines, afin d'assurer les propriétés spécifiques à l'état frais. Les BAP se distinguent ainsi des bétons vibrés par leur capacité à s'écouler sous leur propre poids, quelque soit le type de confinement, tout en restant homogènes pendant et après leur mise en place (absence de ségrégation dynamique et statique) (Bensebti 07). Le développement et l'utilisation de plus en plus fréquente des BAP posent de nouveaux problèmes sur l'apparition du retrait à cause de leur composition particulière (Benkechkeche 08).

Le volume de pâte élevé et donc le béton manifestent des variations dimensionnelles en l'absence de chargement, ces variations sont surtout en relation avec la dessiccation du béton et sa structuration progressive. Les dimensions des pièces augmentent ou diminuent, on distingue les gonflements et les retraits.

L'hydratation et le séchage ont pour conséquence de diminuer l'humidité relative dans le réseau poreux, c'est la diminution d'humidité relative qui est à l'origine des retraits hydriques (Breugel 2000, cité par Turcry 2004).

Diverses études suggèrent que l'addition des fillers, pouzzolaniques ou non pouzzolaniques, au ciment portland affecte les propriétés du béton frais et durci. Parmi les fillers non pouzzolaniques, les fines calcaires et de dolomite sont les plus fréquemment utilisées dans des mélanges de BAP (Billberg P., 1999).

D'autre part, on signale que le retrait dépend non seulement des effets de fillers mais également du volume de la pâte (Bui *et al* 1999; Gram *et al* 1999 cités par Assié 2004 et Persson, 2001). Le retrait total peut donc conduire à la fissuration des éléments en béton. Cette dégradation peut bien entendu nuire aux propriétés de durabilité du matériau. Dans le cadre de cette étude nous nous sommes intéressés à l'étude du retrait hydraulique, à l'influence du mode de conservation sur l'amplitude du retrait. L'objectif est de montrer l'évolution des déformations dimensionnelles et pondérales des bétons auto-plaçants (BAP) et que présente l'ajout des additions comme différence entre le comportement d'un béton vibré (BV) et d'un béton auto-plaçant.

1. MATERIAUX ET PROCEDURE EXPERIMENTALE

1.1. Les matériaux :

	Ciment (C)	Fillers (FC)	Eau (E)	Superplastifiant (SP)	Gravillons (G)	Sable (s)
BAP1	400	200	211	9,6	762	772
BAP2	500	100	221	10,8	762	772
BV	400	0	225	0	1102	625

Un ciment de type CEM II/A 42,5, d'une surface blaine égale à 3891g/cm², provenant de l'usine El-Hamma de la région de Constantine, a été utilisé pour les formulations de béton ainsi que deux classes granulaires d'origine naturelle concassées provenant de la carrière Hedna de Ain Smara : sable 0/5 – gravillons 5/15, les granulats sont caractérisés par une masse volumique de 1.44g/cm³ pour le sable et 1.35g/cm³ pour le gravier, un module de finesse de 3.1

Le filler utilisé est un filler calcaire, de provenance de la carrière géante ENG d'EL Khroub; noté FC; le diamètre moyen des grains des fillers est 19µm, avec un poids spécifique de 2,7kg/l, et de densité apparente égale à 1,3.

Un superplastifiant de type MEDAPLAST SP 40 (Haut réducteur d'eau / Conforme à la norme EN 934-2) avec une

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	chlorures	CaO libre	Résidus insolubles	P.A.F
27,83	6,21	3,12	57,22	0,94	2,02	/	/	0,00	0,88	2,28	2,41

valeur recommandée de 0.6 - 2.5% du poids de ciment, a été également employé pour assurer une ouvrabilité satisfaisante et diminuer la chaleur d'hydratation, sa densité est 1.20±0.01

Tableau 1 : Composition chimique du clinker

Tableau 2 : Composition minéralogique du clinker

Eléments	Silicate tri calcaïque	Silicate bi calcaïque	Aluminate tricalcaïque	Alummino-ferrite tetracalcaïque
Abréviation	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Teneur (%)	56,60	22,98	9,87	8,25

Echantillons	Matière en suspension	Sels dissous	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	PH	Ca ⁺²	Mg ⁺²	HCO ₃ ⁻	Carbonates	T °C
Concentrations	Traces	1470	413,56	298,2	7,9	36	60	27	3,5	19

L'eau utilisée dans notre cas est l'eau de robinet, provenant de la source Fesguia qui alimente notre laboratoire.

Tableau 3 : les résultats de l'analyse chimique effectuée sur cette eau

1.2. Les formulations :

Le béton auto-plaçant de référence a été formulé par la méthode Japonaise, tandis que la deuxième formulation de béton auto-plaçant est obtenue par une substitution partielle du ciment par des fillers calcaires. Le squelette granulaire des bétons auto-plaçants est identique.

Les compositions utilisées; sont des bétons auto-plaçants caractérisés par leurs rapports fillers/liant égaux à 0,16 et 0,33. Le béton vibré est formulé avec la méthode Dreux-

Gorisse. Les compositions retenues de ces trois bétons sont présentées dans le tableau 4.

Tableau 4 : composition des bétons

On désigne par BAP1 le Béton autoplaçant de référence, avec un rapport ciment/liant égale à 0,33 et par BAP2 le Béton autoplaçant avec un rapport ciment/liant égale à 0,16 et par BV le Béton Vibré avec une résistance égale à celle de BAP1.

Nous présentons également, dans le tableau 5, les résultats de caractérisation de ces bétons

Tableau 5 : Caractérisation des bétons

Caractérisation des différents bétons à l'état frais et durci							
notations notation	Caractérisation classique						
	Air occlus (%)	Densité (Kg/m ³)	Etalement affaissement (cm)	Résistance à la compression 16 x 32cm (Mpa)		Résistance à la traction/flexion 7 x 7 x 28 cm (Mpa)	
				7 jours	28 jours	7 jours	28 jours
BAP1	2.8	2383	69	13.68	25.80	3.10	5.09
BAP2	2.7	2352	67	17.92	34.90	3.26	5.19
BV	3	2361.3	8	12.3	25.04	3.05	5.01

L'étalement spécifié était respectivement compris entre 67 et 69 cm. Le tableau 2 montre que cette exigence du cahier des charges a été convenablement remplie par les deux bétons autoplaçants. Pour toutes les compositions de BAP, l'auréole de laitance à la périphérie des galettes de béton était très faible. 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.

1.3. La cure

Le retrait du béton étant dû, pour partie, à la disparition de l'eau qu'il contient, La prévention des effets liés au retrait est obtenue en limitant la dessiccation du béton, c'est-à-dire l'évaporation de l'eau avant et pendant le durcissement. Dans cette optique, la mise en place d'une cure du béton, permet de réduire la dessiccation. Avant le démoulage, toutes les éprouvettes confectionnées ont été couvertes par une plaque rigide en plastique afin d'éviter les risques d'évaporation excessive et le retrait plastique. Après 24 heures, les éprouvettes ont été démoulées et placées dans le mode de conservation respectif :

- Conservation à l'air : T = 20 ± 2 °C et HR = 55 ± 5 %.
- Conservation en milieu couvert : T = 20 ± 2 °C et HR = 80 ± 5 %.
- Conservation à l'eau : T = 20 ± 2 °C et HR = 100 %

1.4. Les essais

L'essai de retrait est effectué conformément à la norme NF P15-433. L'essai est réalisé sur trois échantillons de dimensions 7x7x28 cm.

Les mesures de la longueur ont été faites à partir de 24 heures (suivi continu, selon le mode de conservation) entre

les deux plots, placés aux extrémités de l'éprouvette suivant l'axe de symétrie.

Le retrait est mesuré à l'aide d'un appareil « rétractomètre » munie d'une tige d'étalonnage invar et d'un comparateur digital de précision ± 0,003mm.

Des essais en perte en poids ont été aussi réalisés sur mêmes bétons à partir du démoulage (suivi continu à partir de 24 heures).

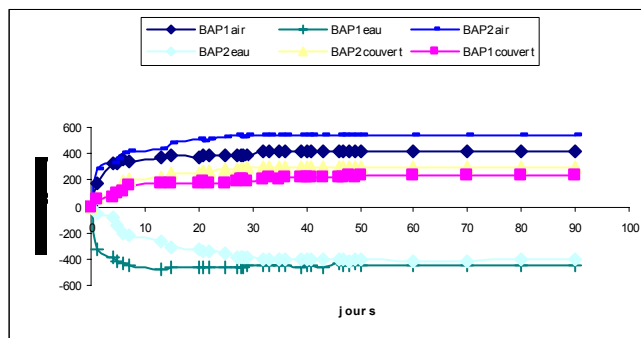
Un suivi continu est réalisé afin d'évaluer les variations dimensionnelles et pondérales jusqu'à l'âge de 90 jours après le démoulage.

2. RESULTATS ET DISCUSSIONS

2.1. Etude du retrait

2.1.1. Influence de la teneur de fillers :

On observe deux phases pour le retrait des BAP. La première phase, montre que le retrait se développe rapidement dans les cinq premiers jours. Par la suite, on observe une diminution de la vitesse de développement de retrait, la stabilisation après 15 jours. D'un point de vue pratique, pour un rapport E/C constant, le retrait augmente avec l'augmentation du dosage en ciment, la plus grande quantité de pâte de ciment



hydratée est responsable du retrait (Neville 2000).

Figure 1 : Influence des fillers calcaires sur les variations dimensionnelles des BAP

L'effet des fillers sur le retrait a été également étudié. D'après les résultats obtenus présentés sur la figure 1, les fillers calcaires utilisés dans les bétons autoplaçants pour remplacer une partie de ciment contribue à la réduction de la chaleur d'hydratation, et en conséquence la diminution du retrait total, en cohérence avec les résultats de (Manai 1995, Turcyr 2004).

La figure 1 illustre la différence entre les deux BAP conservés à l'air libre (132µm/m à 90j), avec moins de retrait pour le BAP1 contenant plus de fillers calcaires. Des résultats équivalents ont été obtenus par (Setter et Coll et Van 1999). Ces auteurs expliquent que les pâtes contenant les fillers possèdent un volume de solide plus important que celui de la pâte seule : le contact entre les particules est plus important induisant moins de retrait.

À l'air libre, les fillers ont un effet positif, le BAP contenant plus de fillers présente moins de retrait. Contrairement, pour les éprouvettes conservées dans l'eau, le béton avec un dosage élevé de fillers subit un gonflement supérieur. Cela est probablement dû à l'absorption de l'eau par les fillers.

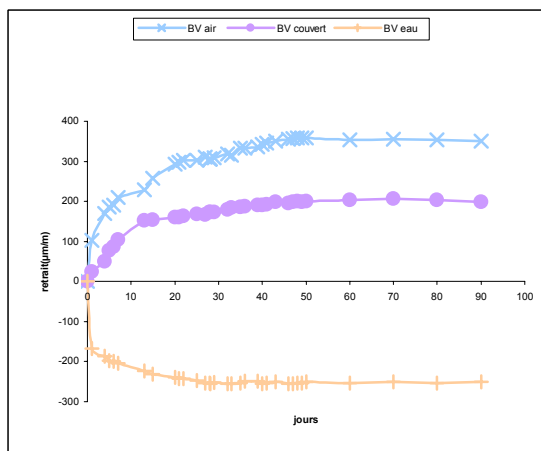
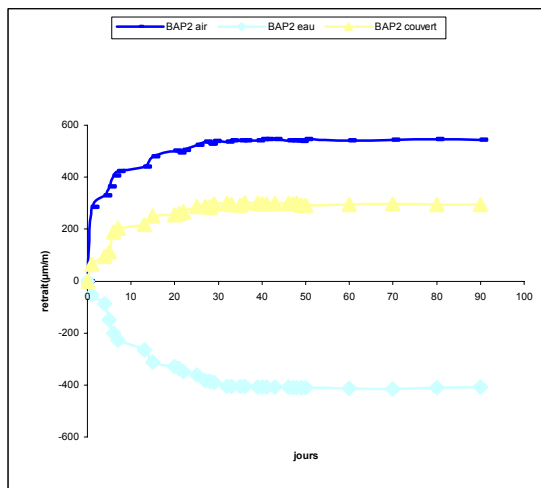
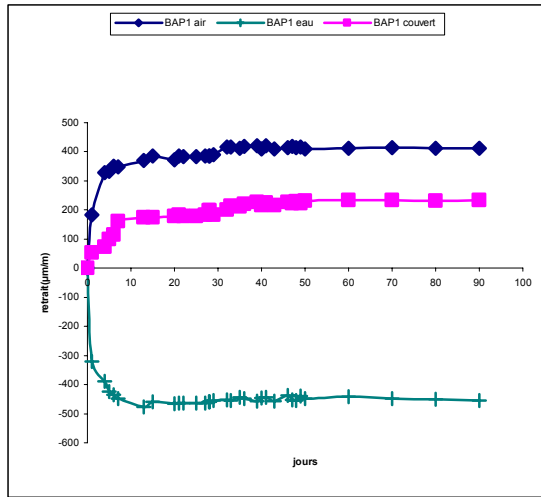


Figure 2 : Retrait des différents selon le mode de conservation

2.1.2 : Effet de la cure :

Le milieu de conservation influence d'une manière significative l'évolution des variations dimensionnelles, les

courbes de la figure 2 montrent que le taux de rétraction à l'air libre et le taux de gonflement sous l'eau du BAP1 sont similaires, on remarque qu'à 90 jours un retrait de 420,36µm/m et un gonflement de 460,24µm/m.

Les éprouvettes couvertes (sans échange avec le milieu extérieur) présentent un retrait presque la moitié de celles conservées à l'air libre, cela est dû probablement à l'empêchement d'échange hydrique avec le milieu extérieur.

Le BAP2 qui contient un dosage élevé de ciment et moins de fillers suit une cinétique différente de celle de BAP1. On trouve que pour les dix premiers jours, le retrait de ce béton à l'air libre est deux fois plus grand que le gonflement, 423µm/m pour 227µm/m respectivement.

Le taux de gonflement pour le BAP2 converge vers le taux de retrait en milieu couvert avant les 15 jours puis il reprend son évolution pour atteindre une valeur deux fois plus grande.

Pour les éprouvettes immergées, la cinétique d'eau est traduite par un fort gonflement dans les premiers jours pour le BAP1 et le BV suivi par une stabilisation après 20 jours.

2.1.3 : Influence de la nature de béton :

La figure 3 montre que les BAP sont susceptibles de présenter des niveaux plus élevés de retrait. Conformément aux résultats de (Turcry 2004), qui signale que le retrait des BAP est supérieur à celui des BV conséquence de la grande quantité de fines que contient le BAP.

Le BAP présente un fort retrait par rapport au BV au cours des 20 premiers jours, puis la cinétique commence à être plus lente (figure 3).

La différence de retrait entre les deux bétons est de 126 µm/m à 15 jours et diminue jusqu'à atteindre 60µm/m à 90 jours. Pour les bétons subissant une cure à l'eau la différence de gonflement reste importante (229µm/m à 15 jours et 204µm/m à 90 jours).

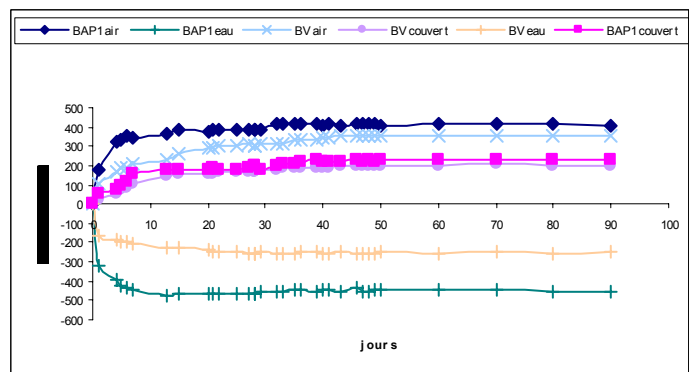


Figure 3 : Influence de la nature des bétons sur les variations dimensionnelles

2.2 Variation pondérale :

2.2.1. Influence de fillers calcaires :

La figure 4 montrent que les deux phases mentionnées pour le retrait se figurent clairement, dans les courbes de perte en poids à l'air libre, Dans les premiers jours on remarque une linéarité de la courbe perte en poids- temps, l'eau évaporée des BAP présente la quasi totalité de la

quantité d'eau perdue à 90 jours. Par la suite la cinétique d'eau tend à se ralentir, et arrive à la stabilité dans les 40 jours. Les courbes des deux BAP exhibent la même allure avec la même quantité de la perte en poids, malgré la différence de retrait acquérait entre les deux bétons. Donc l'augmentation de dosage de fillers calcaires qui est à l'origine de diminution de retrait, n'a aucun effet sur la perte de masse.

Sans échange hydrique avec l'extérieur, les deux BAP suivent la même cinétique mais avec une vitesse très lente. Après les 15 premiers jours on remarque que la perte en poids est freinée par la présence de fillers calcaires, le BAP1 présente une perte de poids plus faible que le BAP2.

Les fillers calcaires augmentent l'aptitude d'absorption d'eau pour les bétons autoplaçants.

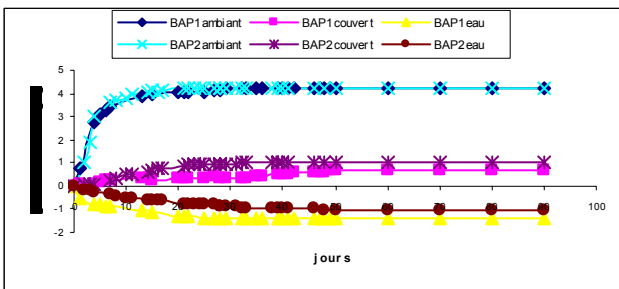


Figure 4 : Effet de fillers sur la perte de masse des bétons autoplaçants.

2.2.2 : Effet de la cure :

La figure 5 donne l'évolution de la perte de masse en fonction du temps dans les conditions d'essais adoptées.

Pour les trois bétons, la perte de masse des éprouvettes à l'air libre est plus élevée, trois fois la perte de masse dans les autres modes de conservation.

A l'air libre, les bétons passent par trois phases. La première phase est linéaire avec le temps, l'enregistrement d'un fort départ d'eau dans les 15 premiers jours est remarqué, représentant plus de 70% de la perte en masse obtenue à 90 jours. Une deuxième phase non linéaire où la vitesse de départ d'eau est très lente, et enfin la dernière phase de stabilisation de la masse.

En milieu couvert, ces phases ne sont pas très remarquables, la vitesse d'évaporation d'eau du BAP1 est très lente par rapport aux deux autres bétons. La stabilisation est atteinte au bout de 40 jours pour ce béton, tandis que la perte en poids pour le BAP2 et BV se stabilise au bout de 20 et 30 jours respectivement.

Les éprouvettes immergées dans l'eau, se comportent d'une manière similaire à celles des éprouvettes couvertes. Les BAP2 et BV suivent une cinétique différente, débutant à court terme par une absorption de l'eau avec des vitesses différentes plus rapide pour le BV mais ils atteignent des taux d'absorption similaires à 90 jours environ de 1.01 et 1.07% (BAP2 et BV).

2.2.3 : Influence de la nature de béton :

La figure 6 englobe les résultats de la perte de masse en fonction du temps obtenus pour le BAP1 et le BV. La perte

en poids est d'environ 4.26% et 3.49% respectivement pour le BAP1 et le BV après 90 jours à l'air libre.

Les courbes montrent que la quantité d'eau perdue est plus élevée pour le BAP1 que pour le BV malgré que le BV renferme la plus grande quantité d'eau de gâchage.

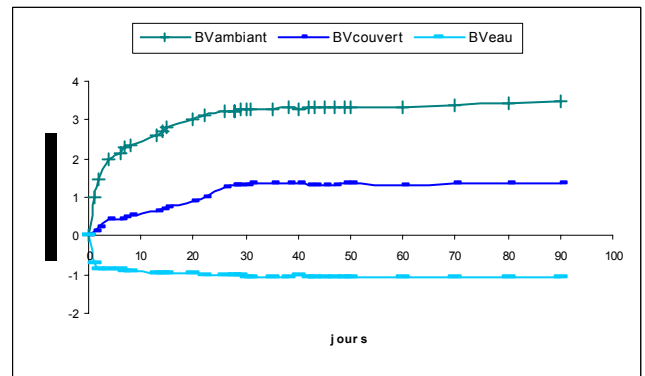
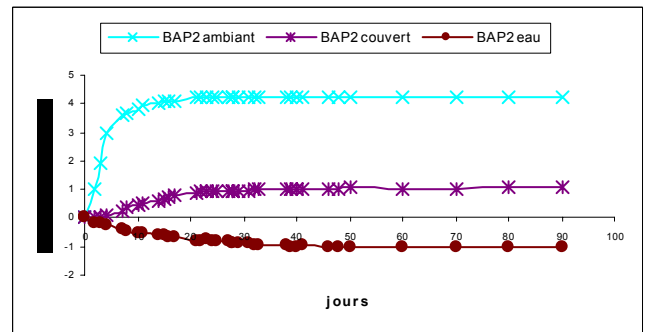
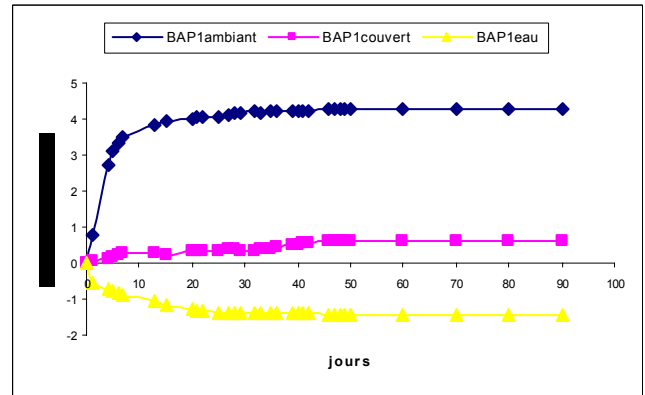


Figure 5 : la perte de masse des différents bétons en fonction du mode de cure.

Le départ d'eau en milieu couvert se comporte contrairement, on remarque que le BAP perd moins d'eau que le BV environ 0.63 et 1.35% pour le BAP1 et le BV. Cela contredit les résultats de retrait, donc on peut dire que le retrait n'est pas du seulement au départ d'eau.

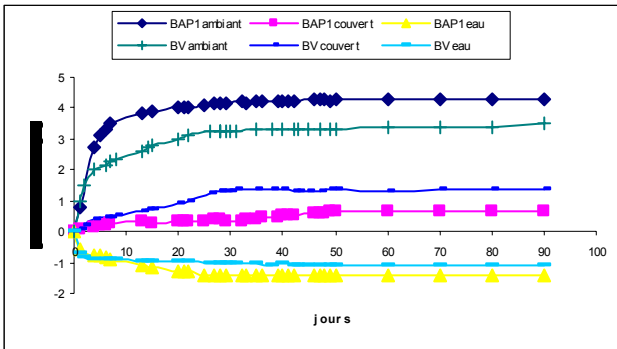


Figure 6 : la perte de masse des différents bétons selon la nature de béton.

2.3 Lien retrait- perte en poids

On remarque que la perte de masse nécessaire pour amorcer le retrait diminue avec l'augmentation du rapport fillers/liant

L'évolution du retrait en fonction de la perte en masse pour les différentes compositions, est reportée sur la figure 7. Celle-ci montre que le retrait est proportionnel à la perte de masse. On observe une zone « dormante » au début pour les BAP. En effet, la microfissuration en surface des éprouvettes masque la déformation de contraction liée au départ d'eau.

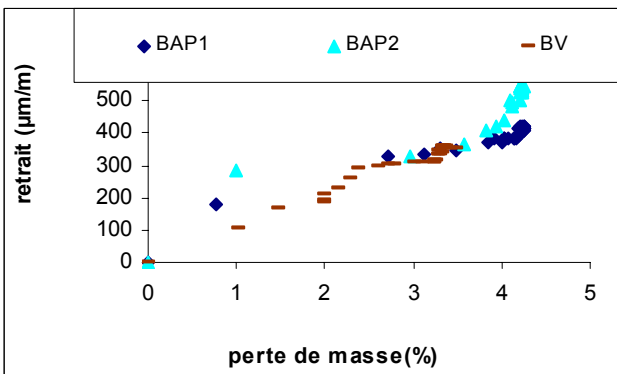


Figure 7 : Retrait en fonction de la perte de masse de trois bétons à l'air libre

Ensuite, une zone où le retrait est proportionnel à la perte en masse est observée avec un développement rapide après les cinq premiers jours pour le BAP contenant moins de fillers. Donc on peut dire que l'augmentation du dosage de fillers calcaires aide à stabiliser le retrait des BAP. Les observations sont conformes à celles obtenues par (Granger 1996) sur différentes compositions de bétons.

On remarque que la relation entre le retrait et la perte en poids du béton vibré est linéaire et continue.

CONCLUSION

Au cours de cette étude, trois bétons ont été confectionnés en gardant un squelette granulaire constant et en faisant varier la quantité de fillers calcaires pour les bétons autoplaçants. Les éprouvettes de béton fabriquées ont subi un suivi continu de l'évolution de retrait et de

perte de masse afin de déterminer l'effet des fillers sur les variations dimensionnelles et pondérales des bétons testés.

Le retrait total est une fonction croissante du volume de pâte, parce que les granulats ne connaissent pas de retrait. Le volume de pâte est un paramètre majeur contrôlant le retrait du béton.

Les principaux résultats expérimentaux obtenus :

Les BAP sont susceptibles de présenter des niveaux plus élevés de retrait à cause du pourcentage plus élevé de pâte dans leur composition.

Les fillers calcaires ont une influence bénéfique sur le retrait des BAP. Les BAP contenant un dosage de fillers élevé, avec un dosage F/L= 0.33 subit un retrait inférieur, moins de trois fois que celui de BAP contenant moins de fillers, dosage F/L égale à 0.16.

L'augmentation du dosage de fillers calcaires qui est à l'origine de diminution de retrait, n'a aucun effet sur la perte de masse.

La perte de masse nécessaire pour amorcer le retrait diminue avec l'augmentation du rapport fillers/liant.

La perte d'une même quantité d'eau génère des déformations moins importantes lorsque la teneur en fillers augmente.

Le milieu de conservation influence d'une manière significative l'évolution des variations dimensionnelles et pondérales.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

- Anne-Mieke Poppe, Geert De Schutter, "Cement hydration in the presence of high filler contents Magnel", *Cement and Concrete Research* 35 (2005) 2290 – 2299.
- Benboudjema F., « Modélisation des déformations différées du béton sous sollicitations biaxiales. Application aux enceintes de confinement de bâtiments réacteurs des centrales nucléaires », Thèse de doctorat de l'Université de Marne la Vallée, 2002.
- Benkechkeche G., Houari H., "Caractérisation du béton à l'état durci : retrait et fluage des bétons autoplaçants", *Proceedings du Colloque International sur la Caractérisation et la Modélisation des Matériaux et Structures-CMMS08*, Tizi-Ouzou – Algérie, 16, 17 et 19 Novembre 2008, pp103.
- Bensebti S., Aggoun S., Houari H., Duval R., La ségrégation statique dans les bétons autoplaçants « mise en place d'une procédure expérimentale », *Annales du Bâtiment et des Travaux Publics*, N°2-3, Avril-Juin 2007, Editions ESKA, pp 22-28.
- Granger L., *Comportement différé du béton dans les enceintes de centrales nucléaires. Analyse et modélisation*, Thèse de doctorat de l'ENPC, Paris, Avril 1996.
- Hasni L., « Bétons Autoplaçants », Rapport de recherche n°98-004/98-006 du CEBTP – « Journées du PN BAP », Juillet 1999, p31.
- Manai K., "Etude de l'effet d'ajouts chimiques et minéraux sur la maniabilité, la stabilité et les performances des bétons autonivellants", Thèse de doctorat de l'Université Sherbrooke Canada, Septembre 1995.
- Nehdi M, Rahman.M," Why some carbonate fillers cause rapid increases of viscosity in dispersed cement-based materials", *Cement and concrete Research* 30(10), 2000, pp. 1663-1669.

Neville A. M., " Propriétés des Bétons ", traduction CRIB, Sherbrooke, Canada, éd. Paris Eyrolles 2000.

Persson B., " A comparison between mechanical properties of self compacting concrete and the corresponding properties of normal concrete". Cement and concrete Research 31, 2001, pp. 193-198.

Stephan ASSIÉ, « Durabilité des bétons autoplaçants », thèse de doctorat INSA, Toulouse, 2004.

Turcry P., « Retrait et Fissuration des Bétons Autoplaçants, Influence de la Formulation » Thèse de Doctorat de l'Ecole Centrale de Nantes et l'Université de Nantes, 2004.

Van B. K. and Montgomery D., "Drying shrinkage of self-compacting concrete containing milled limestone", Proceeding of First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (PRO 7), Stockholm, Sweden, pp. 227-238, 13-15 septembre 1999.