



HAL
open science

RILEM TC 266-MRP : Essais rhéologiques interlaboratoires à l'IUT de Béthune

Yannick Vanhove, Chafika Djelal

► **To cite this version:**

Yannick Vanhove, Chafika Djelal. RILEM TC 266-MRP : Essais rhéologiques interlaboratoires à l'IUT de Béthune. CNRIUT 2023 Saint Pierre - La Réunion, IUT de Saint Pierre, Jun 2023, Saint Pierre (La Réunion), La Réunion. hal-04326704

HAL Id: hal-04326704

<https://hal.science/hal-04326704>

Submitted on 6 Dec 2023

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.

RILEM TC 266-MRP : Essais rhéologiques interlaboratoires à l'IUT de Béthune

Yannick Vanhove Chafika Djelal

yannick.vanhove@univ-artois.fr chafika.dantec@univ-artois.fr

IUT de Béthune, Université d'Artois
Laboratoire génie Civil et GeoEnvironnement, ULR 4515

Thèmes – Matériaux

Résumé – *Il existe plusieurs rhéomètres à béton utilisés dans le monde qui présentent des différences de conceptions importantes, mais aucune méthode standard avec laquelle comparer leurs résultats. Comme l'ont démontré deux campagnes d'essais interlaboratoires réalisées au LCPC à Nantes (octobre 2001) et au NIST à Cleveland (avril 2003), différents rhéomètres à béton peuvent donner des résultats différents. Une nouvelle campagne a donc été réalisée à l'IUT de Béthune en 2018, axée sur des mélanges de béton plus fluides et différents procédés. De nouveaux dispositifs rhéologiques ont été utilisés, tels que les rhéomètres ICAR, Viskomat XL, eBT-V, Rheocad, BML 4 SCC, ainsi que des instruments spécifiques tels que le, Sliper, rhéomètre d'interface et tribomètre. Les mesures ont été effectuées sur trois bétons autoplaçants, deux bétons très fluides et trois mélanges de mortier. Les essais ont permis d'évaluer des courbes d'écoulement, le comportement thixotropique, les propriétés d'interface et leur évolution dans le temps.*

Ces nouveaux essais interlaboratoires ont permis de mettre en évidence des sources d'erreurs systématiques et ont donné lieu aux actions correctives nécessaires. Tous les rhéomètres ne mesurent pas les mêmes valeurs, ce qui peut être dû au matériel (capteurs, recalage, calibration) et aux profils d'écoulement imparfaits induits dans chaque rhéomètre.

Mots-Clés – Rhéologie, Béton frais, Essais interlaboratoires, Rhéomètre

1 Introduction

Mesurer les propriétés rhéologiques des mélanges de béton fluide n'est pas une tâche simple. Il n'y a pas de procédure unique qui fonctionne pour tous les rhéomètres et il n'y a pas de réglage de rhéomètre qui fonctionne pour tous les matériaux. Il est donc important de s'assurer que toutes les procédures sont capables de saisir les données dont a besoin l'expérimentateur. Les essais interlaboratoires (*Round Robin Test (RRT)*) sont désormais considérés comme une méthode importante à la fois pour améliorer la procédure d'essai définie conjointement, mais aussi pour communiquer des informations sur la variabilité de l'équipement, la reproductibilité et la répétabilité de la méthode d'essai. Cet exercice doit être mené régulièrement en raison des progrès considérables de la recherche et de l'application par l'élargissement des gammes de nouveaux types de bétons et des progrès réalisés dans le domaine de l'instrumentation.

Comme l'ont démontré deux campagnes d'essais interlaboratoires (RRT) réalisées au LCPC à Nantes (octobre 2001) et au NIST à Cleveland (avril 2003), différents rhéomètres à béton peuvent donner des résultats différents. Une nouvelle campagne a donc été réalisée à l'IUT de Béthune en 2018, axée sur des mélanges de béton plus fluides et différents procédés. Ces nouveaux essais interlaboratoires ont réuni sur deux jours 23 participants (Figure 1) de différents pays autour de nouveaux dispositifs rhéologiques, tels que les rhéomètres ICAR, Viskomat XL, eBT-V, Rheocad, BML 4 SCC, ainsi que des instruments spécifiques tels que le Sliper, rhéomètre d'interface et tribomètre. Cinq Bétons fluides et trois mortiers ont été livrés par toupie (Société EQIOM) jusqu'au laboratoire de recherche (LGCgE) de l'IUT de Béthune.



Figure 1 – Participants aux essais du RRT

Ces essais interlaboratoires ont été suivis d'un workshop (31 mai 2018 à Arras, France) et ont permis de rassembler 78 participants dont 54 du monde académique et 24 industriels de 13 pays différents (Allemagne, Belgique, Brésil, Chili, Chine, Grande Bretagne, Inde, Irlande, Italie, USA, etc.) [1]. Les participants ont pu échanger autour des travaux récents sur la rhéologie des bétons. Il est à noter la participation de plusieurs industriels tels que Botte Fondations, Roquette SA,

EQIOM, Soletanche Bachy, Holcim-Lafarge, Saint Gobain, Léon Grosse, Schleibinger, etc.

Les mesures ont été effectuées sur trois bétons autoplaçants, deux bétons très fluides et trois mélanges de mortier. Les essais ont impliqué l'évaluation des courbes d'écoulement, du comportement thixotropique et des propriétés d'interface et de leur évolution dans le temps.

2 Plan d'expérience pour des essais interlaboratoires

La première étape a consisté, sur la base des connaissances concernant les risques de mesures incorrectes ou invalides, à formuler des mélanges sans teneur élevée en granulats (frottement intergranulaire excessif) et d'éviter la migration des particules (éviter les faibles viscosités et des granulats supérieur à 20 mm de diamètre. Aucun béton vibré conventionnel n'a été testé. Trois mortiers (M) ont été évalués dans l'intention de réduire de possibles fluctuations de couple pendant les mesures et afin de minimiser la migration des particules induite par le cisaillement (formulation utilisée pour la réalisation de chape). Trois bétons autoplaçants (SCC) ont été confectionnés, complétés par deux bétons de classe de consistance S4 utilisés dans le domaine des fondations (FC). Ces différents mélanges ont la particularité d'être mis en œuvre sur chantier sans avoir recours à la vibration (action mécanique pour favoriser l'arrangement optimal des constituants du béton). Ces mélanges ont été formulés dans le but de présenter une large gamme de seuil de cisaillement et de viscosité plastique. Des essais d'étalement au cône d'Abrams (SF) et de temps d'écoulement au V-funnel (VF) ont été réalisés à la réception des toupies à l'IUT de Béthune (Tableau 1).

Tableau 1 – Propriétés rhéologiques des mélanges

Mélange	Propriétés rhéologiques	SF (mm)	VF (s)
SCC1	Référence	600	20
SCC2	Faible seuil de cisaillement	700	5
SCC3	Viscosité plastique élevée	550	30
FC4	Réduction teneur en fines	600	20
FC5	Seuil de cisaillement élevé	400	-
M1	Référence	750	3
M2	Viscosité plastique élevée	650	5
M3	Seuil de cisaillement élevé	550	3

Tous les mélanges ont été préparés dans une centrale à béton voisine et livrés sur place en camion toupie (pas de variabilité d'un lot sur l'autre). Pour certains mélanges, des ajustements sur place avec des adjuvants ont été réalisés pour modifier la maniabilité vers la cible visée.

Pour l'ensemble des rhéomètres (Figure 2), la courbe d'écoulement a été obtenue en réalisant un pré-

cisaillement de 20 s au couple maximum retenu pour l'essai pour les bétons et de 30 s pour les mortiers afin d'assurer un état d'équilibre avant d'appliquer une rampe décroissante en vitesse.

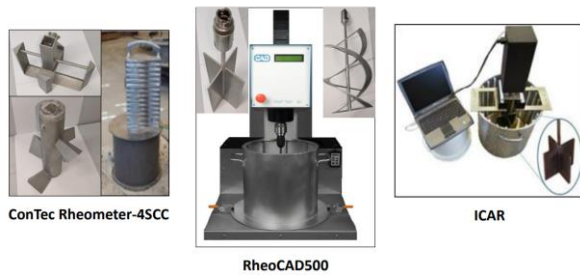


Figure 2 – Rhéomètres à béton

La rampe décroissante a été réalisée en 7 paliers de 5 s (exemple donné en Figure 3). La vitesse de cisaillement imposée (maximale et minimale) dépend du type de rhéomètre (Tableau 2). A partir de la figure 3, le seuil de cisaillement et la viscosité plastique des bétons peuvent être déterminés.

Tableau 2 – Plage de vitesse de cisaillement

Appareil	Max. (rps)	Min. (rps)
ICAR	0,50	0,025
Rheocad500	0,57	0,028
4SCC	0,21	0,010

rps : révolution par seconde

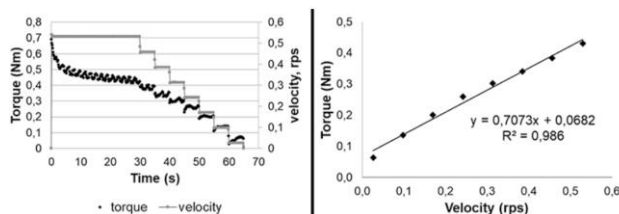


Figure 3 – Exemple de mesure au rhéomètre

3 Recommandations pour réaliser des essais interlaboratoires sur des rhéomètres à bétons

Dans la sélection des mélanges de béton, l'équipe RRT a préféré avoir des mesures réussies sur une variété de mélanges. Dans le cadre des restrictions imposées par le producteur de béton, un certain nombre de mélanges ont été sélectionnés avec une gamme suffisamment large de propriétés. Un aspect important pour mener à bien des tests est de s'assurer que tous les équipements imposent les mêmes paramètres de test. L'équipe RRT s'est réunie la veille des mesures pour discuter de la stratégie à suivre pour imposer les mêmes paramètres de test, et il a été décidé d'imposer le même taux de cisaillement maximal pour chaque appareil. Cela implique que différents protocoles de test en termes de vitesse de rotation sont nécessaires pour chaque rhéomètre. Bien que les différences soient mineures, la différence de vitesse de rotation imposée peut atteindre 15 %. De plus, pour tout

essai interlaboratoire, l'équipe du RRT recommande que les certificats d'étalonnage soient réalisés. Une tentative d'étalonnage a été faite avec le matériau de référence NIST pour le béton, mais la quantité limitée était insuffisante pour vérifier tous les appareils. L'équipe du RRT soupçonne que certaines différences entre les rhéomètres peuvent être attribuées à un souci d'étalonnage, d'autant que certains rhéomètres mesuraient systématiquement des valeurs supérieures ou inférieures.

Une dernière recommandation pour exécuter un test Round-Robin est une communication adéquate avant, pendant et après les expériences, pour s'assurer que chaque membre de l'équipe est sur la même longueur d'onde et connaît le programme exact, les procédures de test, la séquence de test, la conservation des matériaux, etc. Pour un groupe de plus de 30 personnes travaillant vers un objectif commun, la communication est essentielle pour une bonne préparation et exécution des expériences, ainsi qu'une analyse et une diffusion adéquate des résultats.

4 Conclusions

L'organisation d'essais interlaboratoires sur des rhéomètres à béton est une entreprise importante, nécessitant beaucoup d'attention aux détails (homogénéité des lots, procédures uniformes, ajustement des mélanges, calendrier des tests, etc.). Cinq mélanges de béton et trois mélanges de mortier ont été évalués pour maximiser la production des résultats sur les différents essais. Les contributions des partenaires industriels ont été primordiales pour le succès de ce projet. Une autre observation importante notée au cours de cette expérience est l'écart de mesure qui dépend plus du matériau que des types de rhéomètres. En particulier, la teneur en granulats, le seuil de cisaillement et la viscosité ont affecté les variations autour des valeurs attendues. Nous avons besoin de plus d'essais interlaboratoires, notamment pour les nouvelles propriétés recherchées, par exemple, pour les mélanges de béton à raidissement rapide ou pour les matériaux à haut seuil de cisaillement, ce qui permettra certainement l'émergence de nouveaux rhéomètres.

Remerciements

Les auteurs qui sont aussi les organisateurs de ce RRT, remercient la direction de l'IUT pour le support financier de cette manifestation, les participants qui sont venus de nombreux pays (Etats-Unis, Irlande, Belgique, Allemagne, Chili, Brésil, etc.) et les nombreux sponsors (EQIOM, Groupe Français de Rhéologie, l'AUGC, Artois Com, la FNTP, l'Ecole Française du Béton, le LGCgE Lille, l'Université d'Artois, Structure & Réhabilitation, Botte Fondations).

Références

[1] Proceedings of the International RILEM Workshop on Rheological Measurements of Cement-based Materials, IRWRMC'18, Edited by C. Djelal & Y. Vanhove, RILEM Publications, s.a.r.l., 110 p., 2019.