

# ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DU RETRAIT ET DU FLUAGE DES BÉTONS AUTOPLAÇANTS À BASE DES MATÉRIAUX LOCAUX

**Ghofrane BENKECHKACHE, Abdelhafid CHABANE, Hacène HOUARI**

Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions - Université Mentouri, Constantine – Algérie

## 1. INTRODUCTION

Réaliser un béton autoplaçant (BAP) est une opération complexe qui nécessite de trouver une bonne combinaison de matériaux compatibles et le dosage convenable de chacun de ces constituants afin d'obtenir une formulation répondant aux propriétés des BAP.

Il existe une très grande variété de matériaux dans le monde, et il est clair que les matériaux utilisés peuvent conduire à des comportements différents à tous les niveaux (frais et durci).

Cependant, si ses avantages à l'état frais sont indéniables, le peu de recul sur son comportement à long terme (retrait et fluage) peuvent freiner son choix. Surtout que pour atteindre sa spécificité autoplaçante. [Liu 08][RILEM 07][Turcry 04] le béton autoplaçant possède beaucoup plus de fines qu'un béton vibré et par conséquent plus de pâte. Cette dernière constitue le siège de l'évolution des comportements différés [Chabane 08] [Benboudjema 05]. Les expériences réalisées à travers le monde concernent surtout les sollicitations en compression, celles en traction ou en flexion sont rares [Bissonnette 95][Bažant 08] [Kovler 99] [Li 01][Benkechkache 08].

De nombreuses contradictions entre les résultats obtenus démontrent qu'il est encore difficile de maîtriser de façon précise le comportement différé des BAP [Bouasker 07] [Mazzotti 01].

Les objectifs de notre recherche sont multiples : maîtriser la conception des bétons autoplaçants à base de matériaux locaux à l'état frais comme à l'état durci. Elle consiste à préciser les connaissances relatives à la caractérisation de ce type de béton et prouver notre capacité à étudier son comportement différé expérimentalement en utilisant un dispositif d'essai consistant en un bâti de fluage en flexion mis en place au niveau de notre laboratoire. Nous avons travaillé sur deux types de bétons de résistance différente :

- Une résistance faible, prévue aux alentours de 20 MPa conduisant à l'obtention de bétons classés dans la catégorie « bétons de bâtiment » BAP20.

- Une résistance moyenne, proche de 40 MPa, caractéristique des bétons de type « bétons d'ouvrage » BAP40.

Nous avons étudié les déformations différées de ces bétons autoplaçants en les comparant au comportement de bétons traditionnels vibrés de résistance mécanique équivalente. Les mélanges sont des compositions dites locales car elles utilisent des matériaux locaux de la région de Constantine.

Notre programme expérimental comporte quatre compositions, dont l'une renforcée de fibres métalliques.

## 2. PROGRAMME EXPÉRIMENTAL

### 2.1. Matériaux et compositions

La majorité de nos bétons intègrent des matériaux locaux. Nous étions tributaires des matériaux de base les plus utilisés en Algérie sur les chantiers.

Les constituants utilisés dans les mélanges sont : un ciment de type CPJ 42,5 produit par la cimenterie Hamma Bouziane, avec une surface spécifique de  $3891 \text{ cm}^2/\text{g}$ , un sable 0/5, un gravier 5/15 concassé de la carrière HEDNA de Ain Smara, un filler calcaire UF20 de la carrière ENG Khoub, un superplastifiant Sp40 à base de polyméamine sulfané de Granitex, des fibres métalliques MEDAFAC de Granitex de 5 cm de longueur, et de l'eau de ville.

Nos bétons ont été formulés selon l'approche japonaise. C'est une méthode empirique purement expérimentale, qui consiste d'abord à fixer le dosage de gravier dans le béton et celui du sable dans le mortier, ensuite à procéder à l'optimisation de la pâte de ciment afin de donner au béton les meilleures performances [Okamura 00]. Elle nous a permis de retenir deux compositions de BAP à partir desquelles, ont été formulés le béton vibré et le BAP renforcé de fibres métalliques, en conservant des quantités de ciments et des proportions granulaires identiques.

Le critère de comparaison choisi étant la résistance mécanique en compression, nous avons travaillé sur deux types de béton de résistance différente : une résistance faible de type béton autoplaçant de bâtiment et une résistance moyenne de type béton autoplaçant d'ouvrage.

Le tableau 1 présente les notations qui seront utilisées pour désigner les différents bétons testés.

La quantité d'eau des BAP20 et BV a été ajustée lors des gâchées d'essai afin d'obtenir respectivement un étalement et un affaissement désirés ainsi qu'un aspect homogène (comme préconisé par les recommandations pour un béton autoplaçant). Quant aux BAP40 et BAPFM, nous avons repris la même quantité d'eau que pour le BAP20 afin d'étudier les spécificités apportées par le caractère autoplaçant.

La composition pour un mètre cube de mélange est regroupée dans le tableau 2.

### 2.2. Caractérisation des bétons

#### 2.2.1. À l'état frais

De nombreuses mesures ont été effectuées afin d'appréhender certaines propriétés à l'état frais des bétons.

Pour caractériser le caractère autoplaçant, l'essai d'étalement a été pratiqué. Il s'agit de démouler un cône type DIN de béton frais et de mesurer le diamètre de la galette de béton obtenue. Il faut rappeler qu'est considéré comme autoplaçant un béton qui forme une galette de diamètre supérieur à 60 centimètres.

Signalons que pour la formulation des BV20, c'est le test traditionnel d'affaissement au cône d'Abrams qui s'est substitué à celui d'étalement.

La teneur en air des bétons a été déterminée à l'aide d'un aéromètre (norme NF P 18-353).

Les essais de ségrégation (stabilité au tamis) et de taux de remplissage (essai de la boîte en L) ont été effectués selon les recommandations AFGC-BAP.

Différentes compositions utilisées dans la recherche	
Notations	Désignations
BAP20	Béton autoplaçant de référence avec un rapport filler/liant = 0.33
BAP40	Béton autoplaçant avec un rapport filler/liant = 0.16
BAPFM	BAP20 renforcé de fibres métalliques 0.5% de volume total
BV20	Béton vibré témoin à égale résistance que le BAP20

**Tableau 1. Différentes compositions utilisées dans la recherche.**

Matériaux	La composition des bétons locaux			
	BAP20	BAP40	BAPFM	BV20
Ciment CPJ 42,5 (Kg)	400	500	400	400
Fillers Calcaires UF20(Kg)	200	100	200	0
Sables 0/5 (Kg)	772	772	745	914,35
Gravillon 5/15 (Kg)	762	762	762	850,92
Superplastifiant Sp 40 (Kg)	9,6	10,8	9,6	0
Fibres Métalliques (Kg)	0	0	27	0
Eau Totale (Kg)	211	221	211	228,5
E/L	0,352	0,368	0,352	0,571
G/S	1,01	1,01	0,978	1,074
Volume Pâte	422	428	422	357
Granulats %	57,8	57,2	57,8	64,3

**Tableau 2. Composition des bétons à base de matériaux locaux.**

Le tableau 3 récapitule les résultats obtenus pour l'ensemble de nos gâchées.

Nous pouvons constater que l'ensemble des bétons auto-plaçants respectent le critère d'étalement et sont susceptibles à ce titre d'être des bétons réalistes d'un point de vue industriel.

On observe un étalement de 64 cm pour le BAPFM, ce qui permet de le classer dans les bétons autoplaçants. Toutefois, on constate un ressuage trop important, un temps d'étalement  $t_{50}$  (le temps mesuré en secondes pour atteindre une galette de 50 cm de diamètre) proche des valeurs couramment rencontrées (3 secondes) et on a visualisé un rayon de courbure de la galette trop faible.

On note que plus l'étalement est important et plus le pourcentage d'air occlus est faible. En effet, un grand étalement traduit un béton moins visqueux. Par conséquent, les bulles d'air peuvent se libérer plus facilement lors de la mise en œuvre.

D'après l'étude de quelques propriétés des bétons frais, nous pouvons retenir une diminution de la quantité d'air occlus pour les bétons contenant les fillers calcaires. Cette diminution se traduit par une meilleure compacité des bétons frais [Bensebti 08].

Ceci est très accentué en comparant le BAPFM et le BAP20. Le BAPFM a 1,36 fois plus d'air occlus que le BAP20. L'air serait donc piégé dans le béton frais par les fibres.

On peut donc conclure que :

les caractéristiques intrinsèques (densité, air occlus, résistances mécaniques) sont similaires à celles des bétons usuels.

le béton confectionné à partir des matériaux locaux se révèle stable et satisfaisant.

### 2.2.1. À l'état durci

Les éprouvettes cylindriques et prismatiques sont conservées dans une chambre humide pendant 24 heures. Une fois démoulées, elles subissent une rectification et sont conservées dans l'eau.

Avant chaque essai, les éprouvettes sont pesées pour déterminer la masse volumique apparente afin de vérifier l'homogénéité du béton.

Une série de mesures mécaniques sont faites pour chaque type de béton à différentes échéances :

A 1 jour, au début des mesures de retrait,

A 7 jours, à la mise en charge instantanée et maintenue (statique et fluage)

A 28 jours.

La presse utilisée pour ces essais à une capacité de 2000 kN et la vitesse de chargement est fixée à 5kN/s soit 0,5 MPa/s (conformément à la norme NF P 18-406 et aux recommandations CPC4 de la RILEM).

Le tableau 4 donne les résultats obtenus pour la résistance à la compression et la résistance à la traction par flexion.

Les formulations de chantier visaient des résistances caractéristiques (c'est-à-dire la résistance moyenne moins 15%) à 28 jours de 20 MPa pour la formulation des bétons de bâtiment et de 40 MPa pour la formulation des bétons d'ouvrage. Compte tenu des résistances moyennes obtenues à 28 jours, on peut considérer que l'objectif est largement atteint.

Le calcaire n'est pas strictement inerte du point de vue chimique en présence d'un liant hydraulique puisqu'il conduit à la formation d'hydrates avec les aluminates et les silicates du ciment. Un accroissement significatif des résistances est relevé entre 7 et 28 jours. Le surcroît de résistance peut être attribué au taux de substitution [Attiogbe 02] [Neville 00].

Quand on compare les résultats entre BAP20 et BAP40, on note que les résistances mécaniques finales sont plus élevées pour le BAP40, ce qui s'explique par un dosage en ciment plus fort pour le BAP40 pour un même rapport E/L. Les effets du superplastifiant sont plus marqués lorsque la quantité de ciment est importante.

Le BAPFM a des résistances plus élevées que le BAP20. Cela est logique puisqu'on a incorporé des fibres métalliques [Grünwald 06].

Caractérisation des bétons (à l'état frais)					
Étalement	Notations	BAP20	BAP40	BAP FM	BV20
	Diamètre Moyen (cm)	69	67	64	8
	$t_{50}$ (secondes)	2,5	2,3	3	-
Stabilité au tamis (%)		19	22	21	-
Boite en L		0,89	0,84	-	-
Air occlus (%)		2,5	2,7	3,4	3

**Tableau 3. Caractérisation des bétons à l'état frais.**

Caractérisation classique (à l'état durci)						
Notations	Compression 16x32 cm (MPa)			traction/flexion 7x7x28 cm (MPa)		
	1 jour	7 jours	28 jours	1 jour	7 jours	28 jours
BAP20	4,56	11,68	23,07	1,5	3,60	6,7
BAP40	6,27	19,92	39,10	2,3	4,05	8,3
BAPFM	5,08	16,83	26,53	3,21	5,6	11,9
BV20	4,47	12,3	24,04	2,1	4,3	9,4

**Tableau 4. Caractérisation classique (à l'état durci).**

Enfin, la formulation BAP40 développe des résistances initiales au jeune âge importantes.

## 2.3. Comportement différé

### 2.3.1. Essais de retrait

Les éprouvettes ont été coulées dans des moules à trois alvéoles prismatiques (7x7x28 cm) munies de plots en laiton à leurs extrémités qui serviront à les positionner sur l'appareil de mesure. Trois éprouvettes sont coulées à l'occasion de chaque gâchée qui serviront pour la mesure du retrait total.

Après démoulage, les éprouvettes sont recouvertes de plastique et conservées dans une ambiance à 20° de température et une hygrométrie de 80%. Elles sont par la suite entreposées dans une chambre dont l'ambiance est contrôlée en température ( $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ) et en hygrométrie ( $55 \pm 5\%$ ). Les mesures sont effectuées, suivant un rythme adapté à la cinétique du phénomène observé, sur un rétractomètre digital de précision de  $\pm 0.02$  mm. Le protocole expérimental pour les essais de mesure du retrait total suit les recommandations de la RILEM – TC 107-CSP.

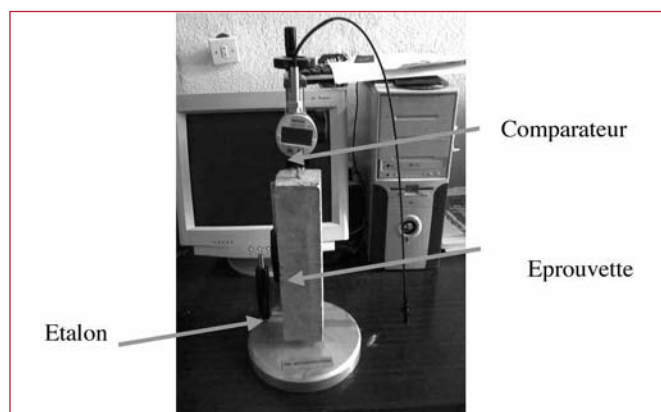


Figure 1. Appareil de mesure du retrait (rétractomètre).

### 2.3.2. Essais sous charge maintenue (fluage)

Des poutrelles ont été coulées dans des moules prismatiques de dimension 10x10x120 cm. Après démoulage,

elles sont entreposées dans la salle de fluage où la température est maintenue à ( $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ), et l'humidité relative à ( $55 \pm 5\%$ ). Des essais sous chargement statique de flexion quatre points permettent de qualifier le niveau de chargement en fluage en fonction de la charge de rupture et sont réalisés avant chaque campagne de fluage. Trois éprouvettes de chaque composition serviront à déterminer la charge de rupture, selon le dispositif de la figure 2.

Trois autres éprouvettes de chaque composition sont installées sur des bâtis de fluage pour chaque taux de chargement, comme montré sur la figure 3. La charge appliquée sur les bâtis de chaque mélange est déterminée par la valeur moyenne de la charge de rupture sous sollicitation statique de flexion pure à 7 jours. Trois taux de charge de 0 %, 25 % et 45 % de cette valeur sont appliqués. Chaque bâti est indépendant et peut donc recevoir une charge différente. L'ensemble des bâtis de fluage mis au point au laboratoire permet de solliciter en même temps 15 poutrelles.

## 3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

L'analyse des résultats du comportement différé est présentée en deux parties.

Dans la première partie les résultats de variations dimensionnelles sous l'effet du retrait libre sont exposés et discutés.

La seconde partie est consacrée à l'analyse des résultats expérimentaux des essais sous charge maintenue de fluage.

### 3.1. Retrait total

Le retrait total cumule le retrait endogène et le retrait de dessiccation.

L'observation des courbes montre que les quatre bétons ont à peu près le même retrait total qui est de l'ordre de 500  $\mu\text{m/m}$ . Le tableau 5 suivant récapitule les valeurs extrêmes.

Pour le retrait total, selon les résultats de travaux antérieurs de la littérature, les valeurs étaient de l'ordre de 350 à 550  $\mu\text{m/m}$  [Cusson 08], ce qui cadre bien avec nos résultats (plage de variation de 30 à 50  $\mu\text{m/m}$ ).

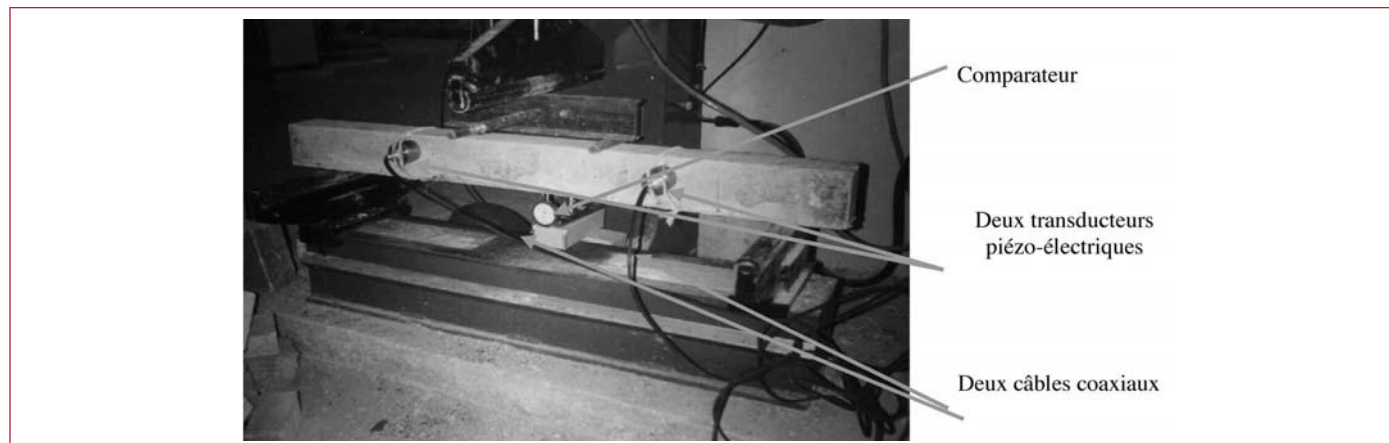


Figure 2. Dispositif pour les mesures de la charge de rupture [Chabane 08].



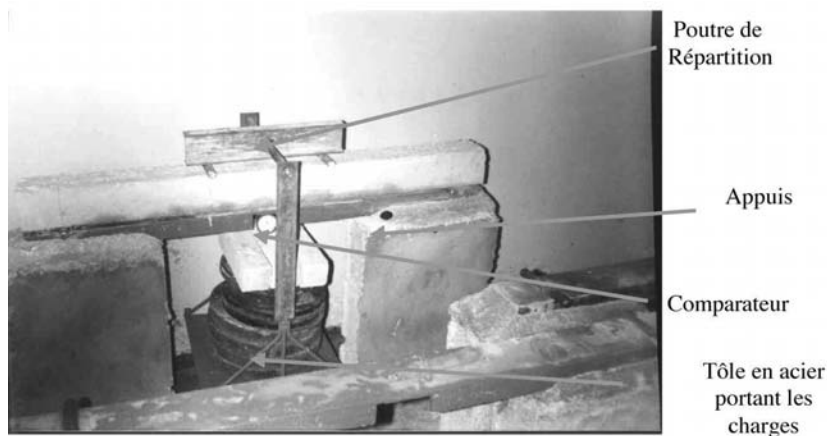


Figure 3. Dispositif d'essai de flexion quatre points (bâti de fluage) [Chabane 08].

Retrait (variations dimensionnelles) à 90 jours				
Notation	BAP20	BAP40	BAPFM	BV20
Retrait ( $\mu\text{m/m}$ )	448	580	443	406

Tableau 5. Retrait total (variations dimensionnelles).

Dans un premier temps, la déformation de retrait paraît rapide et importante (la cinétique est plus forte au jeune âge pour le BAP40 par rapport au BAP20) du fait du très fort gradient d'humidité qui existe entre le matériau testé et le milieu extérieur (en particulier pour les éprouvettes conservées à l'air libre où ce gradient est très important). Mais par la suite, le séchage étant un processus diffusionnel, sa cinétique devient beaucoup plus lente.

Sur la figure 4, on remarque que le BAP20 contenant plus de fillers présente moins de retrait. Le filler calcaire peut avoir un effet positif en limitant le retrait de séchage des BAP, s'il est utilisé avec une finesse et en proportion adéquates [Turcry 04].

La comparaison du retrait total des deux classes de béton BAP20 et BAP40 indique qu'il y a une différence notable (environ 100 à 130  $\mu\text{m/m}$ )

Ces déformations semblent s'être stabilisées à 90 jours et sont légèrement supérieures à celles trouvées dans la litté-

rature (580  $\mu\text{m/m}$  contre 550  $\mu\text{m/m}$ ) [Roziere 07]. Ceci peut être dû à l'utilisation des matériaux locaux.

La présence moins importante d'eau de ressuage pour les BAP20, en comparaison aux BV (figure 5), entraîne un séchage plus rapide de la surface supérieure des échantillons testés. Pour cet essai, cette perte d'eau supérieure peut se traduire directement par une contraction plus importante de l'élément en question.

Le retrait total du BAP est plus élevé que celui du béton traditionnel d'égale résistance. L'ordre de grandeur de cette déformation est aux alentours de 450  $\mu\text{m/m}$ . Ainsi, pour les bétons d'ouvrage, les résultats obtenus montrent que le retrait total des BAP semble, à priori, plus important que celui des bétons vibrés.

Cependant, si on compare les retraits du BAP20 et du BAPRFM (figure 6), l'introduction de fibres métalliques au taux de 0,5% du volume de béton n'a pas d'effet significatif sur le comportement du béton vis-à-vis du retrait total.

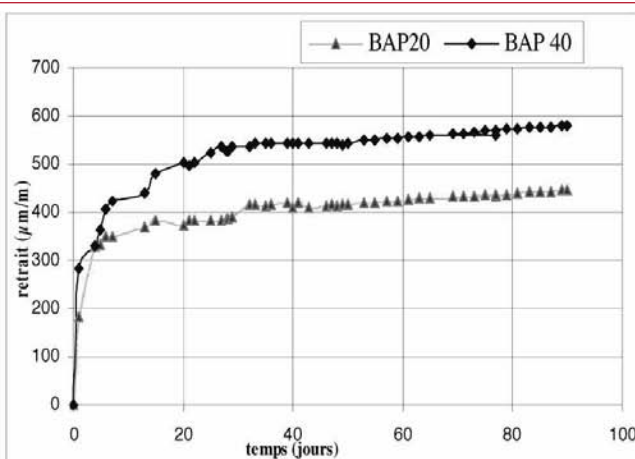


Figure 4. Evolution de retrait (Influence de la résistance).

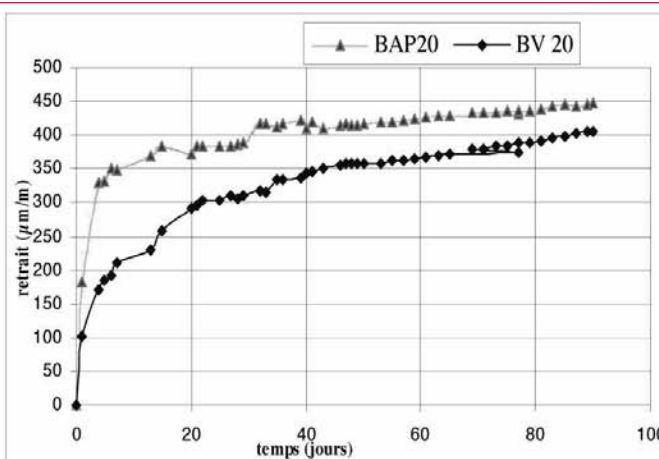


Figure 5. Evolution de retrait (Influence de la nature du béton).

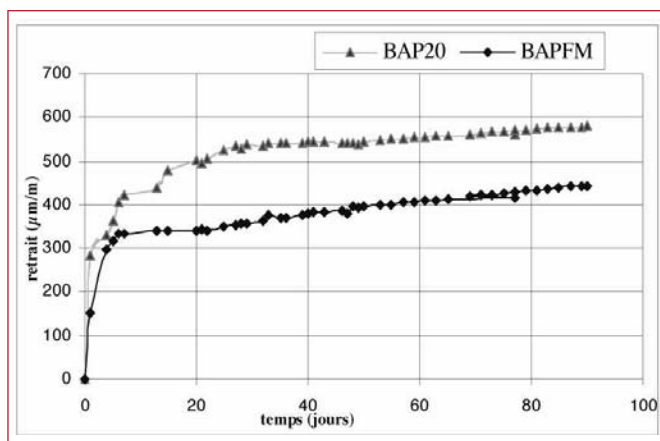


Figure 6. Influence de l'introduction des fibres métalliques.

Les granulats doivent avoir une influence, partant du principe que les granulats sont moins déformables que la matrice, il est évident que l'augmentation de la fraction granulaire dans l'échantillon diminue le retrait. De même une plus forte teneur en pâte augmente le retrait.

### 3.2. Fluage total

Les évolutions des différentes déformations sous charge sont présentées dans cette partie. Les essais relatifs à ces déformations sous charge de flexion quatre points sont effectués sur 3 poutrelles pour chaque formulation et pour chaque taux de chargement. La charge appliquée sur les poutrelles représente à chaque fois un échelon de chargement identique. Ce taux est fixé à 0%, 25% et 45 % de la charge statique de rupture au moment du chargement soit à 7 jours pour toutes nos compositions. Les résultats sont présentés dans le tableau 6.

La caractéristique obtenue par l'essai statique (charge de rupture), donne des indications sur l'endommagement du matériau sous sollicitation mécanique. Elle est utilisée comme référence pour définir des seuils d'endommagement. Il est important de noter que les meilleures performances à la rupture sont obtenues avec les bétons autoplaçants renforcés de fibres métalliques.

Le tableau 7 récapitule les valeurs extrêmes (à 90 jours) des essais de fluage sous différents taux de chargement. La flèche totale cumule la flèche instantanée et la flèche différée.

Le béton ordinaire vibré présente le plus faible rapport entre la flèche de fluage et la flèche instantanée par rapport aux bétons autoplaçants quel que soit le taux de chargement (respectivement 2,5 et 4).

Pour le fluage total, selon les résultats des travaux antérieurs de la littérature, les valeurs étaient de l'ordre de 1050 à 1800 μm [Acker 03], ce qui cadre bien avec nos résultats (plage de variation de 460 à 870 μm).

On constate également que les différences de fluage entre le BAP20 et BAP40 sont faibles aussi bien en cinétique qu'en amplitude comme illustré sur la figure 7.

L'influence du caractère autoplaçant s'évalue en comparant les comportements des bétons autoplaçants bâtiment et ouvrage pour un taux de chargement faible (25%). Les comportements sont identiques. L'écart observé, de l'ordre de 18%, ne permet pas de prétendre que le BAP20 subit plus de déformation que le BAP40. Ces différences d'évolution sont peut être dues à la résistance légèrement plus importante du BAP40.

Par contre au sein d'un même taux de chargement moyen qui correspond à 45% de la charge de rupture, les différents résultats indiquent clairement qu'en terme d'amplitude et de cinétique le fluage de béton de bâtiment peut être considéré comme équivalent à celui de béton d'ouvrage, (quantité de F+C= constante).

Les déformations de fluage totales pour les deux classes de béton (bâtiment et d'ouvrage) présentent au moins le triple des déformations instantanées, en cohérence avec les résultats d'Acker [Acker 03]. Cette constatation montre l'importance des déformations différées par rapport aux déformations instantanées (figure 8).

La présence d'addition minérale dans les BAP conduit ceux-ci à posséder des pores plus fins que ceux des bétons vibrés. En effet, la pression capillaire étant inversement proportionnelle au rayon des pores, celle-ci est d'autant

Résultats des essais statiques				
Charge de rupture	BAP20	BAP40	BAPFM	BV20
$F_{R7}$ (KN)	3,8	4,8	5	4,4

Tableau 6. Résultats des essais statiques.

Résultats des essais de fluage (à 90 jours)						
Notations	Flèche instantanée (μm)			Flèche totale (μm)		
	0%	25%	45%	0%	25%	45%
BAP20	0	113	180	21	472	741
BV20	0	113	156	10	278	459
BAP40	0	129	223	-38	401	809
BAPFM	0	112	200	10	493	921

Tableau 7. Résultats des essais de fluage.

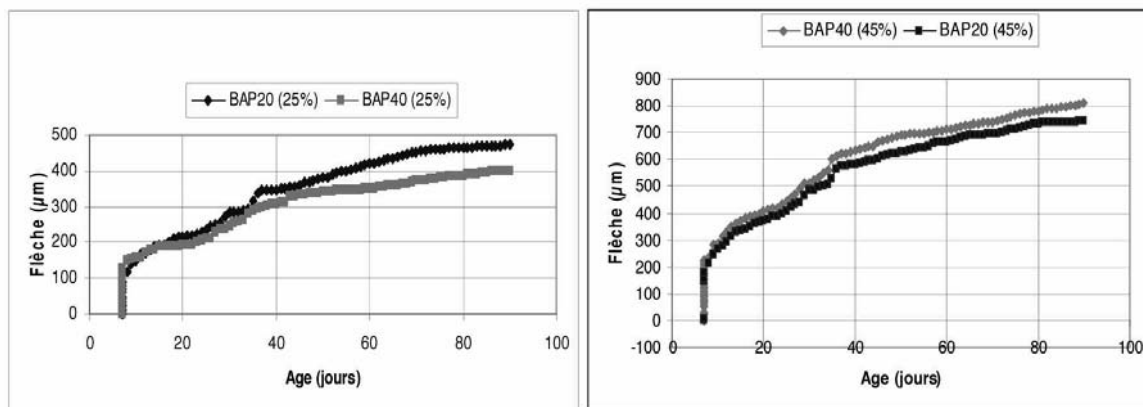


Figure 7. Evolution de fluage total (Influence de la résistance mécanique).

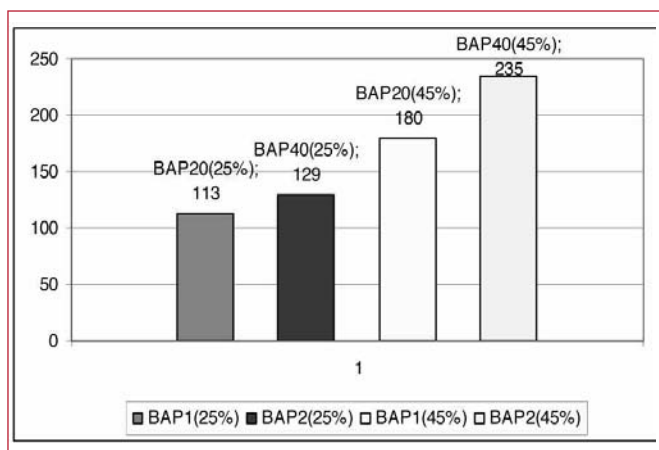


Figure 8. Evolution des déformations instantanées.

plus forte dans les BAP, ce qui doit engendrer un fluage plus important dans ces bétons, par comparaison aux bétons vibrés correspondants (pour les deux taux de chargement 25 et 45% de la charge de rupture), (figure 9).

L'observation de la figure 10 permet d'analyser l'influence de l'introduction des fibres métalliques et du caractère autoplçant du béton. En ce qui concerne l'influence des fibres métalliques, la comparaison de la for-

mulation BAP (sans fibres) et du BAPFM (avec fibres) montre que l'introduction de fibres métalliques semble augmenter les déformations sous charge. On peut émettre l'hypothèse que les fibres peuvent créer un chemin préférentiel pour le départ de l'eau.

Les flèches de « retrait-fluage » obtenues expérimentalement sous poids propre sont présentées figure 11. Une flèche est observée au lieu d'une contre flèche pour le BAP40, car le poids propre représente en réalité un taux de chargement variant de 4 à 9 %. Ce qui est notable, c'est le fait que la partie tendue a plus de « retrait-fluage » que la partie comprimée, ce qui induit une contre flèche, et non une flèche. Une explication pourrait être que sur la fibre la plus tendue par le poids propre se superposent les contraintes de traction provoquées par le retrait et celles dues à la sollicitation mécanique, favorisant ainsi l'ouverture de fissures de peau. Grâce à celles-ci une dessiccation locale plus importante peut se développer dans cette zone augmentant ainsi le retrait sur cette fibre. Ce constat n'est pas pris en compte en général par les expérimentateurs. Pour des taux de chargements supérieur à 45%, (charges assez proches de la charge de rupture) on observe un fluage instable qui conduit plus au moins rapidement à la rupture.

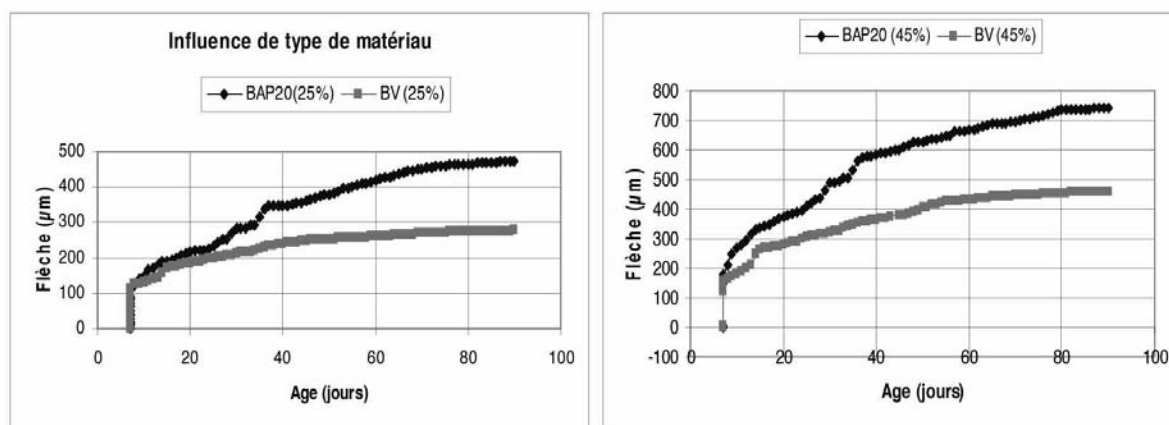


Figure 9. Fluage total. (Influence de la nature du béton).

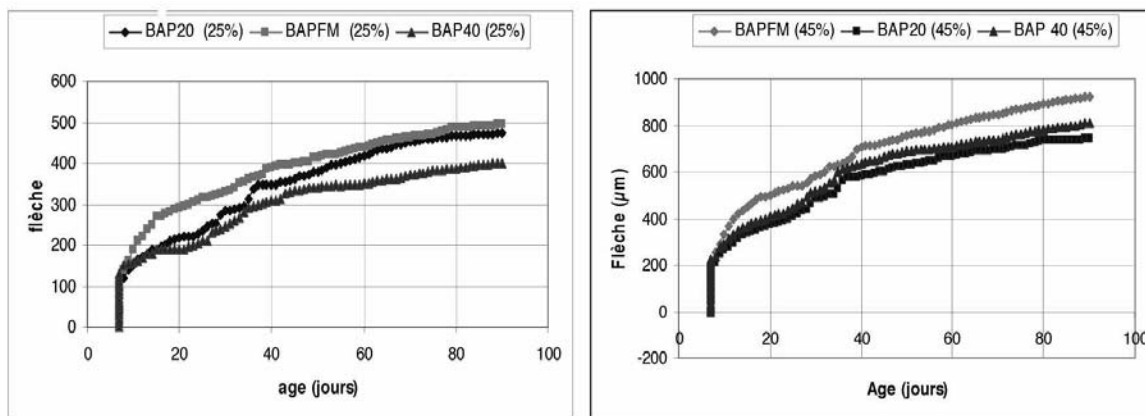


Figure 10. Fluage total. (Influence de l'introduction de fibres métalliques).

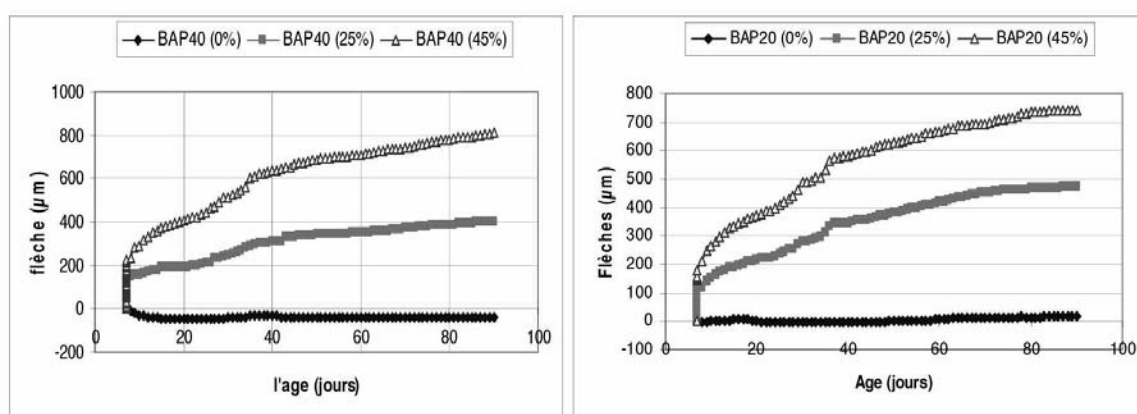


Figure 11. Evolution de fluage total (influence de taux de chargement).

## 4. CONCLUSION

Cet article avait pour but d'appréhender les déformations de retrait et de fluage d'un nouveau type de béton dont le développement industriel connaît actuellement un grand essor. Les bétons BAP et BV de l'étude ont été composés pour se positionner dans la même plage de résistance mécanique. Cet objectif a été atteint. La comparaison entre les formulations traditionnelle et autoplaçante semble montrer que les bétons autoplaçants devraient être plus attractifs dans un avenir proche.

Une première remarque peut être faite sur les performances obtenues par les bétons autoplaçants. Au vu des exigences requises pour l'élaboration d'un tel type de béton, il est visible que l'on obtient des bétons très acceptables en termes de performances mécaniques.

En ce qui concerne les variations dimensionnelles différées, on a pu remarquer une légère augmentation des retraits totaux des bétons autoplaçants par rapport au béton vibré d'égale résistance. Les déformations obtenues sont similaires à celles trouvées dans la bibliographie. On remarque aussi que l'influence générale de la résistance mécanique ne suit pas les évolutions usuellement observées : une augmentation de la résistance mécanique induit une augmentation du retrait total pour les bétons autoplaçants.

Concernant le fluage, les éléments issus de la littérature pouvant servir de comparaison avec nos résultats sont rares. Cependant on s'attendait à avoir une augmentation importante de déformations différées des BAP en raison du volume de pâte plus important, et on n'observe que des modifications minimales.

L'augmentation du volume de pâte, liée à l'ajout de fillers, conduit à des déformations différées plus importantes pour les BAP en comparaison des BV. On en conclut que le béton autoplaçant a de réponse particulière vis à vis du fluage. Cependant, il ne faut pas non plus occulter que ces comportements différés sont aussi liés aux caractéristiques mécaniques (qui elles mêmes dépendent de la nature et du dosage des différents composants).

Cette étude permet d'apporter quelques points de comparaison entre ces nouveaux bétons et les bétons traditionnels en termes de retrait et de déformation sous charge maintenue.

## 5. RÉFÉRENCES

- [Acker 03]. « Les origines du retrait et du fluage du béton », Revue française de génie civil, volume 7, pp. 761-776. 2003.
- [Attiogbe 02], See H.T. and Daczko J.A, "Engineering properties of self-consolidating concrete", First North



- American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, ACBM center, pp. 371-376, 12-13 novembre 2002.
- [Bažant 08], Li G.-H., "Comprehensive Database on Concrete Creep and Shrinkage", Structural Engineering Report No. 08-3/A210c, 2008.
- [Benboudjema 05], Meftah F, Torrenti JM. « Interaction between drying, shrinkage, creep and cracking phenomena in concrete » *Eng Struct*; 27(2):239–50. 2005.
- [Benkechache 08]. Boukni B and Houari H, « Behaviour of the reinforced metal fibre concretes under request of pure inflection » *The First International Engineering Sciences Conference-IESC'2008 Aleppo SYRIA* November 2 – 4, 2008, p6.
- [Bensebti 08], Houari H. and Aggoun S, « Formulation et propriétés des bétons autoplaçants à base des matériaux locaux », Thèse de doctorat en sciences de l'Université de Constantine 2008.
- [Bissonnette 95], Pigeon M., "Tensile creep at early ages of ordinary silica fume and fiber reinforced concretes", *Cement and Concrete Research*, vol. 25, n°5, p.1075-1085, 1995
- [Bouasker 07], « Etude numérique et expérimentale du retrait endogène au très jeune âge des pâtes de ciment avec et sans inclusions », thèse de doctorat, Université de Nantes, 2007.
- [Chabane 08], and Houari, H « Contribution à l'étude du comportement différé des bétons sous sollicitation de flexion – Influence du type de granulats ». Thèse de doctorat de l'Université de Constantine. 2008.
- [Cusson 08], Hoogeveen T « Internal curing of high-performance concrete with pre-soaked fine lightweight aggregate for prevention of autogenous shrinkage cracking » *Cement and Concrete Research ELSEVIER* 38 757–765.2008.
- [Grünewald 06]. and Walraven, J.C, "Self-compacting fibre-reinforced concrete", *Heron* 46 (3) 2006.
- [Liu 08 ], Ye. De Schutter. G, Yuan .Y, and Taerwe. "On the mechanism of polypropylene fibres in preventing spalling in self compacting and high performance cement paste". *Cement And Concrete Research*, Vol.38 : 487- 499,2008
- [Li 01]., Yao Y., "A study on creep and drying shrinkage of high performance concrete", *Cement and Concrete Research*, vol.31, p. 1203-1206, 2001.
- [Mazzotti 01]., Savoia M., "Experimental study of non-linear creep of concrete at high stress level", F.-J. Ulm, Z.P. Bažant and F.H. Witmann (Eds.), "Creep, Shrinkage and Durability Mechanics of concrete and other Quasi-Brittle Materials", Elsevier, Cambridge, p. 259-264, 2001.
- [Neville 00]. *Properties of concrete*. Eyrolles Editions; 2000.
- [Okamura 00], K. Ozawa, and M. Ouchi. «Self-compacting concrete». *Structural Concrete*, (1) :3-17, March 2000
- [Kovler 99]. Igarashi S., Bentur A., "Tensile Creep behaviour of high strength concretes at early ages", *Materials and structures* vol. 32, p383-387, juin 1999.
- [RILEM 07], "Durability of self compacting concrete". RILEM, Report 38: 185 pages, 2007
- [RILEM 98] Recommendations RILEM TC 107-CSP, "Measurement of time-dependent strains of concrete", *Materials and Structures*, Vol. 31, pp. 507-512, Oct. 1998.
- [Roziere 07], Granger S., Turcry Ph., Loukili A « Influence of paste volume on shrinkage cracking and fracture properties of self-compacting concrete » *Cement & Concrete*
- [Turcry 04], « Retrait et fissuration des bétons autoplaçants – Influence de la formulation », thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes et Université de Nantes, 2004