

17^e édition des Journées scientifiques
du Regroupement francophone pour la recherche et la formation sur le béton
(RF)²B

IFSTTAR, Marne-la-Vallée, France
7 et 8 juillet 2016

SUIVI DES PROPRIETES VISCOELASTIQUES DE BETON DEPUIS LA PRISE

B. Delsaute^{A,B}, C. Boulay^B, J.-M. Torrenti^B, S. Staquet^A
A BATir, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgique
B MAST, IFSTTAR, Université Paris Est, Paris, France

RÉSUMÉ : Le but de cet article est de présenter une nouvelle méthodologie expérimentale permettant de caractériser le comportement du phénomène de fluage et de relaxation depuis la fin de prise au moyen :

- d'un essai de chargement répété de courte durée durant lequel, toutes les 30 minutes, une charge représentant 20% de la résistance au moment du chargement est appliquée pendant 5 minutes,
- d'un essai à chargement constant durant lequel une charge représentant 40% de la résistance au moment du chargement est appliquée pendant 7 jours.

Les résultats expérimentaux sont comparés à des paramètres microstructuraux (CSH et porosité capillaire) afin d'identifier les mécanismes physiques responsable du phénomène de fluage. Cette étude est effectuée sur un béton ordinaire, à 20°C et en condition scellée.

1. INTRODUCTION

Le dimensionnement de structure en béton est basé sur des règles de calcul, ces règles ne considèrent généralement pas le comportement au très jeune âge du béton. Au jeune âge, lors de leur hydratation, les éléments en béton passent par deux périodes bien distinctes. Une période de chauffe durant laquelle le dégagement de chaleur du béton est très élevé et entraîne une augmentation significative en température de l'élément en béton. Ensuite, le dégagement de chaleur du béton décroît fortement et/ou l'élément en béton est décoffré résultant en une diminution en température de l'élément en béton. Pour les structures massives, lorsque les déplacements de l'élément en béton sont totalement ou partiellement restreints, l'élément en béton dans son ensemble est d'abord comprimé et ensuite tendu. En outre, les gradients thermiques sont inhomogènes et provoquent des contraintes locales supplémentaires dans la structure (Knoppik-Wróbel et al. 2015). Lorsque les déformations entravées induisent des contraintes de traction dans le béton, il y a alors un risque de fissuration. Pour correctement caractériser ce risque il est nécessaire de connaître les propriétés thermo-chimiques (dégagement de chaleur, coefficient de dilatation thermique et déformations endogènes) et les propriétés viscoélastiques (module d'élasticité et fonction de fluage) du béton afin de déterminer les déformations restreintes et les contraintes associées. Les équations permettant de relier les déformations du béton aux contraintes sont basées sur le principe de superposition et sont données ci-dessous (équation [1] et [2]). Il est à noter que le phénomène de séchage n'est pas considéré dans cette recherche.

$$\varepsilon_{tot} = \varepsilon_{th} + \varepsilon_{end} + \varepsilon_{el} + \varepsilon_{fl} \quad [1]$$

$$J(t, t') = \frac{1}{E(t')} + J^*(t, t') = \frac{1 + \varphi(t, t')}{E(t')} \quad [2]$$

Où ε_{tot} sont les déformations totales, ε_{th} sont les déformations thermiques, ε_{end} sont les déformations endogènes, ε_{el} sont les déformations élastiques, ε_{fl} sont les déformations de fluage, t est l'âge du béton (h), t' est l'âge du béton au chargement (h), E est le module d'élasticité du matériau (MPa), J est la fonction de fluage (m/m/MPa), J^* est la fonction de fluage spécifique (m/m/MPa) et φ est le coefficient de fluage (/).

Cet article a pour objectif de suivre le comportement viscoélastique du béton depuis le très jeune âge au moyen d'une nouvelle méthodologie expérimentale basée sur :

- Un essai de chargement cyclique durant lequel une éprouvette est chargée à 20% de sa résistance toutes les 30 minutes depuis la prise, est maintenue en charge durant 5 minutes et puis déchargée jusqu'au prochain cycle.
- Un essai classique de fluage en compression où la charge est maintenue à 40% de la résistance en compression durant une semaine.

Cette étude est réalisée sur un béton ordinaire à 20°C et en condition endogène.

2. PROCÉDURE EXPERIMENTALE

2.1 Composition du béton

Les essais présentés dans ce papier ont été réalisés sur un béton ordinaire avec un rapport eau-ciment de 0.54 et une classe de résistance C40/50 dont la composition est donnée au Tableau 1. Tous les matériaux proviennent d'un même lot de production. Un ciment de type CEMI 52.5 N est utilisé. La composition chimique de ce ciment est donnée au Tableau 2.

Tableau 1. Composition et caractéristiques mécaniques

Composition		Caractéristiques mécaniques			
Composant	Masse (kg/m ³)	Age (jour)	f_c (MPa)	f_t (MPa)	E (MPa)
CEMI 52.5 N PMES CP2	340	1	11.8	1.1	22.9
Sable (Bernières 0/4)	739	3	27.4	2.7	32.4
Granulat (Bernières 8/22)	1072	7	31.5	2.8	36.4
Eau totale	184	28	39.3	3	39.7

Plusieurs propriétés mécaniques ont été caractérisées à l'IFSTTAR, l'ULB et l'Université de Minho. L'évolution depuis la prise de la résistance en compression et en traction, du dégagement de chaleur, du module d'élasticité et le temps de prise ont été présentés dans (Boulay et al. 2014) et (Delsaute et al. 2016). Des valeurs de résistance à la compression sur cylindre (f_c), de résistance à la traction (f_t) et de module d'élasticité sont donnés au Tableau 1. Les temps de début et fin de prise ont été définis selon (Carette et al. 2016) au moyen de la transmission d'ondes ultrasonores de compression et de cisaillement et sont respectivement de 5.82 heures et 6.73 heures.

Tableau 2. Composition chimique du ciment

Elément	Clinker	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	MgO	Gypse	Perte au feu
teneur (%)	98.5	62	16	2.1	15.2	1.1	2.4	0.9

2.2 Dispositifs de mesure

2.2.1 Bâti de fluage en compression

Les essais de fluage en compression ont été réalisés sur un dispositif conçu à l'ULB. La charge est appliquée en mettant en pression un vérin plat jusqu'à l'obtention de la charge désirée. Un capteur de force est placé sur le haut de l'éprouvette. La dimension du vérin plat est adaptée en fonction de l'intensité de la charge appliquée. Des pièces de transition ont été placées entre les vérins plats et le bas de l'éprouvette afin d'assurer une bonne transmission et stabilité de la charge sur l'éprouvette et une très faible excentricité. Les déplacements sont mesurés avec un extensomètre composé de deux anneaux en aluminium espacé de 200 mm et de trois barres en Invar® supportant 3 capteurs de déplacement (Solartron LE2 avec une portée de 2mm) placé à 120°. Pour chaque essai, deux éprouvettes jumelles sont produites afin de suivre les déformations libres de l'éprouvette. Le suivi de la température est réalisé dans la salle d'essai et dans les éprouvettes jumelles avec l'insertion de thermocouple dans les moules des éprouvettes jumelles avant coulage. Les mesures des déplacements, forces et températures sont enregistrées automatiquement sur un ordinateur. Les éprouvettes sont cylindriques avec une hauteur de 320 mm et un diamètre de 100 mm. Pour protéger les éprouvettes du séchage, deux couches de feuille autocollante sont placées tout autour de l'éprouvette. Les essais sont réalisés dans une salle climatisée à 20°C et 50% HR.

2.2.1 TSTM (Temperature Stress Testing Machine)

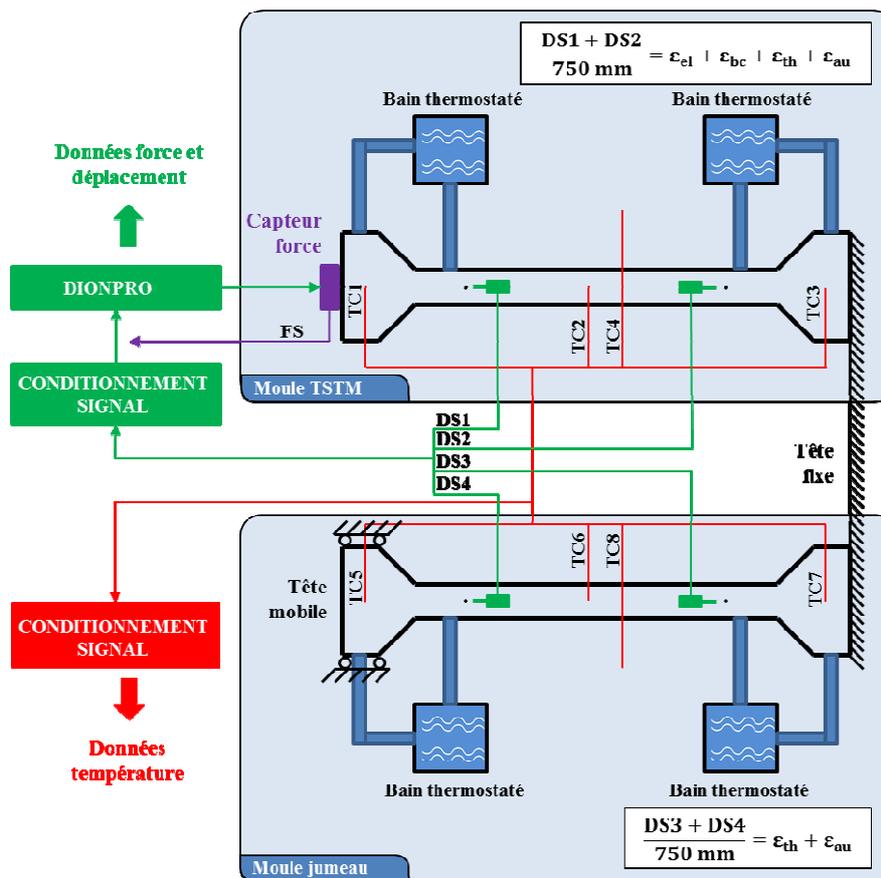


Figure 1. Schéma de principe de fonctionnement du dispositif TSTM

Le dispositif TSTM permet de réaliser le suivi du retrait empêché. Une version revisitée a été développée à l'ULB pour d'autres applications telles que l'étude du fluage et de la relaxation (Staquet et al. 2012). Le

dispositif est composé d'une presse électromécanique permettant de réaliser des chargements en traction et en compression allant jusqu'à 400 kN. La presse est totalement programmable et pilotable (en force ou déplacement) par ordinateur. Le schéma de fonctionnement du dispositif TSTM se trouve à la Figure 2. L'éprouvette a une forme d'os et est composée d'une travée centrale d'un mètre de long et d'une section carré de 100 mm de côté. Ces dimensions permettent de réaliser des essais avec des granulats de 20 mm de diamètre maximum. Le suivi de la température est réalisé avec un thermocouple se trouvant au milieu de la travée. Le moule est entouré par une régulation thermique et contrôlé en température.

Le moule est couvert d'une couche de feuille de PTFE (poly-tetra-fluoroéthylène) et d'un film plastique (en contact avec le béton) afin de réduire le frottement entre le moule et le béton. La salle d'essai est climatisée à 20°C et 50% HR.

Les déplacements sont mesurés avec deux capteurs de déplacement à courant de Foucault sans contact placés sur des supports en Invar® qui sont eux-mêmes fixés sur des barres en acier. Les capteurs sont espacés de 750 mm et mesurent les déplacements sur la travée centrale (là où le champ de déplacement est uniforme). Le suivi des déformations libres est réalisé sur une éprouvette jumelle possédant exactement les mêmes dimensions que la première. La seule différence provient du mouvement libre d'une des têtes du moule.

Pour la réalisation des essais de relaxations, le contrôle du dispositif TSTM est réalisé par la soustraction en temps réel des déplacements du moule TSTM et du moule jumeau. Cette soustraction permet de piloter le dispositif TSTM à partir des déformations mécaniques.

3. RESULTATS EXPERIMENTAUX

3.1 Programme expérimental

Deux essais de chargement répété de courte durée ont été réalisés pour déterminer les propriétés de fluage et de relaxation en compression pour de faible durée de chargement (5 minutes) depuis la prise. Ces essais ont été réalisés avec le dispositif TSTM. Des essais avec un chargement maintenu durant 6 jours ou plus ont été réalisés à des âges au chargement de 15 – 20 – 24 – 40 et 72 heures. Pour chacun de ces âges au chargement, les essais ont été réalisés sur 3 éprouvettes. Une très bonne répétabilité des résultats a été observée.

3.2 Essai de chargement permanent

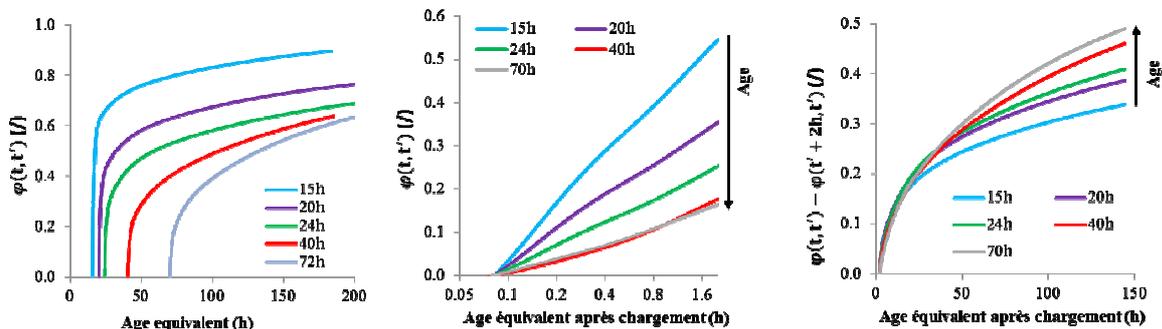


Figure 2. a) coefficient de fluage pour plusieurs âges au chargement - b) zoom sur les deux premières heures de chargement du coefficient de fluage - c) Mise à zéro des coefficients de fluage en compression après deux heures de chargement

Les chargements ont été appliqués à plusieurs âges (15 – 20 – 24 – 40 et 72 heures) durant une semaine. Un niveau de contrainte de 40% de la résistance en compression au chargement a été choisi afin d'obtenir des mesures suffisamment significatives tout en évitant un couplage entre le fluage et l'endommagement. A la Figure 3a se trouve l'évolution du coefficient de fluage du béton pour les différents âges au chargement. L'amplitude du coefficient de fluage est fortement dépendante de l'âge au chargement. Pour un chargement appliqué au très jeune âge, le coefficient de fluage évolue surtout durant les premières heures après application de la charge. Afin d'illustrer cette observation, le coefficient de fluage est séparée en deux parties. Les deux premières heures de chargement sont données à la Figure 3b en échelle logarithmique et l'évolution entre 2 heures et 140 heures de chargement est donnée à la Figure 3c (les données sont mises à zéro après une durée de chargement de 2 heures). Durant les deux premières heures de chargement, l'amplitude du coefficient de fluage est fortement dépendante de l'âge au chargement et évolue avec une même cinétique qui est de type logarithmique. Après deux heures de chargement, la cinétique et l'amplitude du coefficient de fluage semble peu dépendante de l'âge du matériau pour des âges au chargement allant de 15 à 72 heures. Donc, l'âge du matériau influence particulièrement le phénomène de fluage durant les premières heures de chargement.

3.3 Essai de chargement répété de courte durée

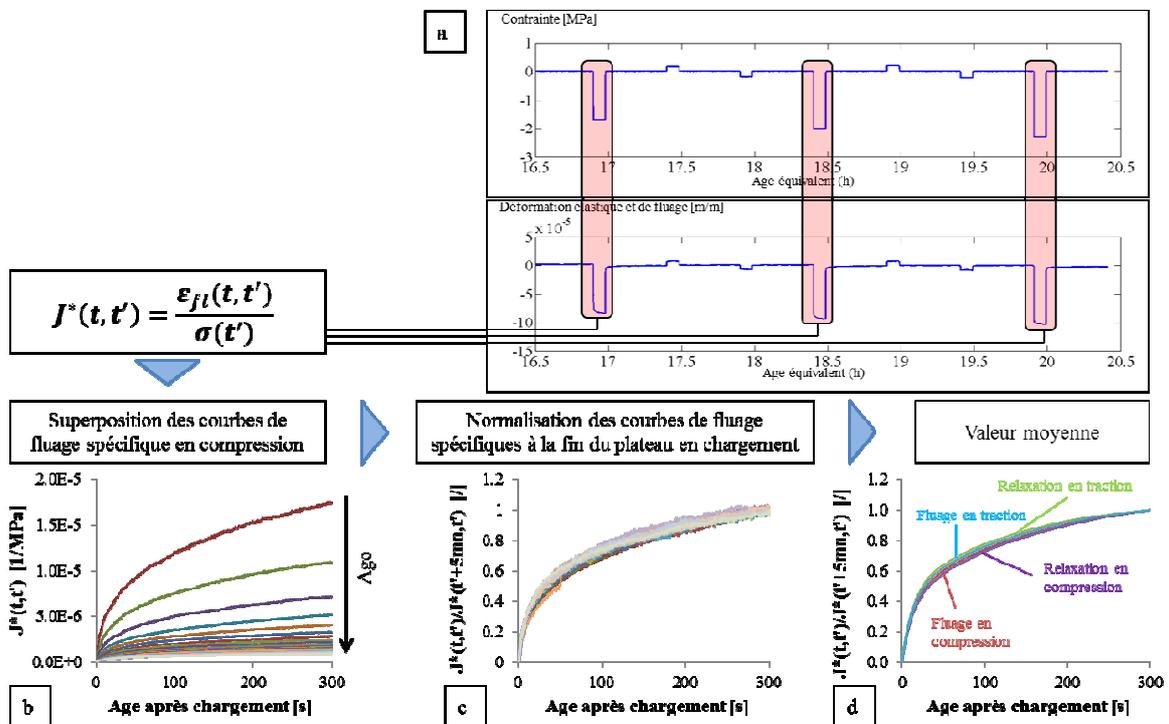


Figure 3. Chargement répété de courte durée. a) résultats expérimentaux - b) superposition des courbes de fluage spécifique en compression - c) Superposition des courbes de fluage spécifiques normalisées à la fin du plateau en chargement - d) Comparaison des courbes moyennes normalisées de fluage et relaxation en traction et en compression.

Suite aux observations réalisées ci-dessus, un nouveau protocole d'essai a été développé en vue de suivre le vieillissement de la fonction de fluage et de relaxation pour de courte durée de chargement. Toutes les 30 minutes, une charge est appliquée en 10 secondes (TSTM) sur une même éprouvette. La charge (fluage) ou le déplacement (relaxation) est maintenu constant durant 5 minutes. L'éprouvette est ensuite déchargée totalement jusqu'au prochain cycle. Le déplacement maintenu constant durant les cycles de relaxation correspond au déplacement mécanique de l'éprouvette (soustraction en temps réel du déplacement du moule chargé et du déplacement du moule de retrait libre). La charge est limitée à 20% de la résistance au chargement afin de ne pas provoquer d'endommagement ou des effets de

fatigue à l'éprouvette. Afin de s'assurer qu'aucun effet irréversible ne soit provoqué par ces chargements répétés de courte durée, deux vérifications ont été réalisées. Une comparaison des déformations libres des éprouvettes chargées et non chargées a été effectuée. L'évolution des déformations en fin de cycle de l'éprouvette chargée correspondent aux déformations de l'éprouvette non chargée. Des essais de module d'élasticité ont été réalisés à différents âges sur des éprouvettes n'ayant jamais été chargées auparavant. Les valeurs de module obtenues sont très proches des valeurs obtenues avec les essais de chargement répété de courte durée. Ces deux vérifications permettent de valider le protocole de chargement. Le protocole de chargement est illustré à la Figure 4a. Les déplacements (de l'éprouvette chargée et non chargée) et la force appliquée sont enregistrés durant l'entièreté de l'essai.

3.3.1 Module d'élasticité

L'essai débute 1 heure après la fin de prise du matériau. La durée totale de l'essai est de 1 semaine. Le module d'élasticité est défini lors de chaque chargement et déchargement selon la méthode défini dans (Delsaute. et al. 2016). Les résultats du module d'élasticité sont donnés à la Figure 5. Ces résultats ont été comparés avec le dispositif BTJASPE développé à IFSTTAR (Boulay. et al. 2014).

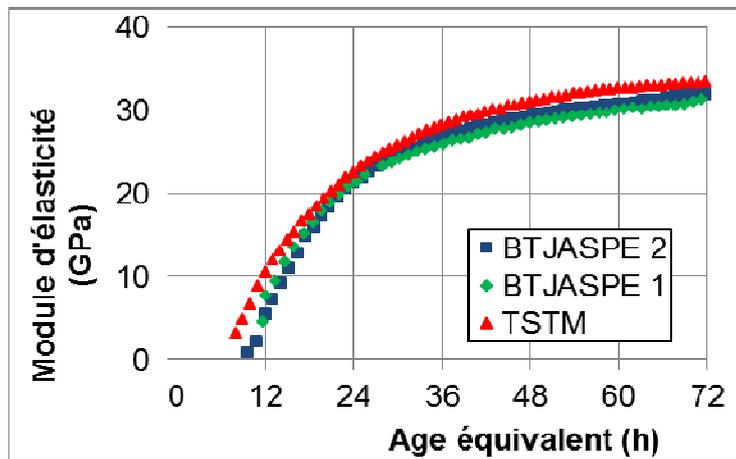


Figure 4. Evolution du module d'élasticité

3.3.1 Facteur de vieillissement du coefficient de fluage

Pour chaque plateau en force ou en déplacement, les déformations et les contraintes sont définies afin de déterminer la fonction de fluage spécifique ou la fonction de relaxation. À la Figure 3b, l'évolution de la fonction de fluage spécifique est extraite des données expérimentales pour chaque âge au chargement et est fonction du temps après chargement. Toutes les courbes de la fonction de fluage spécifique sont alors superposées sur un même graphe. L'effet de l'âge du matériau sur l'amplitude de J^* est très visible, et particulièrement pour des âges au chargement proche de la prise. À la Figure 3c, toutes les courbes J^* sont normalisées par leur valeur obtenue après 5 minutes de chargement. Chacune des fonctions de fluage spécifiques suit une même cinétique quel que soit l'âge du béton au chargement. Le même traitement a été effectué pour les courbes de relaxation en compression. Une même cinétique a aussi été observée pour chaque type d'essai quel que soit l'âge au chargement. La moyenne des courbes normalisées est donnée à la Figure 3d. Pour chaque essai, les courbes moyennes se superposent (Boulay et al. 2012)(Delsaute et al. 2012). Dès lors, pour de courte durée de chargement, la fonction de fluage et de relaxation peut être divisée en deux termes :

- Un terme relatif à la cinétique du coefficient de fluage, indépendant de l'âge au chargement et similaire en traction et en compression.
- Un terme d'amplitude qui est fonction de l'âge au chargement.

4. DISCUSSION

4.1 Comparaison entre les essais de chargement permanent et de courte durée

Le terme d'amplitude, noté A, est défini comme étant le rapport entre les déformations de fluage après 5 minutes de chargement et les déformations élastiques ce qui correspond à la valeur du coefficient de fluage pour une durée de chargement de 5 minutes. L'évolution de A provenant des essais de chargement répété de courte durée est comparée à l'évolution du coefficient de fluage obtenue pour un temps après chargement de 2 heures (provenant des essais de longue durée). Pour réaliser cette comparaison, chacune des courbes est normalisée par sa valeur respective obtenue à un âge au chargement de 24 heures (le choix de l'âge au chargement avec lequel les courbes sont normalisées est complètement arbitraire). Les résultats de cette comparaison sont donnés à la Figure 6. L'évolution obtenue pour chacune des courbes provenant des essais cycliques ou des essais de longue durée sont très proches. Cette observation a aussi été réalisée pour des essais de relaxation en compression. Il peut dès lors être conclu que le terme d'amplitude défini au moyen des essais de chargement répété de courte durée permet de définir le vieillissement de la partie court terme du coefficient de fluage.

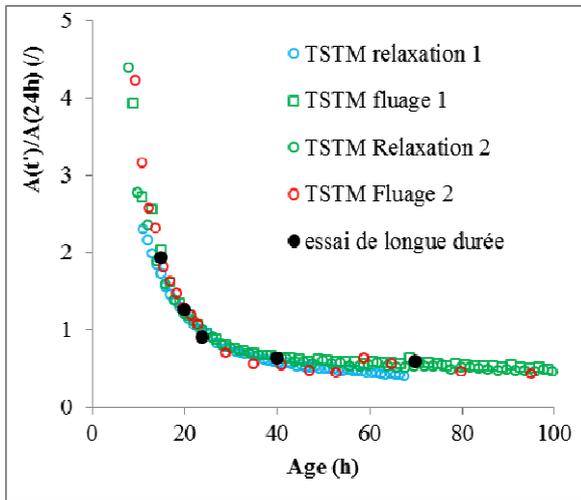


Figure 5. Evolution normalisée à 24 heures d'âge du facteur d'amplitude de fluage défini avec les essais de chargement répétés de courte durée et du coefficient de fluage obtenu après 2 heures de chargement provenant des essais de chargement permanent.

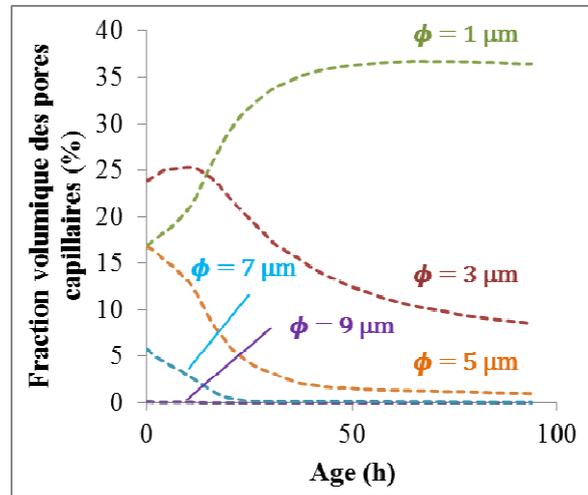


Figure 6 – Distribution de la fraction volumique des pores capillaires pour différents diamètres de pores en fonction de l'âge du matériau

4.2 Interprétation microstructurale

A travers les résultats expérimentaux obtenus, deux principales observations ont été réalisées:

- L'amplitude du coefficient de fluage est fortement dépendante de l'âge au chargement durant les premières heures après chargement.
- Après les premières heures de chargement, l'effet de l'âge au chargement est nettement moins marqué. Cependant la tendance générale montre qu'au plus l'âge au chargement est élevé au plus le coefficient de fluage évolue fortement après les premières heures de chargement.

Pour comprendre les mécanismes physiques responsables de ce comportement, l'évolution de la microstructure de la pâte de ciment du béton ordinaire a été calculée avec le logiciel VCCTL (V9.5.). Deux paramètres sont étudiés : l'évolution de la fraction volumique des pores capillaires et des CSH. La

porosité capillaire est liée au transport d'eau induit par l'application d'une charge (Acker et al. 2001). L'évolution de la fraction volumique de CSH est liée à l'augmentation des propriétés mécaniques de la pâte de ciment. Cette évolution a pour effet de rigidifier le matériau durant le chargement (Bazant et al. 1989).

La distribution de la fraction volumique de pores capillaires de différents diamètres est donnée à la Figure 7. Différentes tendances sont observées selon le diamètre des pores. Pour des pores de diamètre supérieur à 5 μm , une forte diminution de la fraction volumique a lieu durant les 24 premières heures. Après cette période, une diminution plus lente est observée. La fraction volumique des plus grands pores capillaires suit donc la même tendance que le facteur d'amplitude de fluage obtenu avec les essais de chargement répété de courte durée. A la Figure 7, la fraction volumique des pores capillaires de diamètre compris entre 5 et 9 μm est comparée à l'évolution du facteur d'amplitude de fluage. Les évolutions des deux paramètres sont normalisées par leur valeur respective obtenue à un âge de 24 heures. Les deux paramètres se corrèlent très bien et particulièrement durant les premières heures après la prise du matériau. Après un âge de 24 heures, cette correspondance n'est plus aussi bonne. En effet, une diminution plus forte des pores capillaires est observée. Il est néanmoins observé que le fluage, durant les premières heures après la prise du matériau, est fortement lié à la diminution des pores capillaires de diamètre supérieur à 5 μm . Ce mécanisme est alors associé à l'état du matériau lors de l'application de la charge et n'est en rien relatif à l'évolution de ce matériau durant le chargement.

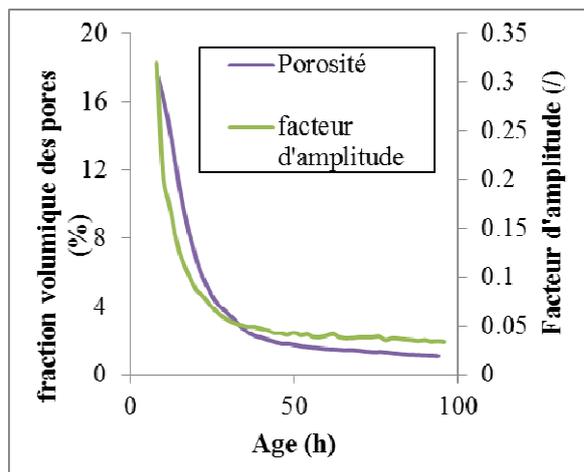


Figure 7. Evolution de la fraction volumique de pore capillaire (diamètre entre 5 et 9 μm) et le facteur d'amplitude de fluage

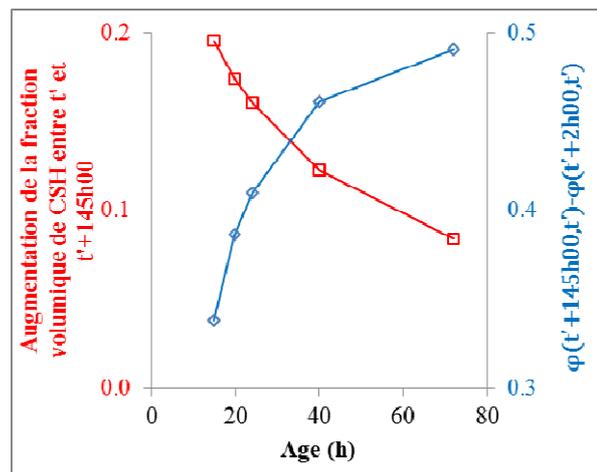


Figure 8. Evolution de l'augmentation de CSH durant 145 heures de chargement et de l'augmentation du coefficient de fluage après les 2 premières heures de chargement.

La seconde observation est reliée au phénomène de solidification du matériau [BAZ]. Cette théorie décrit le comportement viscoélastique d'un matériau cimentaire par la considération de nouveau produit d'hydratation durant le chargement. Quand une charge est appliquée, les produits d'hydratations sont considérés dans la réponse élastique du matériau. Si la charge est maintenue constante, de nouveaux produits d'hydratation se formeront sous charge dans les pores capillaires et porteront aussi la charge. Les hydrates déjà formés seront alors partiellement déchargés suite à la création des nouveaux hydrates. Cette décharge partielle des hydrates a pour conséquence de diminuer l'amplitude du fluage. Dans le cadre de cette étude, seuls les CSH seront considérés comme produit d'hydratation reprenant la charge. Entre la prise et un âge de 72 heures, la fraction volumique de CSH augmente de 0.01 à 0.16 ce qui correspond à 3.7% et 56% de la quantité de CSH existant à un âge de 28 jours. La fraction volumique de CSH est donnée au Tableau 3 pour les différents âges au chargement et aussi pour des âges correspondant à l'âge obtenu après 145 heures de chargement. La fraction volumique de CSH formée durant les 145 heures de chargement est aussi donnée. La formation de CSH durant les 145 premières de chargement diminue fortement en fonction de l'âge au chargement. A la figure 8, la formation de CSH

durant les 145 premières heures de chargement est comparée à l'augmentation du coefficient de fluage entre 2 heures et 145 heures de chargement pour les différents âges au chargement. Cette comparaison est cohérente avec la théorie de la solidification [BAZ]. Pour des chargements effectués au très jeune âge, l'augmentation de CSH est très importante alors que l'augmentation du coefficient de fluage après 2 heures de chargement est assez faible. Pour des chargements appliqués plus tardivement, l'augmentation de la fraction volumique de CSH évolue de manière inversement proportionnelle à l'augmentation du coefficient de fluage après 2 heures de chargement. Ces observations permettent d'expliquer pourquoi, après quelques heures de chargement, le coefficient de fluage évolue plus fortement pour des âges au chargement plus élevés. Il est donc observé que le second mécanisme est associé à la solidification de la pâte de ciment durant le chargement qui est liée à la formation de CSH.

Tableau 3. Evolution de la fraction volumique de CSH pour les différents âges au chargement.

Age (h)	Fraction volumique de CSH (I)	Age + 145h00 (h)	Fraction volumique de CSH (I)	Différence de fraction volumique de CSH (I)
15	0.030	160	0.226	0.195
20	0.054	165	0.228	0.174
24	0.069	169	0.230	0.161
40	0.113	185	0.235	0.123
72	0.161	217	0.245	0.084

Toutes les observations expérimentales ont été comparées à l'évolution de la microstructure de la pâte de ciment. De très bonnes corrélations ont été obtenues. Cependant, un paramètre important n'a pas été considéré dans cette étude : la micro-fissuration qui a lieu dans la pâte de ciment et à l'interface entre la pâte de ciment et les inclusions rigides. Dans le futur, ce paramètre devrait aussi être considéré.

5. Conclusion

Une nouvelle méthodologie expérimentale est présentée et permet de caractériser le comportement viscoélastique en compression du béton depuis la fin de prise au moyen d'un essai de chargement répété de courte durée (5 minutes) et d'un essai à chargement constant d'une durée d'une semaine. Les résultats provenant des essais de chargement répété de courte durée permettent de définir l'évolution du module d'élasticité et du facteur de vieillissement du coefficient de fluage pour les premières heures de chargement. Les résultats provenant de l'essai de chargement d'une durée de 7 jours permettent de définir le coefficient de fluage pour des durées dépassant les premières heures après chargement (après plusieurs heures de chargement, l'effet de l'âge au chargement est peu marqué).

Une comparaison entre les résultats obtenus et l'évolution de la microstructure de la pâte de ciment a été réalisée. Il a pu être mis en évidence que le fluage à court terme est divisé en deux mécanismes :

- Le premier mécanisme est associé à l'état du matériau (pores capillaires, CSH...) au moment du chargement et ce mécanisme est fortement lié aux pores capillaires de grand diamètre dont la fraction volumique diminue très rapidement durant le très jeune âge.
- Le deuxième mécanisme est lié à la solidification de la pâte de ciment durant le chargement qui est liée à l'évolution de la fraction volumique de CSH.

Ce travail doit être étendu à d'autres compositions (composition avec laitier, composition à faible rapport eau-ciment...), à des essais de fluage en traction de longue durée, à des niveaux de chargement plus important et à des températures variables.

Références

Boulay C., Crespini M., Delsaute B., Staquet S. (2012) Monitoring of the creep and the relaxation behavior of concrete since setting time, part1: compression, *Proc. Of SSCS 2012*, Aix en Provence, France: 10.

- Boulay C., Staquet S., Delsaute B., Carette J., Crespini M., Yazoghli-Marzouk O., Merliot E., Ramanich S., (2014) How to monitor the modulus of elasticity of concrete, automatically since the earliest age, *Materials and structures*, vol. 47, no 1-2: 141-155.
- Carette J., Staquet S., (2016) Monitoring the setting process of eco-binders by ultrasonic P-wave and S-wave transmission velocity measurement: Mortar vs concrete, *Constr. Build. Mater.*, vol. 110: 32–41.
- Delsaute B., Staquet S., Boulay C. (2012) Monitoring of the creep and the relaxation behavior of concrete since setting time, part2: tension, *Proc. Of SSCS 2012*, Aix en Provence: 10.
- Delsaute B., Boulay C., Granja J., Carette J., Azenha M., Dumoulin C., Karaiskos G., Deraemaeker A., Staquet S. (2016) Testing concrete E-modulus at Very Early Ages Through Several Techniques: An Inter-laboratory Comparison », *Strain*, vol. 52: 91-109
- Knoppik-Wróbel A., Klemczak B. (2015) Degree of restraint concept in analysis of early-age stresses in concrete walls, *Engineering Structures*, vol. 102: 369-386.
- Staquet S., Delsaute B., Darquennes A., Espion B. (2012) Design of a Revisited TSTM System for Testing Concrete Since Setting Time Under Free and Restraint Conditions, *Concrack 3 – RILEM-JCI Int. Work. Crack Control Mass Concr. Relat. Issues Concern . Early-Age Concr. Struct.*, Paris: 12.