



HAL
open science

Application des modèles réglementaires pour la prédiction du fluage des BAP en flexion

Abdelhafid Lamine Chabane, Salah Eddine Bensebti, A Boukezzoula, R.
Lassoued, A Aggoun

► **To cite this version:**

Abdelhafid Lamine Chabane, Salah Eddine Bensebti, A Boukezzoula, R. Lassoued, A Aggoun. Application des modèles réglementaires pour la prédiction du fluage des BAP en flexion. Rencontres Universitaires de Génie Civil, May 2015, Bayonne, France. hal-01167617

HAL Id: hal-01167617

<https://hal.science/hal-01167617>

Submitted on 24 Jun 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Application des modèles réglementaires pour la prédiction du fluage des BAP en flexion

A. Chabane¹, S. Bensebti², A. Boukezzoula², R. Lassoued², A. Aggoun³

¹ Laboratoire des Matériaux et Durabilité des Constructions, Département de Génie Civil, Université des Frères Mentouri, Constantine, Algérie, chabane_amine@yahoo.fr

² Laboratoire des Matériaux et Durabilité des Constructions, Département de Génie Civil, Université des Frères Mentouri, Constantine, Algérie

³ L2MGC, , Université Cergy-Pontoise, F-95000 Cergy-Pontoise, France

RÉSUMÉ. La prédiction du fluage des bétons est d'une importance majeure lors de l'étude du comportement mécanique d'une structure à long terme. Plusieurs lois mathématiques ont été proposées pour le modéliser, mais sa prise en compte dans les calculs reste un problème délicat et incertain. Les règlements actuels proposent l'évaluation de cette déformation différée en fonction de plusieurs paramètres relatifs aux caractéristiques du béton, aux conditions environnementales et à la sollicitation mécanique. Concernant les bétons autoplaçants, le phénomène de fluage reste méconnu et des écarts significatifs vis-à-vis des bétons ordinaires ont été relatés par plusieurs chercheurs. Notre travail porte essentiellement sur la prédiction du fluage des poutres en béton autoplaçant, soumises à un chargement maintenu, sous une sollicitation de flexion quatre points, en s'intéressant à différents paramètres tels que : la finesse de l'addition calcaire, le rapport filler/liant et le taux de chargement. Les déformations mesurées expérimentalement ont été comparés à celles obtenues théoriquement à partir de quelques modèles réglementaires (ACI 209, B3, EC02 et CEB MC90).

ABSTRACT. The prediction of creep of concrete is of major importance in the study of a differed mechanical behavior of structure. Several mathematical laws have been proposed to model it, but its inclusion in calculations remains a delicate and uncertain problem. The current regulations offer the evaluation of this differed deformation depending on several parameters related to the characteristics of the concrete, environmental conditions and mechanical stress. On self-compacting concrete, the creep phenomenon remains unknown and significant differences to ordinary concretes were reported by several researchers. Our work focuses on the prediction of creep of self-compacting concrete beams, subject to maintained loading under four points bending stress, focusing on different parameters such as the fineness of the limestone addition, the filler / binder ratio and loading rate. The deformations measured experimentally were compared with those obtained theoretically from a few regulatory models (ACI 209, B3, EC02 and CEB MC90).

MOTS-CLÉS : Béton autoplaçant, Filler calcaire, Flèches, Module d'élasticité, Modèles.

KEY WORDS : Self-compacting concrete, limestone , deflections, elastic modulus, Models.

1. Introduction

Actuellement, les matériaux hydrauliques (béton) sont les plus employés dans le monde pour les constructions civiles et industrielles, sans qu'on puisse pour autant toujours maîtriser ou prévoir leur comportement précis selon les diverses conditions d'emploi. Ceci explique la multitude de recherches et d'approches pour tenter d'améliorer la connaissance de ce matériau. Ces recherches portent aussi bien sur des aspects économiques, sociaux, esthétiques que sur des aspects physico-chimiques et mécaniques [BAL 09]. Les déformations différées des bétons peuvent mettre en cause la durabilité des ouvrages, car elles sont, parfois, à l'origine de la fissuration, de pertes de précontrainte, voire de la ruine de l'ouvrage.

On peut citer quelques conséquences catastrophiques due essentiellement aux déformations différées sous chargement maintenu, comme c'est le cas du pont de Palau [BAZ 08], qui a présenté une flèche de 1,5 m à cause de perte de précontrainte sévère et une rupture brutale, quelques jours plus tard [REV 09]. Notons aussi que le risque de rupture par fluage a été observé dans plusieurs ouvrages d'art, comme le cas de l'effondrement du terminal 2E de l'aéroport international de Roissy en 2004 à Paris. Remarquons au passage que les essais qui ont permis l'étude du fluage des bétons étaient principalement des essais de laboratoires sous sollicitation de compression. Les mesures de déformations différées sous traction et flexion sont rares [REV 09]. Les recherches sur les nouveaux bétons fournissent aujourd'hui des solutions ingénieuses tant en termes de conception que de mise en œuvre. Les travaux menés sur l'ouvrabilité des bétons ont permis la mise au point de bétons dits « Autoplaçants », correspondant à une nouvelle famille de bétons développée afin d'obtenir un matériau facile à mettre en œuvre, sans faire appel à la vibration. Cependant, malgré les aspects intéressants proposés par ces bétons, en particulier à l'état frais, leur développement est un peu freiné par leurs formulations complexes et leur comportement différé encore mal connu. Les règlements actuels proposent ainsi d'estimer les déformations différées en prenant en compte de nombreux paramètres relatifs aux caractéristiques du béton, au type de liant, aux conditions environnementales et à la sollicitation mécanique [MAK 11]. La plupart de ces règles de calcul correspondent à des lois analytiques établies à partir de calages sur des bases de données expérimentales ; par conséquent, leurs estimations demeurent correctes dans la majorité des cas. Mais la grande variété des formulations des bétons a mis en évidence des écarts pouvant être significatifs.

Notre travail porte essentiellement sur la prédiction du fluage des poutres en béton autoplaçant, soumises à un chargement maintenu, sous une sollicitation de flexion quatre points. Nous nous sommes intéressés à l'effet de la finesse de l'addition calcaire, du rapport filler/liant, et du taux de chargement. Nous comparons nos résultats expérimentaux vis-à-vis aux quatre modèles prédictifs américains et européens choisis pour cette étude à savoir (ACI 209, B3, EC02, CEB MC90).

2. Procédure expérimentale

Afin d'être suffisamment pertinents dans l'analyse du fluage, trois compositions de béton autoplaçant ont été testées sur des poutrelles de dimensions (10×10×120) soumises à une sollicitation de flexion quatre points, à différents niveaux de chargement (0 %, 20 % et 40 % de la charge de rupture mesurée à partir d'essais monotones croissants). Ces rapports ont été choisis du fait qu'il n'y a aucune déformation plastique à des taux de chargements inférieurs à 50% de la résistance ultime, car, en dessous de cette valeur, l'amplitude des déformations de fluage restent proportionnelle au chargement appliqué [BIS 07].

Pour s'affranchir de l'influence des autres paramètres de formulation, nous nous sommes donc appuyés sur une composition de base en ne modifiant que le rapport filler sur liant ($F/L=0,1$, $F/L=0,2$) et la finesse du filler calcaire qui sont notées respectivement UF5, UF20. Les essais sont systématiquement effectués à l'âge de 7 jours à $20 \pm 2^\circ\text{C}$ et $HR=50 \pm 5\%$, sur une durée de chargement de 90 jours. Notons que dans cette étude, il n'y a pas de séparation entre le fluage propre et le fluage de dessiccation. Les trois compositions de BAP retenues pour cette étude sont décrites dans le tableau 1.

| Notation | Désignation |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------|
| BAP UF5 0.1 | Béton autoplaçant avec un filler calcaire UF05 et un rapport F/L=0.1 |
| BAP UF5 0.2 | Béton autoplaçant avec un filler calcaire UF05 et un rapport F/L=0.2 |
| BAP UF20 0.2 | Béton autoplaçant avec un filler calcaire UF20 et un rapport F/L=0.2 |

Tableau 1. Désignation des différents BAP étudiés

2.1. Matériaux d'étude

Les BAP étudiés sont composés de granulats calcaires concassés (sable 0/4, gravier 4/8, gravier 8/16) issus d'une carrière de l'est algérien, d'un ciment (CPJ-CEM II/A 42.5), de fillers calcaires de différentes finesses (ALCAL UF05 et ALCAL UF20), d'un superplastifiant haut réducteur d'eau «MEDAPLAST SP40» et d'eau. Du fait de l'importance des interactions filler-ciment dans la formulation des bétons autoplaçants et qui dépendent des propriétés de ces deux constituants, nous présentons, dans ce qui suit, leurs différentes caractéristiques. Notre ciment portland composé CPJ-CEM II/A 42.5 est produit par la cimenterie d'El-Hamma (région de Constantine), conforme à la norme Algérienne NA 442 [NOR 10]. Les fillers calcaires utilisés dans notre étude sont commercialisés sous le nom de : ALCAL UF05 (diamètre moyen 7 μm) et ALCAL F20 (diamètre moyen 23 μm), provenant de la carrière (ENG) de l'est Algérien, conformément à la norme NF P 18 508 [NOR 95].

2.2. Compositions des bétons autoplaçants étudiés

Les formulations des trois bétons qui ont été élaboré lors de notre recherche et optimisées selon l'approche (méthode) Japonaise, sont données dans le tableau 2. Nous avons mentionné sur ce même tableau les caractéristiques de ces mélanges qui nous semblent les plus intéressantes.

| Désignation | Constituants des bétons autoplaçants (kg/m ³) | | | | | | | Caractéristiques | | | |
|---------------------|-----------------------------------------------------------|--------|-------|------------------|-----------|-------------|--------------|------------------|------|------|-------|
| | Ciment | Filler | Eau | Superplastifiant | Sable 0/4 | Gravier 4/8 | Gravier 8/16 | F/L | E/C | E/L | G/S |
| <i>BAP UF5 0.1</i> | 540 | 60 | 226.5 | 10.8 | 772 | 381 | 381 | 0.1 | 0.42 | 0.38 | 0.987 |
| <i>BAP UF5 0.2</i> | 480 | 120 | 216.5 | 10.2 | 762 | 381 | 381 | 0.2 | 0.45 | 0.36 | 0.987 |
| <i>BAP UF20 0.2</i> | 480 | 120 | 211.0 | 10.2 | 762 | 381 | 381 | 0.2 | 0.44 | 0.35 | 0.987 |

Tableau 2. Composition et caractéristiques des bétons étudiés

2.3. Caractérisation classique des différents BAP étudiés

Nous avons effectué de nombreuses mesures pour la caractérisation des BAP à l'état frais (air occlus, densité, étalement, boîte en L et écoulement à l'entonnoir). A l'état durci, une caractérisation classique des mélanges (résistances mécaniques : compression et traction/flexion, module d'élasticité) a été réalisée respectivement sur des éprouvettes cylindriques de 16×32 cm et prismatiques de dimensions 7×7×28 cm, sous des conditions de conservation de température $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ et humidité relative $HR = 95 \pm 5\%$ jusqu'à l'âge d'écrasement, soit 7 et 28 jours.

En ce qui est de la caractérisation à l'état frais des trois BAP étudiés : la fluidité, la mobilité en milieu confiné et la ségrégation dynamique et statique se sont avérées correctes et répondent aux recommandations de l'AFGC [AFG 00] et du Guide Européen pour les bétons autoplaçants [EGS 05] (Tableau 3). En ce qui concerne la caractérisation à l'état durci, nous avons obtenu de bons BAP en termes de résistances mécaniques (Tableau 4). Dès le 7ème jour, tous les mélanges atteignent des proportions très élevées de leur résistance à 28 jours (supérieures à 61%). Cette augmentation rapide est due à notre avis au volume important de pâte qu'ils contiennent. L'utilisation du superplastifiant ainsi que la présence d'une quantité

importante de filler calcaire comme addition dans les formulations autoplacantes peut aussi avoir une influence bénéfique sur la résistance mécanique [RIL 01].

| Mesures effectuées | BAP UF5 0.1 | BAP UF5 0.2 | BAP UF20 0.2 |
|-------------------------------------------|-------------|-------------|--------------|
| <i>Etalement (cm)</i> | 66 | 70 | 68 |
| <i>Densité (kg/m³)</i> | 2354 | 2360 | 2362 |
| <i>Air Occlus (%)</i> | 2.9 | 2.7 | 2.7 |
| <i>Stabilité au tamis (%)</i> | 12 | 14 | 14 |
| <i>Rapport à la boîte en L</i> | 0.90 | 0.86 | 0.84 |
| <i>Temps d'écoulement au V Funnel (s)</i> | 10.4 | 12.0 | 11.2 |

Tableau 3. Résultats des essais de caractérisation des BAP à l'état frais

| Désignation | Résistance à la compression | | Résistance à la traction/flexion | | Module d'élasticité | |
|--------------|-----------------------------|------------------|----------------------------------|------------------|---------------------|------------------|
| | Rc7 jours (Mpa) | Rc28 jours (Mpa) | Rt7 jours (Mpa) | Rt28 jours (Mpa) | Ec7 jours (Gpa) | Ec28 jours (Gpa) |
| BAP UF5 0.1 | 32,62 | 43,05 | 2,70 | 3,99 | 27,03 | 34,35 |
| BAP UF5 0.2 | 30,27 | 40,60 | 2,24 | 3,36 | 26,35 | 33,62 |
| BAP UF20 0.2 | 21,60 | 34,90 | 1,81 | 3,08 | 24,46 | 31,83 |

Tableau 4. Résultats des essais de caractérisation des BAP à l'état durci

2.4. Comportement monotone croissant en flexion quatre points

Cette étude a pour but de mesurer l'effort au pic (charge de rupture) et les flèches correspondantes, ce qui nous servira à estimer les taux de chargement à appliquer sur les poutrelles lors de l'étude du fluage. En se basant sur la norme ASTM C78 [CAR 06], nous avons utilisé dans cet essai un dispositif répondant constitué d'un vérin équipé d'un palonnier assurant la répartition de l'effort total appliqué en deux points de chargement symétrique par rapport à l'axe de la poutrelle qui doit avoir un âge de 7 jours au moment de l'essai. La poutrelle repose à ses extrémités sur deux appuis rotules. Nous plaçons à mi-portée un comparateur à cadran normal, de précision 0,001 mm (1 μ m), fixé sur un gabarit spécial à l'aide de vis de serrage, de telle sorte que sa tige soit en contact avec la face inférieure de la poutrelle, mesurant ainsi le déplacement de celle-ci, ensuite, nous imposons une charge aux points de chargement. La charge est appliquée de façon monotone croissante jusqu'à la ruine de l'élément, le chargement est appliqué par palier de 10KN afin de pouvoir noter les mesures à la lecture du comparateur. La distance entre les appuis est de 100 cm pour n'être influencées que par leurs poids propres. Les résultats des charges et flèches de rupture mesurées lors de cet essai sont présentés dans le tableau 5. Malgré des formulations rapprochées, les résultats montrent d'importantes différences. Nous avons pu constater que le BAP contenant plus de filler calcaire présente la charge de rupture la plus importante.

| Désignation | Charge de rupture F_{R7} (KN) | Fleche de rupture f_{R7} (μ m) |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| BAP UF5 0.1 | 3,13 | 310 |
| BAP UF5 0.2 | 3,84 | 384 |
| BAP UF20 0.2 | 4,80 | 469 |

Tableau 5. Charges et flèches de rupture à 7 jours des différents BAP

2.5. Campagne expérimentale du fluage en flexion quatre points

Nous avons effectué cette campagne dans le but de caractériser le comportement différé des bétons étudiés, à travers des essais de fluage en flexion quatre points, sur des poutrelles prismatiques de 10×10×120 cm âgées de 7 jours lors du chargement. Pour évaluer l'influence du niveau de chargement sur la cinétique de fluage, différents taux de chargement ont été imposés aux éprouvettes (0%, 20% et 40% de leur charge de rupture mesurée lors des essais

sous chargement monotone croissant). Ainsi, nous restons dans les domaines de chargement correspondant au fluage primaire du béton. Pour cela nous avons utilisé un bâti de fluage en flexion quatre points répondant à la norme ASTM C78 [CAR 06], [CHA 08].

La mesure de la flèche se fait entre les deux points de chargement, dans la zone de moment constant, au milieu de la poutrelle par un comparateur qui enregistre la flèche totale regroupant le déplacement instantané dû à l'application de la charge, le fluage et le retrait.

3. Les modèles réglementaires

Les modèles réglementaires sont des modèles analytiques faisant intervenir un nombre de paramètres plus ou moins conséquent selon la norme, ils permettent de décrire le comportement mécanique à long terme du béton et de dimensionner ainsi la structure. Parmi les multiples modèles réglementaires de prédiction du fluage, nous avons choisi de travailler avec les plus pertinents et les plus couramment employés dans le monde [MAK 11], issus des différents règlements Européens : Eurocode 2 [EUR 92] et CEB-FIP MC 90 (Comité Euro-International du Béton-Fédération Internationale de la Précontrainte version 1990) [CEB 93], et américains : ACI 209 (American Concrete Institute) [ACI 92] et B3 [BAZ 95]. Pour mieux apprécier la validité de ces modèles, nous avons effectué des confrontations entre les valeurs des déformations prédites par ces derniers et les celles obtenues expérimentalement dans ce travail de recherche.

4. Résultats et discussions

Les représentations données dans cette partie pour les différents bétons sont fondées sur le principe de superposition des déformations différées. Ainsi, même si ce principe ne représente pas parfaitement le phénomène de fluage, il demeure une hypothèse de travail utile pour traiter ces déformations. Un échantillon de béton chargé est en effet sujet à plusieurs types de déformations différées au cours du temps : d'un côté le retrait qu'il subit dès le démoulage et tout au long de sa durée de vie, auquel s'ajoutent d'un autre côté les déformations dues au chargement, qui se décomposent en une déformation élastique instantanée au moment du chargement et une déformation viscoélastique fonction du temps de chargement.

Les courbes présentées par la suite, correspondent respectivement aux résultats expérimentaux des déformations instantanées et totales des différents bétons, pour les deux taux de chargement appliqués, et ceux calculés à partir des quatre modèles de prédiction du fluage choisis (ACI209, B3, EC02, CEB-FIP MC 90).

4.1. Comparaison entre flèches instantanées expérimentales et théoriques

En ce qui concerne les flèches instantanées, les valeurs prédites par les différents modèles sont assez dispersées et restent proportionnelles au rapport F/L, à la finesse de l'addition calcaire et au taux de chargement.

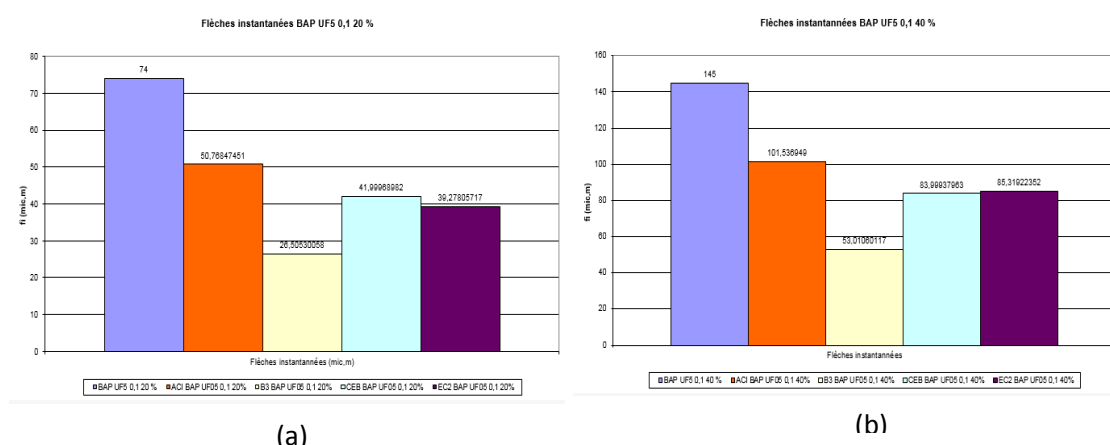


Figure 4. Représentation graphique des flèches instantanées expérimentales et théoriques du BAP UF05 0.1 pour les taux de chargement de 20% (a) et 40% (b)

Pour un même type de béton l'écart entre ces flèches est d'environ 48 % quel que soit le niveau de chargement appliqué. Cette remarque est valable aussi bien pour les résultats prédits par les différents modèles étudiés que pour les flèches expérimentales mesurées lors de la mise en charge. On remarque également que tous les modèles prédisent une valeur instantanée assez éloignée des résultats expérimentaux. Le modèle américain ACI donne les prédictions des flèches instantanées les plus proches de nos résultats d'étude, soit 15% d'écart. Quel que soit la composition étudiée et le taux de chargement appliqué, le modèle B3 sous-estime largement la flèche instantanée pour tous les BAP aux environs de 60 % par rapport aux flèches expérimentales. La raison principale est certainement due au coefficient de réduction de 60% et à la prise en compte du module d'élasticité à 28 jours dans la formule de la flèche instantanée. A la fin, on doit mentionner que les valeurs des flèches instantanées estimées par les deux modèles européens se situent entre celles calculées par les modèles américains.

4.2. Comparaison entre flèches totales expérimentales et théoriques

Nous pouvons constater d'après ces figures que le fluage augmente avec le taux de chargement ; en effet, les déformations causées par un chargement de 40% présentent presque le double de celles mesurées à 20%. Ce résultat confirme la proportionnalité entre la déformation sous charge et la charge appliquée qui a été relevée par plusieurs chercheurs, [BIS 07], [CHA 08], [BOU 14]. Contrairement aux flèches instantanées, les flèches totales différées sont inversement proportionnelles au rapport Filler/Liant (F/L). C'est-à-dire, en gardant la finesse de l'addition calcaire constante, le BAP le plus dosé en ciment (BAP UF5 0,1) subi moins de déformation totale différée. Cette différence non considérable peut être due à la présence d'une quantité supplémentaire de ciment dans ce dernier rigidifiant ainsi, à long terme, la pâte qui s'oppose mieux aux déformations sous charge maintenue.

Le fluage et le retrait de séchage peuvent diminuer avec l'emploi d'un filler calcaire, si sa finesse permet d'augmenter la compacité du squelette, et donc réduire les mouvements d'eau et les transferts d'humidité, [TUR 04]. Certains fillers semblent au contraire augmenter le fluage et le retrait des BAP.

Les résultats des flèches différées pour les différents modèles prédictifs sont assez dispersés. Quelques modèles reproduisent de manière satisfaisante les valeurs mesurées, d'autres modèles reproduisent bien la tendance de l'évolution de la fonction de fluage, mais prédisent une valeur différée assez éloignée des résultats expérimentaux. Les écarts importants remarqués entre résultats théoriques et expérimentaux peuvent avoir comme cause la mauvaise prise en compte de quelques paramètres liés à la composition du béton dans les équations propres à chaque modèle de prédiction. Ce constat est cité par différents auteurs [PRO 02], [BEN 05], [PON 08]. Cette comparaison met en évidence l'incapacité des règlements à représenter correctement ces déformations, à l'exception du modèle américain B3 qui a donné des résultats de fluage très satisfaisants. En examinant profondément ce modèle, nous pensons que la prise en compte du fluage spécifique $C(t, t_0)$ dans sa fonction fluage au lieu du coefficient de fluage $\Phi(t, t_0)$ (dans le cas des autres modèles), est plus adéquate, sans oublier sa dépendance d'un module de raideur constant $E(t_0)$ ou (E_{i28}) , alors que celui-ci évolue en réalité dans le temps. C'est pour cette raison que ce modèle américain représente mieux la fonction de fluage.

Les formules ACI, CEB-FIP MC90 et EC02 conduisent respectivement à des écarts moyens par rapport aux résultats expérimentaux d'environ 46 %, 32 % et 22 % respectivement, alors que cet écart est uniquement de l'ordre de 4 % pour le modèle B3. Nous pouvons en déduire également que la plupart de ces modèles sous-estiment le fluage pour toutes les configurations et démontrent des imprécisions en n'intégrant en général que les paramètres de résistance en compression, et module d'élasticité du béton. Pour les trois bétons étudiés avec n'importe quel taux de chargement appliqué, et quel que soit le modèle utilisé, les vitesses de déformation sont plus importantes pour les trois premières semaines. Mais à partir du 60ème jour, une stabilisation des flèches totales est observée, avec une augmentation légèrement rapide du fluage pour le chargement le plus important 40%. Nous remarquons aussi que les flèches totales mesurées et celles prédites par les quatre modèles augmentent progressivement en fonction du taux de chargement. Ce dernier a également une influence sur

les cinétiques et l'intensité de fluage. Le principe de proportionnalité de la déformation de fluage par rapport à la contrainte appliquée serait donc vérifié.

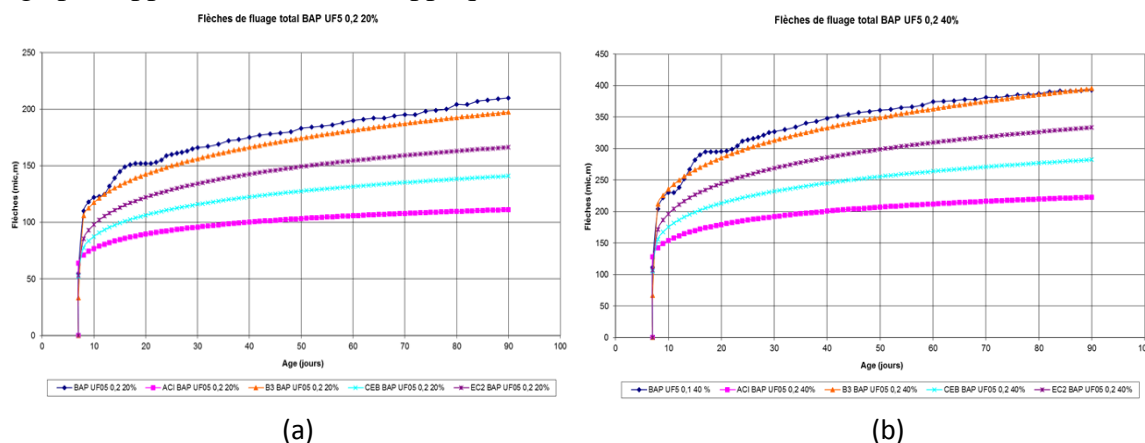


Figure 5. Représentation graphique des flèches expérimentales et théoriques pour le BAP UF05 0.2 pour les taux de chargement de 20% (a) et 40% (b)

5. Conclusion

Le développement des formulations du matériau béton dans ces dernières décennies a provoqué l'orientation des recherches actuelles sur le thème de sa durabilité à long terme surtout vis-à-vis des déformations différées. Les modèles de calcul et de prédiction de ces déformations ont été surtout développés pour le béton traditionnel vibré, et l'application des règlements et des codes en vigueur pour les nouveaux bétons posent actuellement des problèmes et sous-estiment, généralement, l'effet du fluage lors de la conception des structures et des ouvrages d'art. Cette remarque a été relevée par différents auteurs ([REV 09], [RAP 02]) qui ont précisé que même pour des configurations simples (essais de compression uniaxiale), les modèles réglementaires (ACI, EC2,...) ne permettent pas de reproduire correctement les résultats expérimentaux.

Notre travail a été porté sur l'application des modèles réglementaires, d'une large utilisation, pour l'estimation du fluage de poutrelles confectionnées à base de bétons autoplacants, en faisant varier la finesse de l'addition calcaire (filler), son pourcentage (rapport F/L) et le taux de chargement, sous une sollicitation simple de flexion quatre points. Les résultats de la confrontation montrent que :

- Les valeurs des flèches instantanées estimées par les différents modèles ne reflètent pas celles obtenues expérimentalement. Toutefois, le modèle ACI 209 reste le plus performant.
- La forme générale des courbes représentatives du fluage a été respectée par tous les modèles réglementaires étudiés, même si ces derniers sous-estiment ce phénomène. Donc, on peut dire que la cinétique de déformation est presque la même entre flèches théoriques et expérimentales.
- Les modèles qui reproduisent le mieux les déformations mesurées, dans le plus grand nombre de cas, sont les modèles américains ACI 209 et B3.
- La courbe de flèche de fluage obtenue par le modèle ACI 209 converge dans le temps d'une façon progressive de la courbe expérimentale, et ça, quel que soit le rapport F/L, la finesse du filler calcaire ainsi que, pour les deux taux de chargement appliqué. La valeur de la flèche expérimentale à 90 jours est identique à celle calculée par ce modèle. Donc, l'estimation de fluage à long terme par le modèle ACI 209 semble très correcte.

A partir de cette étude, nous pouvons confirmer que les modèles réglementaires ne prédisent pas d'une façon fiable, les déformations de fluage, et que leur application lors de la conception des structures à base de bétons autoplacants donne des résultats incertains. De cet état de fait, il convient d'axer plus de recherches dans ce domaine avec calage de ces modèles afin qu'ils deviennent plus crédibles.

6. Bibliographie

- [BAL 09] BAL L. , « *Modélisation du retrait et du fluage du béton par réseaux de neurones* », Thèse de doctorat d'Université des Sciences et technologies de LILLE 2009.
- [BAZ 08] BAŽANT Z.P., LI G.-H., YU Q., « *Explanation of excessive long-time deflections of collapsed reconrd-span box girder bridge in Palau* », Preliminary report, presented at Concreep8, Japan, 2008.
- [CAR 06] CARLSWÄRD J., « *Shrinkage cracking of steel fibre reinforced self compacting concrete overlays Test methods and theoretical modelling* », Doctoral Thesis, Luleå tekniska university, Sweden 2006
- [REV 09] REVIRON N., « *Etude du fluage des bétons en traction. Application aux enceintes de confinement des centrales nucléaires à eau sous pression* » thèse de doctorat de l'École Normale Supérieure De Cachan, Mars .2009.
- [MAK 11] MAKANI A., « *Influence de la nature minéralogique des granulats sur le comportement mécanique différé des bétons* », Thèse de doctorat de l'université de Toulouse, 2011, p 41.
- [BIS 07], BISSONNETTE B., PIGEON M., VAYSBURD A., « *Tensile Creep of concrete : study of its sensitivity to basic parameters* », ACI Materials journal, vol. 104, n° 4, p. 360 – 368, 2007.
- [NOR 10] NORMES, « *Liants, Bétons et Granulats* », Recueil des normes Algériennes, secteur des travaux publics, Décembre 2010
- [NOR 95] NORME FRANÇAISE NF P 18-508, « *Additions pour béton hydraulique – Additions calcaires - Spécifications et critères de conformité* », AFNOR, juillet 1995.
- [AFG 00] AFGC, « *Recommandations de l'Association Française de Génie Civil* », Bétons Auto-Plaçants Recommandations Provisoires, Juin 2000.
- [EGS 05] EGSCC, « *The European Guidelines for Self- Compacting Concrete*», specification, production and use/BIBM, CEMUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO//May 2005.
- [RIL 01] RILEM 2001, « *Self-Compacting Concrete. State-of-the-art report of RILEM Technical Committee 174-SCC* », Edited by A. Skarendahl and O. Petersso, RILEM Publications, France, 2001.
- [PRO 02] PROUST E., « *Retrait et fluage des bétons autoplaçants : vers une meilleure compréhension des comportements différés* », Thèse de doctorat de l'INSA de Toulouse, 2002.
- [CHA 08] CHABANE A., « *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.
- [EUR 92] EUROCODE 02, « *Design of concrete structures* », Concrete bridges, 1992.
- [CEB 93] COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON (CEB) (1993) « *Structural effects of time – dependent behaviour of concrete* ». Bulletin d'Information CEB. 1993, No.215, p.15 – 24.
- [ACI 92] ACI COMMITTEE 209-95, « *Prediction of creep, shrinkage and temperature effects in concrete structures* », ACI Manual of Concrete Practice: Materials and General Properties of Concrete. 1992, Part1.
- [BAZ 95] BAZANT Z. P., BAWEJA S., « *Creep and shrinkage prediction model for analysis and design of concrete structures- model B3* », Materials and Structures, 28(6), 357-365.,1995
- [BOU 14] BOUKEZZOULA A., CHABANE A. LASSOUED R., AGGOUN S., « *Application des modèles réglementaires pour la prédiction du fluage des BAP en flexion* », Journées scientifiques franco- maghrébines: outils et méthode caractérisation mécaniques des matériaux complexes, 22 et 23 octobre, Hammamet, Tunisie 2014
- [TUR 04] TURCRY P., « *Retrait et fissuration des bétons autoplaçants- Influence de la formulation* », thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes et Université de Nantes, 2004.
- [BEN 05] BENBOUDJEMA F. & AL, « *Effets différés. Fluage et retrait, Comportement mécanique du béton* », sous la direction de J.-M. Reynouard et G. Pijaudier-Cabot, Hermès, 2005.
- [PON 08] PONS ET TORRENTI, « *Retrait et fluage. La durabilité des bétons, Bases scientifiques pour la formulation de bétons durables dans leur environnement* », Sous la direction de Jean-Pierre Ollivier et Angélique Vichot, Presses de l'École nationale des Ponts et chaussées, Paris.2008.
- [RAP 02] RAPHAEL W., KADDAH F., GEARA F., FAVRE J.-L., CALGARO J.-A., « *Nouveau modèle de calcul pour la prédiction du fluage du béton* », annales du bâtiment et des travaux publics, 2002.