Nouveau dispositif de fluage pour l'évaluation de l'effet de la précontrainte biaxiale sur les déformations différées du béton

Rita Tabchoury [1, 2]

[1] *Université de Toulouse, UPS, INSA, LMDC (Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions), 135, avenue de Rangueil, F-31 077 Toulouse Cedex 04, France)*

[2] *IRSN, 31 Av. de la Division Leclerc, 92260 Fontenay-aux-Roses, France*

RESUME De nombreux ouvrages en béton sont atteints de réactions de gonflement internes (RGI) pouvant affecter leur tenue en service. Pour être capable de modéliser l'évolution de leur comportement, des recherches doivent étudier les couplages avec des sollicitations mécaniques. De telles études demeurent néanmoins complexes à mettre en œuvre en laboratoire. Ceci est d'autant plus vrai pour un chargement en compression biaxiale représentatif des enceintes de confinement nucléaires précontraintes suivant deux directions. Or, le fluage du béton provoque des pertes de précontraintes pouvant compromettre leur fonction d'étanchéité si elles s'avéraient trop élevées dans certaines conditions. Un bâti original de fluage biaxial a été conçu pour tester des dalles en béton de 20x20x15 cm. Leurs déformations sont mesurées suivant les trois directions grâce à des capteurs à fibre optique noyés résistants aux conditions sévères nécessaires pour accélérer les RGI. L'analyse des résultats des essais réalisés montre que les déformations de fluage dépendent fortement des conditions de chargement. La distribution asymétrique des contraintes révèle l'importance de l'effet Poisson entre les deux directions. Les essais avec RGI étant toujours en cours, les résultats disponibles de fluage biaxial sans RGI constituent une base de données originales permettant de tester les modèles.

Mots-clefs Fluage Biaxial, Réactions de Gonflement Internes, expérimentations, Fibre Optique

I. INTRODUCTION

Les réactions de gonflement interne (RGI) constituent une problématique majeure pour de nombreux ouvrages en génie civil construits avant leur découverte. Ces pathologies pouvant se développer dans les bétons des ouvrages de génie civil nucléaire, elles pourraient affecter les caractéristiques mécaniques (module d'élasticité, résistances en traction et en compression) ainsi que les propriétés de transfert (perméabilité à l'air). Ces conséquences pourraient compromettre la sûreté des ouvrages. La réaction sulfatique interne (RSI) peut survenir dans les enceintes de confinement en raison de la nature massive de telles structures en béton. À un jeune âge, la réaction d'hydratation est exothermique, ce qui signifie que la chaleur générée au cœur par cette réaction n'aura pas le temps de s'évacuer ou de se dissiper à l'extérieur dans le cas de structures massives.

La présence de précontrainte, notamment dans les enceintes de confinement, atténue l'expansion liée à la pathologie dans les directions chargées, créant une anisotropie de déformations

potentiellement préjudiciable pour le comportement structural. En outre, l'élévation de la température dans les ouvrages influence les mécanismes du fluage et des RGI, entraînant une augmentation des cinétiques des déformations associées, justifiant ainsi son étude. Plusieurs essais de fluage biaxial ont été réalisés dans la littérature, le premier ayant été effectué en 1969 (Gopalakrishnan et al., 1969). Les résultats ont montré que le fluage sous compression biaxiale est inférieur à celui sous compression uniaxiale pour une même valeur de contrainte dans la direction donnée. Hilaire a réalisé un essai de fluage biaxial durant lequel les déformations dans les deux directions chargées ont été mesurées par corrélation d'images (Hilaire, 2014). L'évolution du fluage sous charge uniaxiale semble similaire au fluage sous charge biaxiale. Enfin, Kim et al. ont réalisé des essais de fluage, uniaxiaux, biaxiaux et triaxiaux. L'analyse des résultats a montré que les 3 valeurs de coefficient de Poisson, celui estimé lors du chargement, celui de fluage et enfin celui effectif (qui est la combinaison des deux) sont approximativement égaux pour chaque formulation de béton, et ils augmentent quand la résistance du béton augmente (Kim et al., 2005) (Kim et al., 2006). Des essais de compression biaxiale ont été réalisés à l'EDF en utilisant des vérins hydrauliques à faible débit pour assurer une stabilité de la contrainte appliquée sur les éprouvettes de béton (Charpin et al., 2018). Cependant, les déformations différées du béton ont été mesurées dans les deux directions de charge. Ce qui rend cette étude originale, c'est la mesure des déformations différées biaxiales du béton dans les trois directions de l'éprouvette, couplée avec les RGI.

Néanmoins, les évolutions des déformations dans toutes les directions chargées et libres d'un béton sous compression biaxiale atteint d'une RGI demeurent très peu étudiées. Cette étude a donc pour objectif d'évaluer le fluage en compression biaxiale, avec et sans couplage avec des RGI, afin de comprendre les mécanismes et couplages, et de tester, voire d'améliorer les modèles.

Afin d'atteindre cet objectif, huit bâtis de fluage de compression biaxiale ont été spécifiquement conçus pour permettre la réalisation d'essais couvrant l'ensemble des configurations Thermo-Hydro-Chemo-Mécanique (THCM). Diverses configurations de fluage ont été testées : compression uni-axiale, compression biaxiale, avec chargements symétriques et asymétriques. Les essais ont été réalisés avec des contraintes de 8,5 MPa et 12 MPa, représentatives de celles induites par les aciers de précontrainte verticaux et ortho radiaux des enceintes de confinement. La FIGURE 1 présente l'ensemble des configurations d'essais réalisés dans le cadre du programme expérimental avec quatre types de bétons, ainsi que conditions thermiques (températures de 20°C et 38 °C) et mécaniques (sans chargement, chargement uniaxial et biaxial). Le programme expérimental complet comprend 26 configurations d'essais.

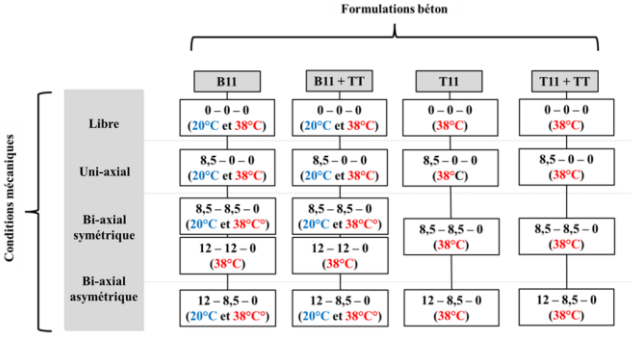


FIGURE 1. Programme expérimental indiquant les formulations ainsi que les configurations de charge

Le béton B11 constitue le matériau utilisé dans les enceintes de confinement des centrales nucléaires et sert de référence dans le cadre de cette étude. La composition de ce béton comprend un dosage de ciment de 400 kg/m3 avec un rapport E/C de 0,56, utilisant des granulats de nature calcaire. Le béton B11+TT est une version du béton B11 auquel est appliqué un Traitement Thermique (TT) au jeune âge pour favoriser le développement de la RSI. Le béton T11 présente une distribution granulaire similaire à celle du béton B11, à la différence que ses granulats sont réactifs afin de développer la Réaction Alcali-Granulat (RAG). Enfin, le béton T11+TT est traité thermiquement au jeune âge afin d'étudier les couplages entre la RAG et la RSI d'une part, ainsi qu'avec le fluage d'autre part.

II. BATI DE FLUAGE BIAXIAL

Un dispositif original de fluage en compression biaxiale a été mis au point afin de mesurer les évolutions des déformations différées des bétons due à la précontrainte biaxiale. Pour concevoir ce dispositif un cahier des charges listant toutes les caractéristiques et éléments nécessaires pour pouvoir appliquer les différentes conditions d'essais a été dressé :

- Les contraintes sont appliquées par l'intermédiaire de deux vérins hydrauliques capables d'exercer une contrainte d'au moins 12 MPa sur la surface des éprouvettes.

- Les vérins sont fixés sur un cadre métallique de forte rigidité pour limiter les déformations parasites de ce dernier pendant l'essai de fluage.

- L'ensemble cadre et vérins est capable de maintenir les contraintes pendant de longues périodes (environ 6 mois), et de résister aux conditions thermo-hydriques des configurations d'essais, notamment une immersion dans une eau dont la concentration en produits lixiviés du béton augmente dans le temps.

Sa masse et son gabarit ont été optimisés de manière à tester des échantillons de béton de taille suffisante pour des mesures dans des zones non perturbées par ses conditions aux limites, et à ce qu'il puisse être déplacé avec les moyens de manutention disponibles au laboratoire. En d'autres termes, un calcul élastique a été réalisée avec Cast3m pour modéliser le gabarit et son comportement, démontrant que les effets de frettage sont négligeables dans les zones centrales de l'éprouvette. La FIGURE 2 présente le schéma et les photos d'un bâti biaxial. Comme défini dans le cahier des charges, il est constitué de 2 vérins hydrauliques qui sont fixés à un cadre métallique de grande rigidité. Une plaque métallique est utilisée pour répartir la force du vérin sur la totalité de la surface de l'échantillon de béton. La pression est appliquée par l'intermédiaire d'une pompe hydraulique manuelle et elle est ajustée à l'aide d'un manomètre. La déformation de fluage du béton, en particulier lors des premiers jours de chargement, entraîne une perte de pression du vérin. Pour pallier cette perte de pression, chaque vérin est associé à un accumulateur d'azote qui la compense. Les échantillons de béton sont des parallélépipèdes 20x20x15cm.

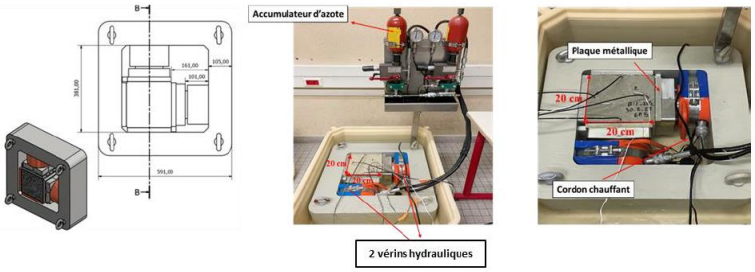


FIGURE 2. Bâti de fluage bi-axial avec ses différents éléments constitutifs

A. Suivi des déformations des éprouvettes

Dans le cadre de cette thèse, les déformations du béton sont mesurées à l'aide d'un réseau de capteurs à fibre optique. La fibre optique est un câble, constitué de fibres de verre, qui peut transmettre des données à grande vitesse. Pour interroger la fibre optique, la méthode de diffusion de Rayleigh a été retenue. Le phénomène de diffusion de Rayleigh est un phénomène élastique qui se produit lorsque le photon incident est diffusé par les atomes de silice présents dans la fibre optique (Maurin et al., 2020). Le profil réflectométrique est obtenu en utilisant la technique de OFDR (Optical Frequency Domain Reflectometry) combinée à des mesures OBR (Optical Backscatter Reflectometry). Cette combinaison de techniques permet d'obtenir des mesures de déformation précises et réparties le long de la fibre optique. La fibre optique sélectionnée pour l'étude (NEUBREX FN-SILL3) permet d'obtenir des mesures réparties avec une résolution spatiale de 0,65 mm. Le choix s'est porté sur cette fibre de par son aptitude à pouvoir enregistrer des mesures dans des conditions relativement sévères avec des échantillons immergées dans de l'eau basique à 38° C sur des durées d'environ 6 mois. Elle doit également résister à la cure thermique au jeune âge avec une température de palier à 80 °C. Le positionnement des fibres optiques noyés dans le béton est illustré dans la FIGURE 3, permettant ainsi la mesure des déformations en 3D : les deux directions longitudinales dans le plan et la direction transversale hors plan. Les fibres optiques sont maintenues et fixées pendant le coulage du béton à l'aide de fils de nylon attachés aux moules dans trois directions.

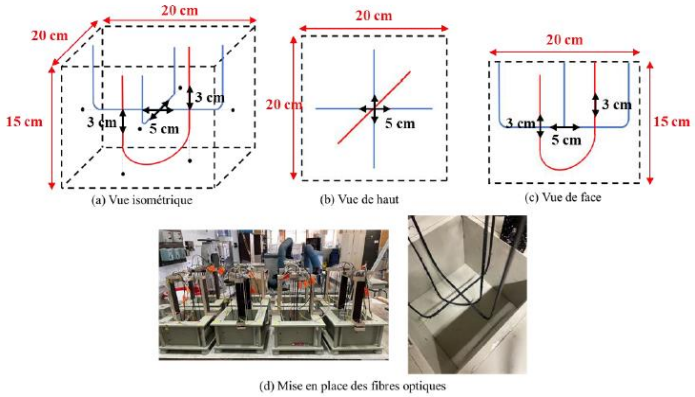


FIGURE 3. Instrumentation des fibres optique dans les 3 directions du moule

B. Conditions Thermo-Hydro-Mécanique (THM)

Les conditions thermo-hydro-mécaniques (THM) sont les suivantes :

- Maintien de la température de conservation dans l'eau : les éprouvettes de béton sont maintenues à deux températures différentes, soit 20° C ± 1° C, soit 38° C ± 1°C. La solution de conservation est chauffée à 38 °C à l'aide d'une résistance de chauffe-eau électrique d'une puissance de 100 W ou 200 W, selon le volume d'eau à chauffer. Un thermomètre est immergé dans l'eau pour surveiller en permanence sa température. Les éprouvettes maintenues à une température de 20° C sont placées dans une salle climatisée à cette même température.
- Application des conditions mécaniques : deux types de bâtis de fluage en compression ont été utilisés pour réaliser les essais du programme expérimental : des bâtis de fluage uniaxial déjà disponibles au LMDC et des dispositifs de fluage biaxial mis au point spécifiquement pour cette étude.

III. PRESENTATION ET EXPLOITATION DES RESULTATS

Dans cette partie, seuls les résultats des bétons B11 et B11+TT seront présentés. Les essais sur T11 et T11+TT sont toujours en cours. Pour le béton B11, la résistance à la compression varie entre 37,6 MPa et 43,9 MPa suivant les coulages, tandis que pour le béton B11+TT, les valeurs se situent entre 23,1 MPa et 31,4 MPa. Pour le béton B11, les valeurs du module de Young varient entre 28,8 GPa et 33,7 GPa pour les différents coulages. En revanche, pour le béton B11+TT, ces valeurs se situent entre 27 GPa et 28,5 GPa. Les variations entre les gâchées de béton s'expliquent par l'hétérogénéité des granulats, ce qui conduit à des résultats dispersés (Hilaire, 2014).

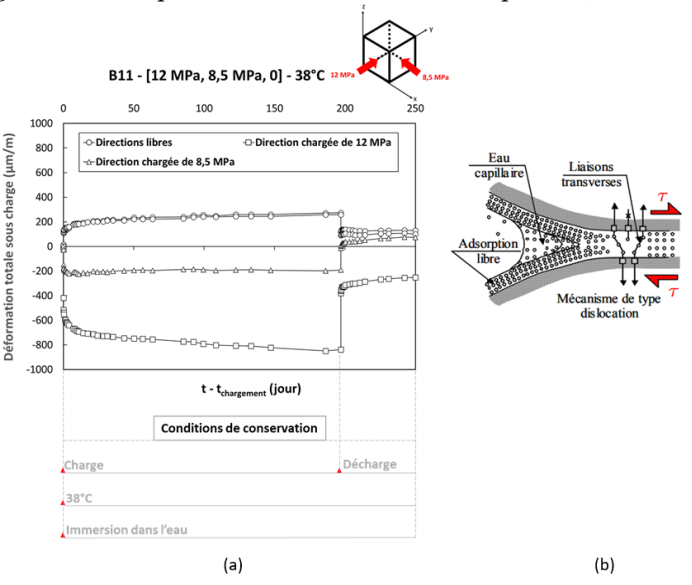


FIGURE 4. (a) Déformation totale sous charge B11 [12 MPa, 8,5 MPa, 0] 38°C (b) Mécanisme du fluage propre à long terme (Ulm et al., 1999)

A. Effet du chargement asymétrique sur un béton sain (le béton B11 de référence)

La FIGURE 4 présente les évolutions des déformations mesurées suivant les 3 directions pour une éprouvette de béton B11 soumise à une charge biaxiale asymétrique de 12 et 8,5 MPa, et maintenue à une température de 38 °C dans l'eau. Tout d'abord, ces résultats démontrent la capacité de ces capteurs à fibre optique à mesurer dans de telles configurations d'essais. Au moment de la charge, des déformations élastiques de contraction se produisent dans les deux

directions chargées (12 et 8,5 MPa) alors qu'une déformation élastique d'extension due à l'effet Poisson est mesurée dans la direction non chargée. Une fois la charge maintenue, le phénomène de fluage débute dans les directions chargées. Comme attendu, le fluage dans la direction la plus chargée (12 MPa) est supérieur par rapport à celle moins chargée (8,5 MPa).

Le rapport de fluage entre la direction 8,5 et 12 MPa est éloigné du rapport des contraintes entre la direction 8,5 et 12 MPa. Par conséquent, dans le cas d'un chargement biaxial asymétrique, la direction la plus chargée montre un fluage plus important que le chargement biaxial symétrique, tandis que la direction moins chargée montre un fluage plus réduit que le chargement biaxial symétrique. Cette différence est plus accentuée pour le béton B11+TT.

La cinétique de fluage est élevée à court terme, puis elle s'atténue avec le temps, comme observé habituellement dans le cas d'essais plus classiques de fluage en compression uniaxiale pour des contraintes modérées n'induisant pas de fluage tertiaire. La variation de la cinétique peut être expliquée par le mécanisme du fluage à long terme. L'application de la charge induit une relaxation de la micro-contrainte dans les zones d'adsorptions empêchées situées à l'échelle des nanopores de la pâte de ciment (FIGURE 4(b)). Ce mécanisme entraîne le glissement des feuilles de C-S-H, provoquant une contraction dans le béton. Par la suite, les forces de liaison se relâchent avec le temps, et d'autres sites deviennent alors des sites potentiels de rupture ou de fluage. Ce processus en chaîne épuise successivement les sites de fluage activés par la charge mécanique, conduisant au vieillissement observé dans la cinétique du fluage en fonction de l'âge du matériau (Ulm et al., 1999). En ce qui concerne la direction non chargée, la poursuite de l'extension est observée, attribuable à l'effet Poisson de fluage et à l'absorption d'eau.

Après une période de 200 jours sous charge, l'éprouvette est déchargée, entraînant une recouvrance instantanée se manifestant par une extension dans les directions initialement chargées et une contraction dans la direction libre de charge. Une recouvrance réversible différée se produit ensuite mettant en évidence la part irréversible du fluage.

B. Effet du traitement thermique

Pour les parties à venir, les résultats seront montrés en soustrayant la déformation élastique instantanée des déformations totales sous charge. Cette opération s'avère essentielle pour faciliter l'analyse comparative entre les différentes éprouvettes de béton.

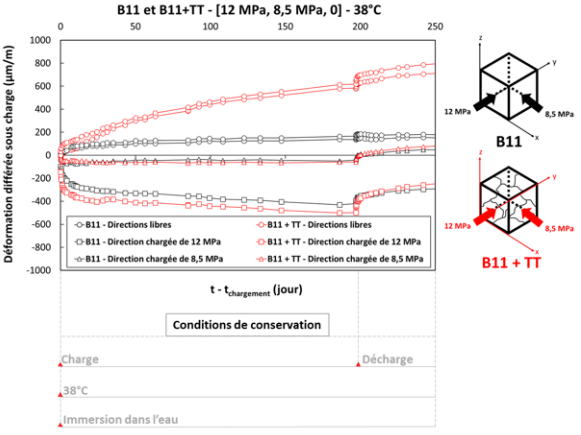


FIGURE 5. Déformation différée sous charge B11 et B11+TT [12 MPa, 8,5 MPa, 0] 38°C

La FIGURE 5 illustre les déformations différées sous charge sur une période de 250 jours pour deux essais de fluage biaxial soumis à des charges asymétriques de 12 MPa et 8,5 MPa, pour les bétons B11 et B11+TT. Ce graphique permet de comparer les résultats de fluage entre le béton de référence et le béton traité thermiquement à un jeune âge. Il est important de noter que les charges asymétriques de 12 MPa et 8,5 MPa ont été choisies, car elles représentent la valeur de la précontrainte appliquée dans les enceintes de confinement.

La FIGURE 5 montre que la déformation de fluage dans la direction la plus chargée, à 12 MPa, est plus prononcée pour le béton B11+TT. Deux hypothèses potentielles peuvent expliquer cette plus grande déformation de fluage du béton B11+TT, mettant en évidence l'impact du traitement thermique au jeune âge sur la déformation de fluage :

- La réduction de la résistance à la compression du béton : Il est essentiel de noter que le traitement thermique entraîne une diminution de la résistance à la compression du béton. Suite au traitement thermique du béton, une dilatation thermique se produit au sein des éprouvettes. Cependant, du fait que le coefficient de dilatation thermique de la pâte de ciment est plus élevé que celui des granulats, une dilatation différentielle se manifeste, entraînant l'apparition de microfissures à l'interface entre la pâte de ciment et les granulats. Ceci explique la réduction de la résistance à la compression après le traitement thermique au jeune âge (Heinz & Ludwig, 1987).
- La variation des structures de C-S-H : Le fluage à long terme du béton est le résultat de la réorganisation des silicates de calcium hydratés (C-S-H) suite à leur glissement. Le traitement thermique au jeune âge joue un rôle crucial en modifiant la structure et la densité des C-S-H, ce qui a un impact direct sur le comportement de fluage du béton (Sellier et al., 2016).

En revanche, aucune différence significative n'est observée entre les deux types de béton dans la direction la moins chargée (8,5 MPa). Ce comportement s'explique par le fait que le béton traité thermiquement subit une plus grande déformation dans la direction la plus chargée (12 MPa), où la contrainte est plus élevée, et qu'il pourrait compenser cette déformation dans l'autre direction ou dans la direction moins chargée (8,5 MPa).

Concernant, les déformations dans les directions libres non chargées, le béton B11+TT montre une extension significative par rapport au béton B11. De plus, après la décharge à 200 jours, tant dans les directions soumises à des charges que dans les directions libres du béton B11 + TT, on observe une extension légèrement plus importante par rapport aux déformations de recouvrance observées pour le B11. En conséquence, des interrogations surgissent quant au possible développement de la RSI. Afin de confirmer la présence d'ettringite différée (indiquant le développement de la RSI), des analyses au Microscope Électronique à Balayage (MEB) ont été réalisées dans le cadre de cette thèse.

C. Détermination du potentiel de gonflement avec le MEB

Afin de vérifier le développement de la RSI dans le béton B11+TT, des observations au MEB ont été réalisées sur différentes éprouvettes de béton B11+TT ayant subi des conditions de chargement

variées (essais libres de contrainte, essais de chargement uni axial et essais de chargement biaxial). La FIGURE 6 illustre la formation d'ettringite différée à l'interface entre la pâte de ciment et le granulat (FIGURE 6(a)), ainsi que dans la pâte de ciment elle-même (FIGURE 6(b)). Bien que ce test ne soit pas de nature quantitative, les échantillons soumis à une charge biaxiale présentent un niveau significativement plus élevé de fissures et d'ettringite par rapport aux échantillons non soumis à une charge.

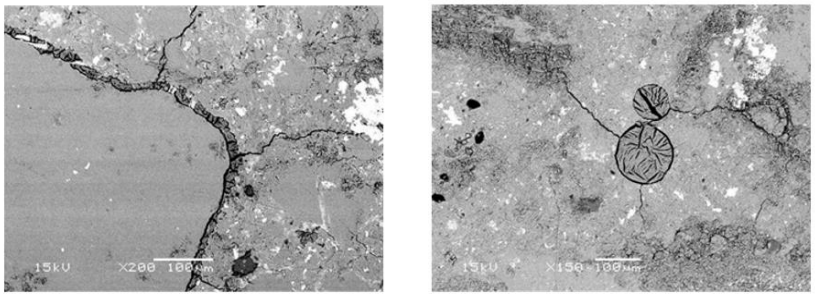


FIGURE 6. Observations au MEB

D. Effet du niveau de chargement

La FIGURE 7 présente les déformations différées sous charge d'un béton de type B11 soumis à deux conditions de chargement : une charge uni-axiale de 8,5 MPa 1D - [8,5 MPa, 0, 0] et une charge bi-axiale asymétrique de 12 MPa et 8,5 MPa 2D - [12 MPa, 8,5 MPa, 0], à une température de 38° C. Pour le chargement bi-axiale, seule la direction chargée à 8,5 MPa est montrée sur la FIGURE 7.

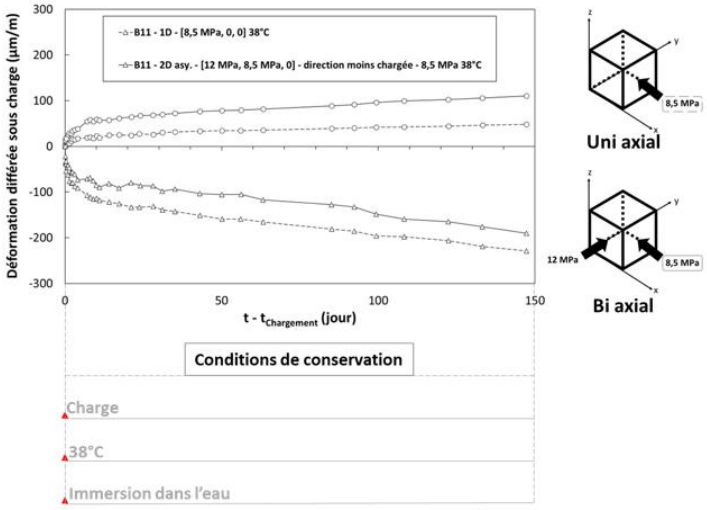
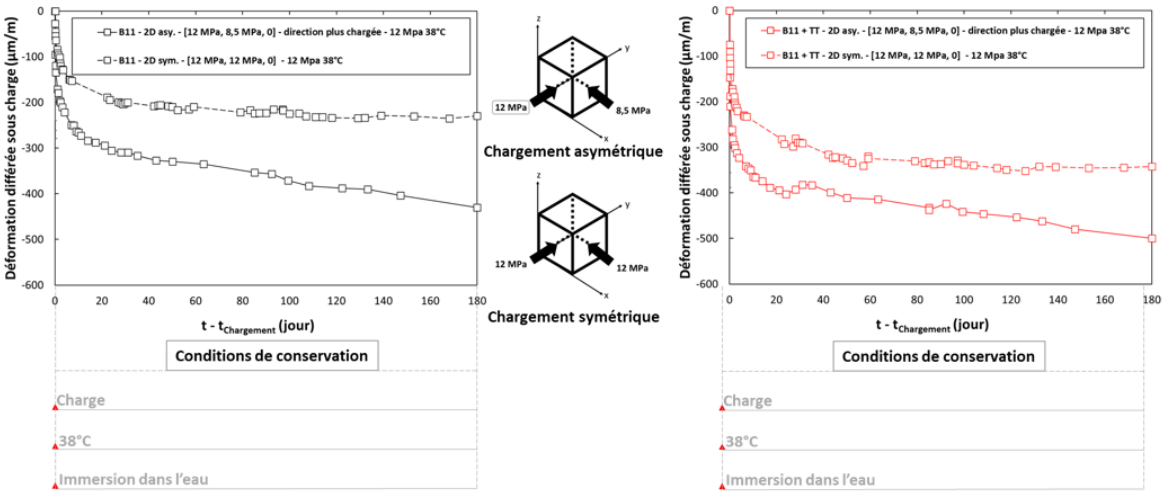


FIGURE 7. Effet du niveau de chargement B11

Les résultats indiquent que la déformation en fluage uni axial (à 8,5 MPa) est plus importante que celle en fluage biaxial (avec la direction chargée à 8,5 MPa). Il convient de noter que le fluage biaxial dans la direction chargée à 8,5 MPa est réduit en raison de la compensation causée par la deuxième direction chargée à 12 MPa. Par conséquent, l'effet de Poisson pour le fluage biaxial entre les directions chargées réduit les déformations en fluage. En conclusion, la déformation en fluage biaxial est réduite par rapport au fluage uni axial.

E. Effet de l'anisotropie du chargement



FIGURES 8. Effet de l'anisotropie du chargement 2D symétrique et 2D asymétrique

Les FIGURES 8 présentent les déformations différées sous charge dans deux conditions de chargement pour les bétons B11 et B11+TT : une charge biaxiale symétrique de 12 MPa 2D - [12 MPa, 12 MPa, 0] et une charge biaxiale asymétrique de 12 MPa et 8,5 MPa 2D - [12 MPa, 8,5 MPa, 0], à une température de 38 °C. Dans le cas du chargement asymétrique, le graphique ne montre que la direction la plus chargée (12 MPa). Ainsi, la comparaison se fait désormais entre deux éprouvettes soumises à une charge de 12 MPa, l'une de manière symétrique et l'autre de manière asymétrique. Les résultats indiquent q le fluage en condition asymétrique est plus prononcé que le fluage en condition symétrique dans ce contexte.

Pour l'éprouvette soumise à une charge symétrique, les deux directions chargées à 12 MPa ont un effet de report lié au coefficient de Poisson l'une sur l'autre, réduisant ainsi le potentiel de fluage ou le développement complet du fluage dans les directions chargées à 12 MPa. En revanche, dans le cas de l'éprouvette soumise à une charge asymétrique, le fluage dans la direction à 12 MPa est atténué par l'effet Poisson induit par l'autre direction chargée à 8,5 MPa (qui est inférieure à 12 MPa). Cela explique pourquoi, dans ce cas, l'effet du chargement asymétrique dans la direction chargée à 12 MPa est plus important que celui de chargement symétrique. Par conséquent, la déformation de report liée à l'effet Poisson qui existe entre les directions chargées conduit à une modification de la déformation de fluage dans chaque direction.

IV. CONCLUSION

En conclusion, le travail expérimental effectué consiste à évaluer le fluage en compression biaxiale, avec et sans couplage avec des RGI, afin de comprendre les mécanismes et couplages, et de tester, voire améliorer les modèles.

- Un travail effectué s'est concentré sur la validation du dispositif de fluage biaxial et sur la maitrise de ce nouveau dispositif ainsi que la maitrise du système d'extensométrie par fibre optique pour obtenir des données originales sur le fluage en compression biaxiale.

Suite à ce programme expérimental, les premiers résultats obtenus peuvent être présentés sous plusieurs aspects :

- Le traitement thermique appliqué au béton pour déclencher la RSI a un impact sur les caractéristiques du matériau, entraînant une diminution de la résistance en compression du béton traité thermiquement. En conséquence, à charge égale, le taux de chargement de fluage d'un béton non traité est plus faible que celui d'un béton soumis au traitement thermique.
- Les résultats obtenus dans ce travail permettent d'établir que le fluage dans une direction chargée ne dépend pas uniquement du chargement appliqué dans cette direction spécifique, mais également des chargements présents dans les autres directions. En d'autres termes, les interactions entre les différentes directions de chargement jouent un rôle crucial dans le comportement du fluage du matériau sous chargement bi-axial.
- L'effet du coefficient de Poisson est particulièrement observable lors d'un chargement bi-axial asymétrique. Dans cette configuration, la direction de chargement la moins sollicitée (8,5 MPa) présente une réduction significative du fluage, tandis que la direction la plus chargée (12 MPa) montre une déformation de fluage beaucoup plus prononcée. En conséquence, la direction la moins chargée joue un rôle essentiel dans la compensation du fluage qui est plus important dans la direction la plus chargée.

REFERENCES

Charpin, L., Le Pape, Y., Coustabeau, É., Toppani, É., Heinfling, G., Le Bellego, C., Masson, B., Montalvo, J., Courtois, A., & Sanahuja, J. (2018). A 12 year EDF study of concrete creep under uniaxial and biaxial loading. *Cement and Concrete Research*, *103*, 140-159.

Gopalakrishnan, K. S., Neville, A. M., & Ghali, A. (1969). *Creep Poisson's Ratio of Concrete Under Multiaxial Compression*.

Heinz, D., & Ludwig, U. (1987). Mechanism of secondary ettringite formation in mortars and concretes subjected to heat treatment. *Special Publication*, *100*, 2059-2072.

Hilaire, A. (2014). *Etude des déformations différées des bétons en compression et en traction, du jeune au long terme : Application aux enceintes de confinement*. École normale supérieure de Cachan-ENS Cachan.

Kim, J.-K., Kwon, S. H., Kim, S. Y., & Kim, Y. Y. (2005). Experimental studies on creep of sealed concrete under multiaxial stresses. *Magazine of Concrete Research*, *57*(10), 623-634.

Kim, J.-K., Kwon, S. H., & Kim, Y. Y. (2006). Analytical studies on creep of sealed concrete under multiaxial stresses using a microplane model. *Magazine of Concrete Research*, *58*(1), 9-20.

Maurin, L., Makil, H., Bourbotte, J.-M., Hamrita, H., Jouvin, G., Kondrasovs, V., Rougeault, S., Cheymol, G., Maskrot, H., & Barbot, L. (2020). Long length SPNDs and Distributed Optical Fiber Sensors for Severe Accident remote monitoring and their contribution to Nuclear Safety in the post-Fukushima context. *SAMMI 2020-OECD/NEA Specialist Workshop on Advanced Measurement Method and Instrumentation for enhancing Severe Accident Management in an NPP addressing Emergency, Stabilization and Long-term Recovery Phase*, 1009.

Sellier, A., Multon, S., Buffo-Lacarrière, L., Vidal, T., Bourbon, X., & Camps, G. (2016). Concrete creep modelling for structural applications : Non-linearity, multi-axiality, hydration, temperature and drying effects. *Cement and Concrete Research*, *79*, 301-315.

Ulm, F.-J., Coussy, O., & Bažant, Z. P. (1999). The "Chunnel" fire. I: Chemoplastic softening in rapidly heated concrete. *Journal of engineering mechanics*, *125*(3), 272-282.