

INFLUENCE DU TYPE DE GRANULATS SUR LE FLUAGE DU BETON

Reçu le 23/12/2006 – Accepté le 31/03/2008

Résumé

Il existe à l'heure actuelle, un manque de données expérimentales, pour traduire par modèle, le comportement différé du béton. Pour obtenir ces données, il convient d'effectuer un grand nombre d'essais.

L'information que nous cherchons, dans le cadre de cette étude du fluage en flexion de poutres en béton, est d'apporter d'une part des explications sur le comportement observé, d'autre part, de montrer l'influence du type de granulats, en se basant sur l'analyse des flèches mesurées. Cette recherche du comportement différé du béton, a permis de tester six compositions différentes ayant la même maniabilité et utilisant deux types de granulats. Une caractérisation préliminaire du comportement mécanique sous chargement monotone a été réalisée pour la détermination :

- de la charge et la flèche de rupture,
- de la charge et la flèche de première fissuration.

Le comportement en fonction du temps est étudié expérimentalement sous différentes charges de flexion. Les essais ont été systématiquement effectués à l'âge de 7 jours à 20 ± 2 °C avec $HR = 55 \pm 5$ %. La durée de chargement est supérieure à 60 jours pour la plupart des essais. Notons que dans cette étude, il n'y a pas de séparation entre le fluage propre et le fluage de dessiccation, et une évaluation des performances à moyen et long terme est présentée pour différents types de béton.

Un résultat important se dégage : Le fait de choisir la résistance de première fissuration comme référence au lieu de la résistance ultime, fait augmenter légèrement les performances. De plus, le classement relatif des matériaux de différents granulats est modifié, car les résistances de première fissuration et ultime sont très proches pour certains et très distinctes pour d'autres.

Mots clés : Fluage, comportement différé, paramètres, essais, fissuration, module d'élasticité, caractérisation.

Abstract

There is, at the present time, a lack of experimental data, to translate by model, the differed behaviour of concrete. To get this data, we must do a big number of tests.

The information we are looking for in this study of creep of concrete beams subjected to bending is to bring explanations for the observed behaviour and to show the influence of the aggregates type, while being based on the analysis of the measured deflections. This research of the differed behaviour of concrete has permitted to test six different compositions with the same workability and using two types of aggregates. A preliminary characterization of the mechanical behaviour under monotonous loading has been achieved for the determination of the composition :

- failure load and deflection,
- first cracking load and deflection.

The behaviour as a function of time is studied experimentally under different bending loads at the age of 7 days under 20 ± 2 °C with $RH=55 \pm 5$ %. The duration of loading is superior to 60 days for most tests. We note that in this study, there is no separation between the basic creep and the drying creep, and an evaluation of performances in means and long term was been presented for different types of concrete.

An important result emerges : Choosing the resistance of first cracking as a reference, instead of the ultimate resistance, increases performances slightly. Besides, the relative ordering of different granulates materials is modified, because strengths of first cracking and ultimate are very near for some and very distinct for others.

Keywords : Creep, differed behaviour, parameters, tests, cracking, elasticity modulus, characterization.

A. CHABANE¹
H. HOUARI²

¹Département de Génie Civil
Centre Universitaire Larbi Ben
M'hidi Oum El Bouaghi
Algérie

²Laboratoire Matériaux et
Durabilité des Constructions
Université Mentouri
Constantine -Algérie

ملخص

يوجد في الوقت الحالي نقص في المعطيات التجريبية لترجمة عن طريق نموذج السلوك المؤجل للخرسانة. للحصول على هذه المعطيات، من الملائم إجراء عدد هام من التجارب.

المعلومة الجاري البحث عنها في إطار هذه الدراسة لزحف عارضة تحت تأثير الانحناء، هو الإتيان بشروح للسلوك الملاحظ من جهة، و إظهار تأثير نوع الركام من جهة أخرى وذلك اعتمادا على تحليل الانحرافات المقاسة. هذا البحث في السلوك المؤجل للخرسانة سمح باختبار ستة تركيبات مختلفة لها نفس قابلية التشغيل و باستخدام نوعين من الركام. تم إجراء تصنيف أولي للسلوك الميكانيكي تحت حمولة ثابتة بغية تحديد ما يلي :

- حمولة و انحراف الانكسار.
- حمولة و انحراف بداية الانشقاق.

لقد تم دراسة السلوك بدلالة الزمن تجريبيا تحت حمولات انحناء مختلفة. كل التجارب أجريت عند اليوم السابع من عمر الخرسانة و تحت درجة حرارة 20 ± 2 °C مع رطوبة نسبية مقدارها 55 ± 5 %. مدة التحميل تفوق 60 يوما لمعظم التجارب. يجدر الذكر بأنه خلال هذه الدراسة لم يفصل بين الزحف الأساسي و الزحف بالتجفيف لكننا قمنا بتقديم تقييم لفعاليات أنواع مختلفة من الخرسانة على المدى المتوسط و المدى الطويل.

يجب هنا تسجيل نتيجة هامة : إن اختيار مقاومة بداية الانشقاق كمرجع في مكان المقاومة النهائية يرفع قليلا في الفعاليات إضافة إلى أن الترتيب النسبي للمواد بمختلف الركام يتغير لأن مقاومة بداية الانشقاق و المقاومة النهائية متقاربتين من أجل البعض و متميزة من أجل البعض الآخر....

الكلمات المفتاحية: زحف، سلوك مؤجل، وسائط، تجارب، إنشقاق، معامل المرونة، تصنيف.

Le fluage est un phénomène très complexe, il consiste en une augmentation graduelle de la déformation sous l'application d'une contrainte constante. Pour le béton, matériau en continuelle évolution, le fluage dépend d'un grand nombre de facteurs estimés, selon quelques auteurs, de plusieurs dizaines [12] [16] [17]. Certains chercheurs attribuent ce phénomène au déplacement des couches de molécules d'eau entre feuillettes du CSH sous l'effet des contraintes appliquées [13]. D'autres estiment que le fluage est dû au mouvement de ces feuillettes ou lamelles [2]. Une interprétation plus réaliste met en jeu aussi bien le mouvement des molécules d'eau que le glissement des particules solides (lamelles ou feuillettes) simultanément, car le CSH et l'eau forment une structure solidaire [1].

L'existence d'une diversité de granulats nous a conduit à mener une étude de fluage en flexion "quatre points", de poutrelles en béton et mortier. En tout, six mélanges différents ont été testés utilisant une même composition de base (à maniabilité constante).

L'objectif visé par cette étude est multiple :

- Mise en place d'un dispositif d'essai (bâti de fluage) en analysant expérimentalement non seulement l'influence de la méthode de mesure de la flèche sur nos essais de fluage en flexion, mais aussi en étudiant la répétabilité des mesures.
- Fournir des informations sur les caractéristiques de fluage de bétons et mortiers.
- Fournir des informations sur l'influence de certains paramètres tels que la nature des granulats et le taux de chargement. Ces paramètres seront étudiés séparément tandis que les autres variables sont maintenues fixes.

1. PRESENTATION DU PROGRAMME EXPERIMENTAL

Nous envisageons, dans cette recherche, d'analyser l'influence des granulats les plus utilisés sur le comportement différé de six mélanges différents de béton et mortier.

Nous ferons varier le type de granulats (tableau 1). La lettre B ou M désigne respectivement le béton ou mortier, suivie de la lettre C ou R désignant le type du granulats utilisé (concassé ou roulé) et le terme CR désigne un mélange de granulats (concassé et roulé).

Les premiers essais réalisés concernent l'identification et la caractérisation des différents constituants, rentrant dans la composition de nos mélanges. Les tableaux 2, 3 et 4, présentent les résultats de nos propres essais sur les différents granulats utilisés.

Tableau 1 : Différentes compositions utilisées dans ce travail

N° D'ordre	Notations	Les différentes compositions
01	BC	Béton à base de granulats Concassés.
02	BR	Béton à base de granulats Roulés (gravier roulé et sable de mer).
03	BCR	Béton à base de gravier Concassés et sable de mer.
04	MC	Mortier à base de sable de carrière
05	MR	Mortier à base de sable de mer.
06	MCR	Mortier à base de sable de carrière et sable de mer.

Tableau 2 : Caractéristiques physiques des granulats utilisés

Propriétés mesurées	Granulats calcaires concassés				Granulats roulés	
	0/3	3/8	8/15	15/25	Sable de mer	Gravier d'oued
Masse volumique absolue	2,76	2,62	2,63	2,64	2,75	2,79
Masse volumique apparente	1,44	1,36	1,35	1,34	1,42	1,43
Equivalent de sable (%)	78,67	/	/	/	95	/
Valeur au bleu de méthylène	0,39	/	/	/	0,20	0,3
Coefficient d'absorption	1,1	1,22	1,35	1,41	0,51	0,1

Tableau 3 : Caractéristiques mécaniques des granulats utilisés

Propriétés mesurées	Granulats calcaires concassés			Granulats roulés
	3/8	8/15	15/25	Gravier d'oued
LA (Los Angeles)	20	23	22	14
FD (Fragmentation dynamique)	19	18	21	13
MD (Micro Deval)	16	17	17	/

La composition de base pour nos bétons (tableau 5) est déterminée à partir de la méthode Dreux-Gorisse. Leurs dosages en ciment CPJ-CEM II/A 42.5 de Hamma Bouziane ont été pris égal à 350 Kg/m³. Ensuite, on a choisit un rapport C/E = 0.6 à partir d'un abaque permettant d'évaluer approximativement le

dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'affaissement au cône désiré.

Tableau 4 : Caractéristiques chimiques des granulats utilisés

Propriétés mesurées	Granulats calcaires concassés	Granulats roulés
Insoluble %	1,90	1,43
Sulfates %	Traces	Traces
Carbonates %	89	68,52
Chlorure %	0,29	/

Tableau 5 : Composition des bétons étudiés

BC		BR		BCR	
Composant	Dosage (kg)	Composant	Dosage (kg)	Composant	Dosage (kg)
Ciment	350	Ciment	350	Ciment	350
Eau	227,5	Eau	259	Eau	227,5
Sable 0/3	713	Sable de mer	577	Sable de mer	205,4
G1 : 3/8	137	Gravier	1365	Sable 0/3	398,7
G2 : 8/15	245	E/C = 0,74		G2 : 8/15	1208
G3 : 15/25	757			E/C = 0,65	
E/C = 0,65					

L'eau de gâchage calculée est ajustée à partir de quelques gâchées d'essai ce qui a conduit à augmenter sa quantité d'où les rapports E/C exposés dans le tableau 5. Pour le béton BCR composé de deux sables (sable de mer et sable de carrière 0/3), on a appliqué la formule d'Abrams pour déterminer le pourcentage relatif à chaque type de sable, tout en choisissant un module de finesse $M_f = 2,5$.

En ce qui concerne les mortiers, nous avons choisi pour notre étude ceux conçus spécialement pour les travaux de réparation et de la reconstitution des bétons de surface et cela pour pouvoir comparer leurs résultats avec ceux des bétons utilisés. Le dosage minimum requis pour ce type de mortiers est de 450 Kg/m^3 . On a choisi un dosage en ciment de 600 Kg/m^3 .

Tableau 7 : Résultats des essais de caractérisation classique des mélanges

Etat du mélange		Frais			Durci			
Type de mélange	E/C	Densité	Air Occlus (%)	Affaissement (cm)	Résistance à la compression		Résistance à la traction/flexion	
					RC 7 jours (MPa)	RC 28 jours (MPa)	Rt 7 jours (MPa)	Rt 28 jours (MPa)
BC	0,65	2,44	1,6	8	12,37	22,5	0,87	1,71
BR	0,74	2,33	2,6	7	12,60	18,00	0,90	1,29
BCR	0,65	2,44	1,1	8	11,67	21,07	1,13	1,57
MC	0,45	2,21	3,9	7	13,75	25,00	1,21	2,01
MR	0,55	1,98	6	6	12,57	20,59	1,08	1,63
MCR	0,44	2,23	3,6	7	16,54	28,07	1,27	1,90

La composition de base des mortiers est obtenu à partir de la formule de Feret, en considérant que le volume total du ciment, d'eau et du sable est de 1 m^3 . On choisi un rapport moyen C/E et on détermine par la suite le volume de sable nécessaire et à l'aide de gâchées d'essai, on détermine la quantité d'eau donnant un affaissement au cône d'Abrams équivalent à celui des bétons (entre 5 et 9 cm).

L'absence de gravier dans les mortiers nous a permis d'obtenir cette maniabilité avec une quantité d'eau inférieure à celle utilisée pour la confection des bétons. La composition des mortiers est résumée dans le tableau 6.

A partir des deux tableaux (5 et 6) on peut voir la cohérence entre la demande en eau des bétons et des mortiers confectionnés avec les différents types de granulats.

Ensuite, viennent les essais classiques de caractérisation des mélanges à l'état frais (densité, affaissement et air occlus) et durci à 7 et 28 jours (résistance à la compression sur cylindres $16 \times 32 \text{ cm}$ et à la traction/flexion sur prismes $7 \times 7 \times 28 \text{ cm}$).

Tableau 6 : Composition des mortiers étudiés

BC		BR		BCR	
Composant	Dosage (kg)	Composant	Dosage (kg)	Composant	Dosage (kg)
Ciment	600	Ciment	600	Ciment	600
Eau	270	Eau	330	Eau	264
Sable 0/3	1315	Sable de mer	1310,2	Sable de mer	445,5
E/C = 0,45		E/C = 0,55		Sable 0/3	867,9
				E/C = 0,44	

Nous présentons dans ce qui suit, les résultats des essais de caractérisation des mélanges à l'état frais et à l'état durci (tableau 7). Avant de réaliser les essais de fluage projetés, il fallait caractériser les poutrelles testées à partir des essais statiques monotones (sous sollicitation de flexion quatre points).

Le tableau 8 définit le nombre d'éprouvettes pour chaque série d'essais de caractérisation sous sollicitation statique et de fluage sous sollicitation maintenue. Les résultats d'essais statiques monotones en flexion "quatre points" sont présentés dans le tableau 9.

Tableau 8 : Essais sur poutrelles (10×10×120 cm)

Types d'essais				Essais sous charge statique (Caractérisation)	Essais sous charge maintenue (fluage)
Nombre de mélanges	Nombre d'éprouvettes	Conservation (T °C, HR %)	Age du mélange testé	Mesures effectuées	Taux de chargement
6	3	20 ± 2 °C, 55 ± 5 %	7 jours	Charge de rupture (F_{R7})	0 % de la charge de rupture (témoins)
6	3	20 ± 2 °C, 55 ± 5 %	7 jours	Charge de première fissuration (F_{f7})	25 % de la charge de rupture
6	3	20 ± 2 °C, 55 ± 5 %	7 jours	Flèche de rupture (f_{R7})	55 % de la charge de rupture
6	3	20 ± 2 °C, 55 ± 5 %	7 jours	Flèche de première fissuration (f_{f7})	70 % de la charge de rupture
6	3	20 ± 2 °C, 55 ± 5 %	7 jours	Module d'élasticité (E_7)	Charge constante = 0.5 KN

Tableau 9 : Résultats des essais de caractérisation des poutrelles (10×10×120 cm) en flexion quatre points

Type de mélange	F_{R7} (KN)	f_{R7} (µm)	F_{f7} (KN)	f_{f7} (µm)	E_7 (MPa)
BC	2,87	300	1,30	125	21466,67
BR	1,90	310	1,00	155	19488,89
BCR	2,55	280	2,20	180	24488,89
MC	3,56	360	1,35	130	21333,33
MR	2,60	200	1,25	150	18888,89
MCR	3,00	320	1,75	170	20444,44

Après cette caractérisation on peut donner quelques remarques :

- Le mélange MC, présente la plus grande résistance en flexion quatre points par rapport aux autres mortiers, et en même temps une grande aptitude à se déformer (grandes flèches);
- Pour les bétons, le mélange BCR l'emporte du point de vue résistance ;
- Les mélanges à base de granulats mixtes (concassés et roulés), donnent le plus grand seuil d'élasticité.
- On constate une variation comprise entre 2 % et 26 % entre les modules d'élasticité des différents mélanges. Donc, ce module expérimental est influencé par le type de granulats.

- Pour les granulats roulés, les seuils repérés F_{F7} et F_{R7} sont très proches l'un de l'autre [MR et BR], tandis que pour les granulats calcaires issus de concassage, ils sont éloignés [MC- BC- MCR et BCR]. Cela peut être dû à une différence de comportement entre les deux interfaces pates-granulats.

- Donc les granulats issus de concassage donnent les meilleurs résultats, sans toutefois marquer un avantage important par rapport aux roulés.

A propos des flèches de rupture, et concernant les mortiers qui peuvent être considérées comme des bétons non chargés (pas de gravier), on remarque que les mélanges à base de granulats roulés subissent les flèches les plus faibles correspondant aux charges de rupture. Par contre, les bétons de même types subissent les flèches les plus élevées, et cela est dû peut être à l'adhérence de l'interface matrice – gros granulats.

2. ESSAIS DE FLUAGE

2.1. Dispositif d'essai (Bâti de fluage)

La sollicitation la plus fréquente dans les ouvrages en béton « armé ou précontraint » est la flexion. Cette dernière, peut causer dans n'importe quel point d'un élément de structure des contraintes normales et des contraintes de cisaillement, dues dans tous les cas, à l'existence d'un moment fléchissant et d'un effort tranchant.

Les contraintes de cisaillement peuvent provoquer un gauchissement des sections, ce qui peut affecter l'hypothèse des sections planes. C'est pour cette raison qu'on a voulu suivre un essai en flexion pure, donc on a essayé de réfléchir sur la manière de le réaliser, étant donné que les essais de fluage se font

pour une sollicitation permanente. Le schéma statique de notre étude est montré sur la figure 1.

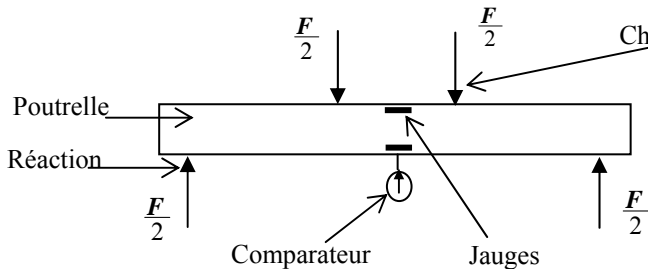
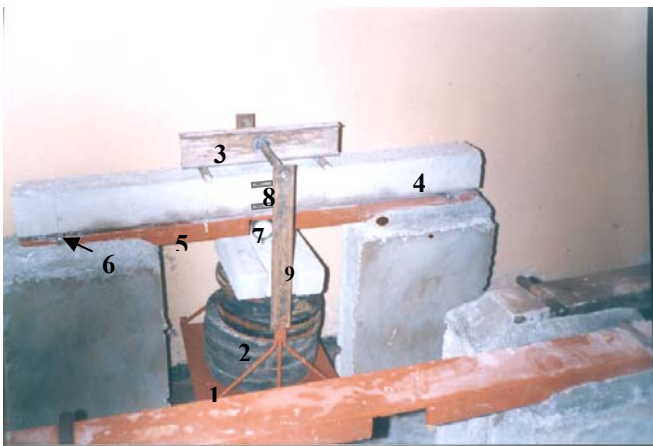


Figure 1 : Schéma statique de l'étude

Donc il nous a fallu concevoir un dispositif d'essai permettant l'exécution des expériences en jouant sur la variation des différents paramètres influents sur le fluage du béton, et c'est pour cela qu'il fallait avoir de nombreux bâtis.

Les essais de fluage en flexion sont effectués sur un système en portique comme le montre la figure 2.

Le bâti comporte un système de chargement manuel. Cette mise en charge est réalisée à l'aide d'un support qui prend appui sur la partie supérieure du bâti d'essai sur une barre métallique de répartition d'effort (en profilé IPN).



Légende : (1) tôle supportant la charge, (2) charges, (3) poutre de répartition de la charge, (4) poutrelle (éprouvette), (5) poutre en UPN, (6) appuis, (7) comparateur, (8) jauges, (9) supports.

Figure 2 : Bâti de fluage

2.2. Résultats des essais

Afin de mieux mettre en évidence l'influence de chaque paramètre retenu, nous avons reporté sur un même repère l'ensemble des résultats. Chaque courbe représente la moyenne des mesures sur trois éprouvettes de chaque type de mélange. Les résultats sont représentés sous différentes formes :

1. Variation du taux de chargement,

2. Comparaison entre béton et mortier à base de composant de même nature,
3. Influence du type de granulats sur le fluage,
4. Étude comparative entre flèche de fluage à 60 jours et des flèches instantanées correspondantes f_0 .

2.2.1. Variation du taux de chargement

Pour discuter les courbes de fluage obtenues, il convient de faire une remarque générale, et ce, quelque soit le taux de chargement :

« Lorsqu'un taux de chargement est appliqué sur le matériau testé, la déformation causée par ce dernier est divisée en deux parties, à savoir :

- une déformation (flèche) instantanée (élastique) qui survient immédiatement,
- une déformation (flèche) différée qui commence aussi immédiatement et qui se poursuit dans le temps à un taux décroissant aussi longtemps que la charge est appliquée ».

Cette remarque est relative à tous les mélanges. Donc la proportionnalité entre le fluage et la charge ou la contrainte appliquée est vérifiée, ce qui suit les travaux de A. M. NEVILLE [15], et plusieurs autres chercheurs.

En se basant sur les résultats de cette étude, on peut faire les observations suivantes sur le comportement au fluage des poutrelles de $10 \times 10 \times 120$ cm, réalisées avec les six mélanges suscités, chargées à 7 jours en sollicitation de flexion quatre points en ambiance constante : 20 ± 2 °C et 55 ± 5 % HR, sous un rapport contrainte-résistance variable (0 %, 25 % et 55 %) :

- Les flèches apparentes de fluage augmentent avec l'accroissement du taux de chargement (figures 3 et 4).
- Le fluage sous charge nulle 0 % (retrait - fluage) présente la flèche sous poids propre de la poutrelle sous les mêmes conditions aux limites.

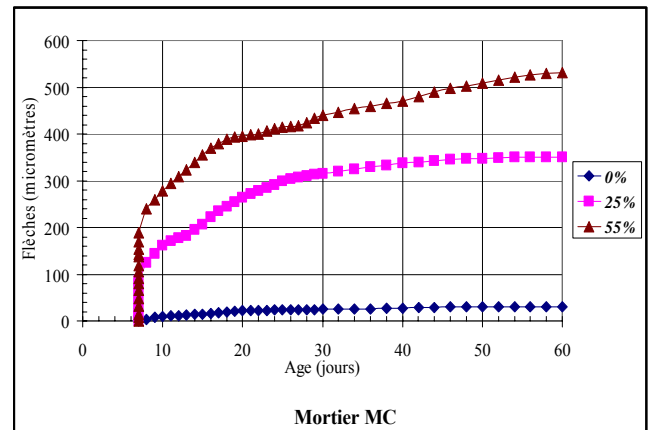


Figure 3 : Influence du taux de chargement sur le fluage du mortier MC

Pour des contraintes assez proches de la contrainte de rupture instantanée, on peut observer un fluage instable qui conduit plus ou moins rapidement à la rupture. C'est pour cette raison que le fluage correspondant à un taux de chargement de 70 % n'est pas représenté, du fait que les premières éprouvettes testées de différents mélanges ont présenté une ruine durant une période variant entre une journée et 3 journées de chargement.

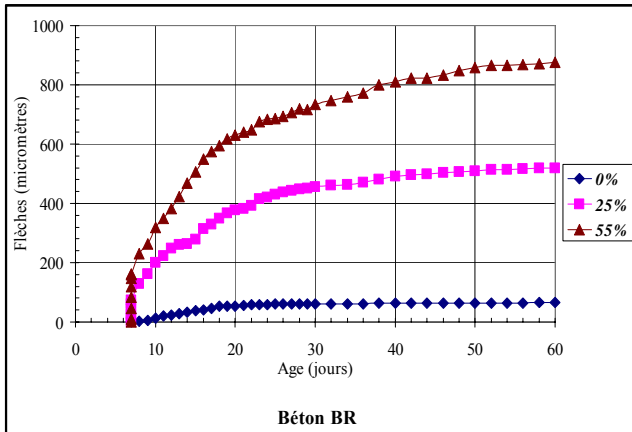


Figure 4 : Influence du taux de chargement sur le fluage du béton BR

Pour tous les mélanges, on remarque une différence entre les vitesses moyennes de fluage correspondant à différents taux de chargement. Ces vitesses sont, à fortiori, plus importantes dans les premiers jours de chargement, et diminuent avec le temps jusqu'à ce qu'elles deviennent, pratiquement, nulles. Par exemple, pour le mortier MC (figure 3) les vitesses moyennes entre 7 et 20 jours sont de : 15 $\mu\text{m}/\text{jours}$ pour un taux de chargement 55%, 10 $\mu\text{m}/\text{jours}$ pour un taux de 25 % et 3 $\mu\text{m}/\text{jours}$ pour un taux de 0%.

2.2.2. Comparaison entre béton et mortier à base de composant de même nature

Cette forme de présentation des résultats a pour objectif de mieux illustrer la présence des gros granulats (gravier) au sein des mélanges sous différents taux de chargement.

Les figures 5 et 6 présentent une comparaison entre les flèches des mélanges à base de granulats issus de concassage. On a pu remarquer que les deux mélanges MC et BC, présentent plus ou moins le même comportement. La différence entre leurs flèches pour un âge quelconque est presque constante. Mais pour les deux taux de chargement présentés, on a noté qu'à partir de 50 jours les flèches du béton sont plus importantes que celles du mortier.

- Pour un taux de chargement moyen (25 %), les deux courbes sont superposables.

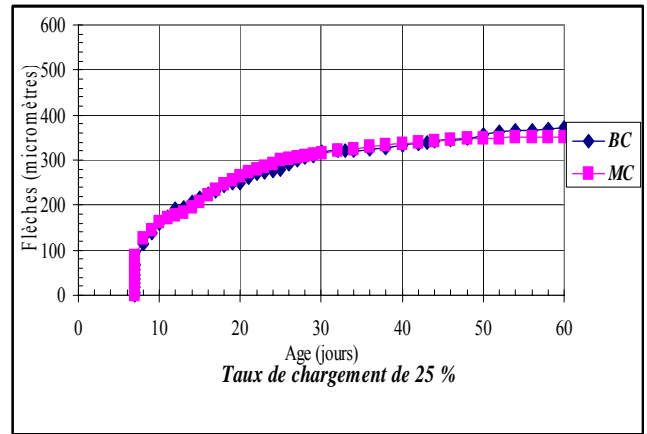


Figure 5 : Influence des dimensions du plus gros granulat concassé pour un taux de chargement de 25%.

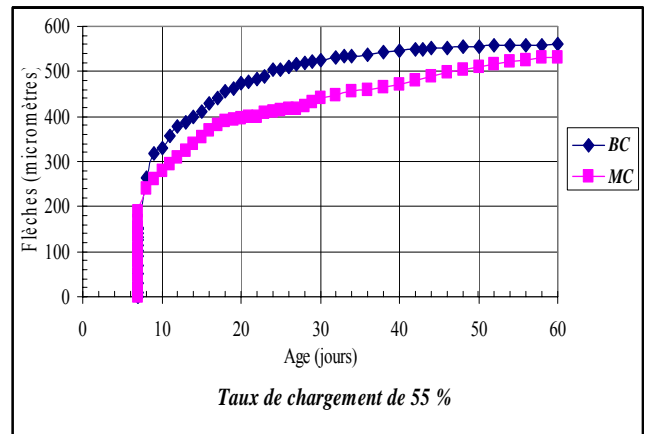


Figure 6 : Influence des dimensions du plus gros granulat concassé pour un taux de chargement de 55 %

- Pour un taux de chargement relativement élevé (55 %), les deux courbes sont distinctes dans les cinq premières semaines, avec plus de fluage dans le cas du mélange BC. Au-delà, une convergence des courbes a été notée.

2.2.3. Influence du type de granulats sur le fluage

Il existe une grande diversité de granulats, et leur influence sur le fluage ne peut pas, en général, être prise en compte par les résistances mécaniques.

Si on prend comme exemple les mortiers, on remarque d'après les figures 7, 8 et 9, que c'est le mélange MC qui présente plus de fluage par rapport aux deux autres. Le classement de ces mélanges par ordre ascendant des flèches de fluage est le suivant : MR, MCR et MC.

On constate aussi que :

- Sous le poids propre, les quatre mortiers ont des courbes presque superposables avec une stabilisation à partir de trois semaines.

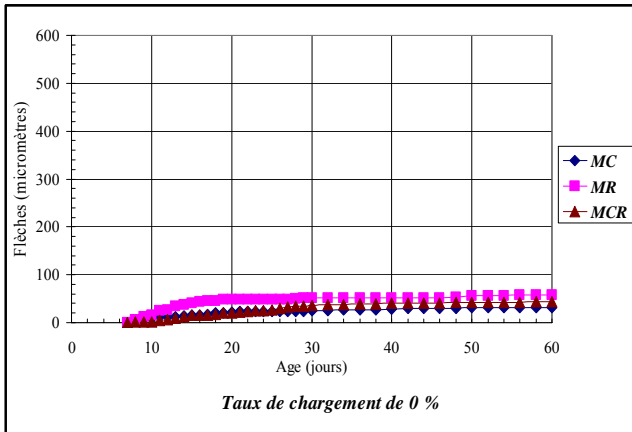


Figure 7 : Influence du type de granulats sur le fluage des mortiers pour un taux de chargement de 0 %

Avec un taux de chargement de 25 %, les flèches en fonction du temps, pour les mortiers (MR et MCR), sont confondues à partir de 15 jours de chargement.

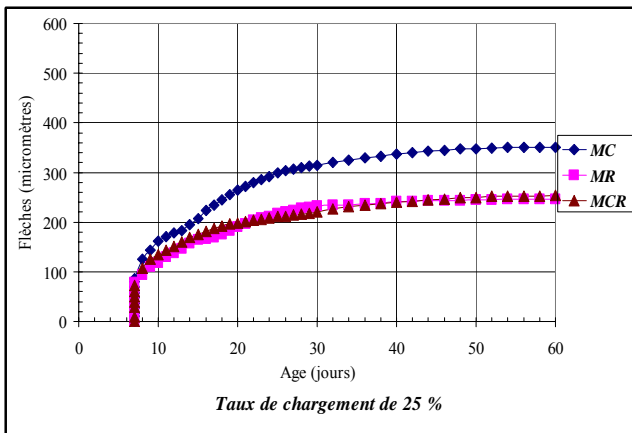


Figure 8 : Influence du type de granulats sur le fluage des mortiers pour un taux de chargement de 25 %

Avec un taux de chargement de 55 %, les flèches des mortiers sont distinctes, ce qui explique qu'à partir de ce seuil (presque élastique), d'autres phénomènes rentrent en jeu.

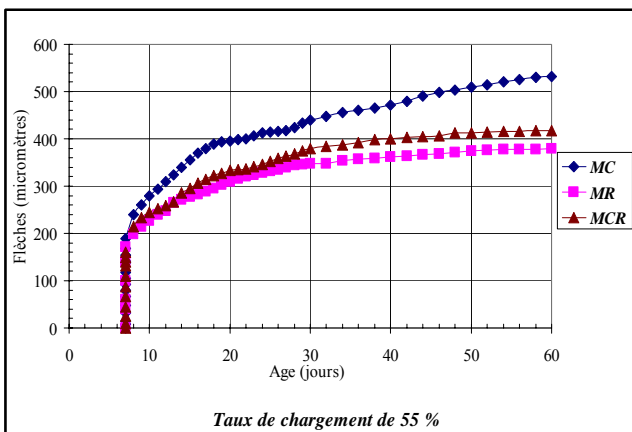


Figure 9 : Influence du type de granulats sur le fluage des mortiers pour un taux de chargement de 55 %

Une meilleure comparaison entre les flèches des mortiers, intervient à partir de la figure 10, où ces derniers sont soumis à une charge constante = 0,5 KN.

Dans ce cas, on remarque que c'est le mélange MCR qui présente moins de fluage. L'ordre de classement est le suivant : MCR, MC et MR.

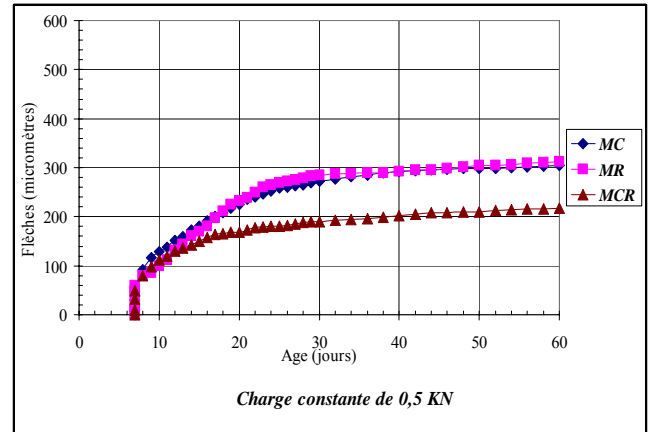


Figure 10 : Influence du type de granulats sur le fluage des mortiers pour une charge de 0,5 KN.

Donc, sous une charge constante pour les trois mélanges, sans faire référence ni à la charge de rupture, ni à la charge de première fissuration, où cette charge constante représente un taux de chargement de : MC : 14 %, MR : 19 %, MCR : 17 %, un quatrième comportement est observé.

Pour les bétons, un autre comportement est observé. Comme remarque générale, la flèche du mélange BR continue à augmenter d'une manière remarquable, tandis que pour les deux autres une certaine stabilité de la pente de leurs courbes de fluage est distinguée au-delà de 40 jours.

Les figures 11, 12 et 13, montrent que c'est le mélange BCR qui présente moins de fluage, suivi par le mélange BC et enfin BR.

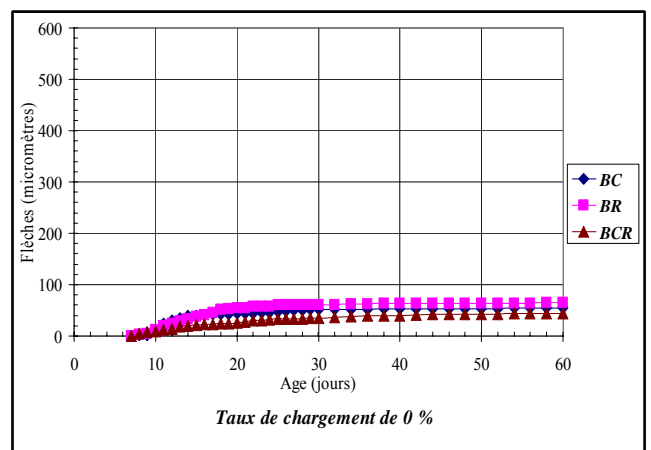


Figure 11 : Influence du type de granulats sur le fluage des bétons pour un taux de chargement de 0 %

- Pour un taux de chargement de 0 % (influence du poids propre), on peut voir que les flèches apparentes des différents mélanges, sont presque superposables, avec une stabilisation à partir du trentième jour.
- Avec un taux de chargement de 25 %, c'est le béton BR qui présente plus de fluage. La flèche qui lui correspond dépasse le double de celle du béton BCR. Le béton BC donne des flèches qui se rapprochent de la moyenne des deux flèches correspondantes aux deux autres mélanges.
- Les mêmes remarques sont observées pour un taux de chargement de 55 %. Sauf pour les quatre premiers jours, où on voit que les courbes des bétons BC et BR sont presque superposables.

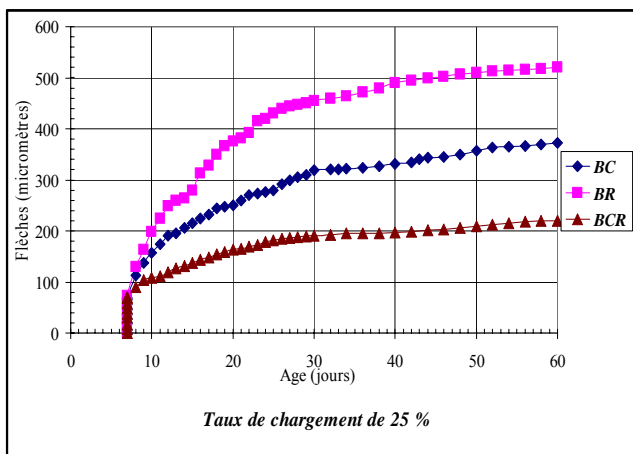


Figure 12 : Influence du type de granulats sur le fluage des bétons pour un taux de chargement de 25 %

Dans le cas des bétons soumis à une charge constante (figure 14), on voit que les lois d'évolution sont similaires à celles des deux taux de chargement (25 % et 55 %), et avec le même ordre de classement. Cette charge constante représente un taux de chargement respectivement de : BC : 17,5 %, BR : 26,3 %, BCR : 19,6 %.

A notre avis, en prenant compte des caractéristiques mécaniques des granulats utilisés (données par le tableau 2.3), on peut expliquer la raison pour laquelle le béton BR à base de granulats roulés a donné plus de fluage par rapport aux deux autres bétons BC et BCR à base de granulats concassés.

Le fait que ces derniers sont plus rigides leur permet de ralentir et de diminuer les déformations différées de la pâte de ciment. On pense aussi que la cause pourrait être la forme arrondie des granulats (roulés) qui donne une adhérence avec la pâte de ciment moins importante que celle obtenue avec les granulats concassés.

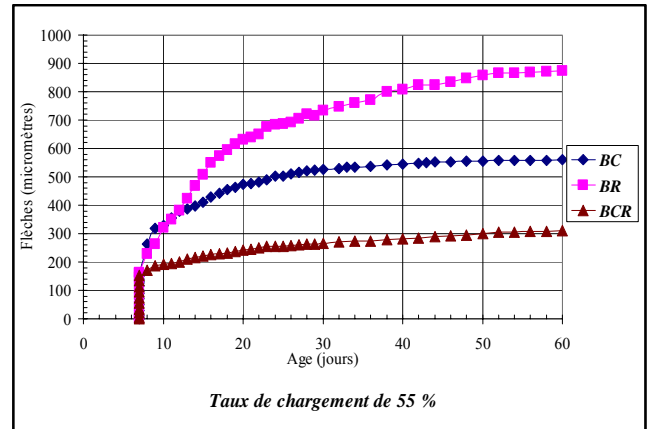


Figure 13 : Influence du type de granulats sur le fluage des bétons pour un taux de chargement de 55 %

A partir de ces résultats, on a pu apprécier les performances du mélange confectionné avec des granulats mixtes.

En résumé, l'influence du granulat s'explique essentiellement par sa déformabilité, moins il est rigide, moins il s'oppose aux déformations différées de la pâte [3] [18] [19]. Cette influence est du même ordre que celle constatée sur la déformation instantanée.

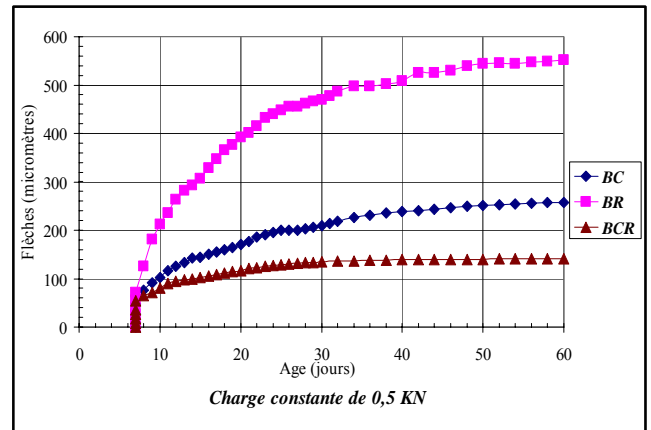


Figure 14 : Influence du type de granulats sur le fluage des bétons pour une charge de 0,5 KN

2.2.4. Comparaison entre flèche de fluage et flèche instantanée correspondante

La comparaison entre le comportement des mortiers à l'aide de la relation « flèche de fluage-temps », pour différents taux de chargement, reste favorable au mortier à base de granulats mixtes, comme l'indiquent les tableaux suivants.

Les tableaux 10 et 11 donnent les flèches instantanées et les flèches de fluage à un âge de 60 jours sous charge, pour les mortiers et bétons testés.

Tableau 10 : Valeurs des flèches de fluage à 60 jours et des flèches instantanées correspondantes f_0 pour les différents taux de chargement des mortiers

Mortiers	Niveau de chargement							
	0 %		25 %		55 %		Charge constante = 0,5 KN	
	f_0 (µm)	f (µm)	f_0 (µm)	f (µm)	f_0 (µm)	f (µm)	f_0 (µm)	f (µm)
MC	0	31	86	265	189	342	48	256
MR	0	58	78	169	172	208	60	252
MCR	0	44	73	181	160	258	49	168

Tableau 11 : Valeurs des flèches de fluage à 60 jours et des flèches instantanées correspondantes f_0 pour les différents taux de chargement des bétons

Bétons	Niveau de chargement							
	0 %		25 %		55 %		Charge constante = 0,5 KN	
	f_0 (µm)	f (µm)	f_0 (µm)	f (µm)	f_0 (µm)	f (µm)	f_0 (µm)	f (µm)
BC	0	54	69	303	152	408	48	209
BR	0	65	73	447	163	712	72	480
BCR	0	44	70	150	153	157	55	86

Ce qu'on peut remarquer à partir des tableaux se résume comme suit :

- Pour des taux de chargement moyens (25 %), le mortier à base de granulats roulés (MR) présente le plus faible rapport entre flèche de fluage et flèche instantanée, ce dernier est de 2,2. Pour les bétons, c'est le BCR qui donne le plus petit rapport, qui est de 2,14, par contre, celui du BR atteint 6,12.
- Pour un taux de chargement de 55 %, ces rapports sont relativement faibles par rapport à ceux donnés dans le cas du taux de 25 %. Mais l'ordre de grandeur reste le même, car le mortier MR donne toujours le plus faible rapport (1,24). La même remarque concerne les bétons, un rapport plus faible pour BCR (1,03) et plus fort pour BR (4,37).

Dans le cas de l'application d'une charge constante, le mortier MCR donne le rapport le plus faible (3,42), devant un rapport de (5,33) pour le mortier MC, qui présente dans ce cas le rapport le plus fort. Pour les bétons, l'ordre de grandeur, déjà observé pour les deux taux de chargement sus-cités (25 % et 55 %), avec les deux rapports, par ordre ascendant, de 1,56 pour le BCR et 6,67 pour le BR.

CONCLUSION

Cette étude regroupe un ensemble de résultats expérimentaux sur le comportement différé des bétons sous sollicitation de flexion « quatre points ».

La réponse à plusieurs taux de chargement est étudiée.

Un important travail a été consacré à la mise en place d'un dispositif d'essai (Bâti) permettant l'étude du fluage en flexion, au sens où il existe peu de travaux dans la littérature. Cette étude du fluage de poutrelles en béton et mortier, à base de différents types de granulats est décrite d'une part, pour apporter des explications (ou bien pour marquer la différence) des comportements observés, et d'autre part, pour montrer l'influence des granulats.

- Le type des granulats utilisés est un paramètre important : ils modifient la réponse différée des matériaux pour différents taux et durées de chargement [5] [15]. Dans cette étude, différents types de comportement ont été observés en rapport avec les variétés de granulats utilisés.
- En comparant les réponses du fluage à un même taux de chargement, les mortiers à base de granulats roulés ont une flèche inférieure.
- En comparant les réponses du fluage à un même taux de chargement, les bétons à base de granulats mixtes (concassés et roulés) les flèches les plus faibles.
- Pour une même intensité de chargement, le béton à base de granulats mixtes, donne lieu à une flèche de fluage entre 4 et 6 fois inférieure à celle du béton BR.
- Sous un taux de chargement nul (0 %), seulement sous l'effet de son poids propre, ce qu'on peut appeler « retrait-fluage », une flèche est observée au lieu d'une contre flèche, car ce poids propre représente en réalité un taux de chargement variant de 4 à 9 %.

Suite à une analyse, il apparaît que pour définir les performances en fluage, les caractéristiques à la limite de fissuration obtenues lors des essais statiques représentent de meilleures références [8] [9] [11]. Elle peut l'exprimer par une valeur de charge ou une valeur de flèche.

A notre avis, pour mieux estimer le fluage en flexion, les études complémentaires restent nécessaires pour mieux prendre en considération, non seulement la différence de la cinétique de séchage de l'éprouvette dans les deux parties (tendue et comprimée), mais aussi d'y intégrer le retrait et la fissuration, car, lorsqu'il existe un effort de traction ou de cisaillement, un endommagement possible du matériau interagit avec les déformations de fluage en créant le glissement ou décollement des interfaces pâte de ciment – granulat [10] [14], ou des fissures par l'extension des particules de la pâte de ciment [4] [6] [7].

REFERENCES

- [1] Acker P., Z. P. Bazant "Measurement of time-dependent strains of concrete", Rilem Draft Recommendation, Materials and Structures, RILEM, 1998
- [2] Atkins P. W. "Physical chemistry", 5^{ème} édition, Oxford University Press, Oxford, England, 1994.
- [3] Baroghel-Bouny V. "Caractérisation des pâtes de ciment et des bétons", méthode, analyse, interprétation, édition LCPC, LCPC, Paris 1994
- [4] Bazant Z. P. "Micropress-solidification theory for concrete creep. I. Aging and drying effects", Journal of Engineering Mechanics, ASCE, 123, p 1188-1194, 1997
- [6] Bazant Z. P., Prasannan S. "Solidification theory for concrete creep. I. Formulation", Journal of Engineering Mechanics, ASCE, 115, p. 1691-1703, 1989
- [7] Bazant Z. P. "Does hindered adsorbed water serve as 'load-bearing' water?", LCPC, Paris 1998
- [8] Benboudjema F., Meftah F. , Torrenti J.-M., Heinfling G. Analyse des essais de fluage propre réalisés sur des pâtes de ciment, mortiers et bétons, avec mesures des déformations principales", Rapport interne EDF, 88 p., Octobre 2000.
- [9] Chabane A., Houari H. "Influence du type de granulats sur le fluage du béton", Colloque National de Génie Civil, 13 – 14 Novembre 2000, Mostaganem – Algérie, 6 p.
- [10] Chabane A. Houari H. "Contribution à l'étude du comportement différé des bétons et mortiers sous sollicitation de flexion", séminaire national de Génie Civil (SNGC 2001) à Sidi-bel-abbès, Mai 2001.
- [11] Guenot-Delahaie I. "Contribution à l'analyse physique et la modélisation du fluage propre du béton", études et recherches LPC, OA25, LCPC, Paris 1997
- [12] Houari H. "Contribution à l'étude du comportement du béton de fibres soumis à l'action de charges maintenues et cycliques", thèse Doctorat, INSA de Lyon, p. 244, 1993
- [13] Le Maou F., Rossi P., Boulay C. "Détermination des déformations transversales de fluage et de retrait des bétons", note technique, bulletin des LPC, Paris 1999
- [14] Le Roy R. "Déformations instantanées et différées des bétons à hautes performances", études et recherches des LPC, OA22, LCPC, Paris 1996.
- [15] Lemaitre J., Mazars J. Application de la théorie de l'endommagement au comportement non linéaire et à la rupture du béton de structure", Annales de l'ITBTP, N° 401, p. 114-136, Janvier 1982,
- [16] Neville A.M. "Creep of concrete : plain, reinforced and prestressed", North Holland Publishing Company, p. 622, Amsterdam, 1970.
- [17] Pineau A., Zaoui A. "Comportement mécanique des matériaux: viscoplasticité, endommagement, mécanique de la rupture, mécanique du contact", Hermes, p. 13, Paris 1995,
- [18] Rossi P., GODART N., ROBERT J. L. "Investigation of the basic creep of concrete by acoustic emission", éditions E and FN Spon p 33-38, LONDON, 1993
- [19] Ulm F. J., Acker P. "Le point sur le fluage et la recouvrance des bétons", Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées, spécial XX, p. 73-82, 1998
- [20] Ulm F. J., Le Maou F., Boulay C. "Creep and shrinkage coupling : New Review of some Evidence", revue française de génie civil, Hermes p. 21-37, Paris Juillet 1999,