

CARACTÉRISATION DES PERFORMANCES DE RÉSINES DE POLYURÉTHANNE ET VALIDATION DES EXIGENCES DE CONFORMITÉ

Danielle Palardy
Labo S.M. inc. Longueuil (Québec)

Résumé

Cette étude fait suite à un besoin exprimé par le ministère des Transports du Québec pour caractériser les coulis de type résines de polyuréthane. Ces matériaux, employés depuis quelques années afin de colmater les venues d'eau importantes présentes dans les structures souterraines urbaines en béton armé, ne font l'objet d'aucune norme ou procédure permettant de caractériser leur performance ou de valider leur conformité par rapport aux exigences demandées dans les devis. L'objectif principal de cette étude était donc de définir des procédures de travail claires et concises réalisables par un laboratoire de contrôle des matériaux et permettant de caractériser ces coulis d'injection afin d'assurer que les matériaux proposés par l'Entrepreneur répondent aux exigences du devis. Ces procédures, inspirées de normes existantes, permettent de définir les caractéristiques propres du coulis (vitesse de réaction, viscosité, retrait) mais également son comportement avec le milieu encaissant (adhérence sur parois humides, stabilité sous pression d'eau et aux cycles de gel et de dégel).

Suite à l'élaboration de ces procédures, des essais en laboratoire ont été réalisés afin de valider leur faisabilité et de caractériser les matériaux retenus par le MTQ. Un des points importants à noter est que la résistance à la traction par fendage (indirectement l'adhérence) reste stable, voir augmente, après les essais d'étanchéité et les cycles de gel et de dégel. Les matériaux montrent une bonne stabilité face à ces sollicitations. Suivant les essais réalisés avec les différentes résines de polyuréthane employées lors de travaux d'étanchéité par le MTQ, les exigences, permettant d'obtenir des matériaux répondant aux besoins demandés et devant être incluses dans le devis des travaux d'injection de coulis de type polyuréthane, ont également été revues.

Dans cet article, le point sera donc fait sur les procédures développées ainsi que les nouvelles exigences à spécifier au devis concernant les coulis de type résine de polyuréthane. Il sera aussi question des résultats d'essais obtenus sur cinq (5) résines d'injection employées lors de travaux d'étanchéité par le ministère des Transports du Québec.

1. INTRODUCTION

Cette étude fait suite à un besoin exprimé par le ministère des Transports du Québec pour caractériser les coulis chimiques de type résines de polyuréthane. Ces matériaux, employés depuis quelques années afin de colmater les venues d'eau importantes présentes dans différentes structures souterraines urbaines, ne font l'objet d'aucune norme ou procédure permettant de caractériser leur performance ou de valider leur conformité par rapport aux exigences demandées dans les devis.

L'objectif principal de cette étude est donc de définir des procédures de travail réalisables par un laboratoire de contrôle des matériaux et permettant de caractériser les coulis d'injection chimiques afin d'assurer que les matériaux proposés par l'Entrepreneur répondent aux exigences du devis. Ces procédures, inspirées de normes existantes, permettent de définir les caractéristiques propres du coulis (vitesse de réaction, viscosité, retrait) mais également son comportement avec le milieu encaissant (adhérence sur parois humides, stabilité sous pression d'eau et aux cycles de gel et de dégel).

Cet article présente les différentes étapes suivies pour atteindre les objectifs. Le point sera fait sur les essais développés ainsi que les nouvelles exigences à spécifier au devis concernant les coulis chimiques de type résine de polyuréthane.

2. REVUE DES NORMES EXISTANTES

Une revue des normes existantes concernant la caractérisation en laboratoire du comportement des résines d'injection a été réalisée. Il n'existe aucune norme canadienne (ACNOR) ou américaine (ASTM) sur ce sujet. Par contre, l'association française de normalisation (AFNOR) présente une section complète de normes d'essais sur les produits d'injection.

Comme point de départ à l'élaboration des procédures de travail, les normes françaises suivantes ont été retenues :

- P 18-855 : Essai de perméabilité aux liquides sur éprouvettes à surface sciée;
- P 18-894 : Essai d'adhérence avec ou sans cycles thermiques;
- P 18-896 : Essai de retrait de polymérisation;
- P 18-897 : Essai de tenue à l'adhérence sous circulation d'eau.

Également, la norme américaine ASTM D4016 *Standard Test Method for Viscosity of Chemical Grouts by Brookfield Viscosimeter (Laboratory Method)* a été retenue pour vérifier la viscosité des résines.

3. ÉLABORATION DES PROCÉDURES DE TRAVAIL

En se basant sur ces normes, des procédures de travail permettant de réaliser la caractérisation des résines d'injection en relation avec les caractéristiques demandées au devis du MTQ, c'est-à-dire la vitesse de réaction, la viscosité, le retrait, l'adhérence, l'étanchéité, la stabilité aux cycles de gel et de dégel, ont été élaborées. Une description sommaire de ces procédures est présentée à cette section.

3.1 Temps de réaction

Cette procédure permet de quantifier le temps de réaction des résines testées et de choisir un matériau répondant le mieux aux conditions de chantier. Par exemple, des venues d'eau très importantes vont nécessiter une résine présentant un temps de réaction plus rapide. Le temps initial (t_0) est noté à partir du moment où l'eau est mise en contact avec le mélange de résine et d'accélérateur. Par la suite, trois (3) temps sont considérés, soit le temps d'amorce (t_a), le temps de réaction initial (t_i) et le temps de réaction final (t_f). Le temps d'amorce est noté comme étant le moment où la résine présente un mouvement interne dû au commencement de la réaction, le temps de réaction initial correspond au moment où la résine change de couleur par la formation de bulles tandis que le temps final est le moment où la résine de polyuréthane est complètement rigide.

3.2 Viscosité

Aucune procédure n'a été élaborée pour ce paramètre compte tenu que la norme américaine ASTM D4016 *Standard Test Method for Viscosity of Chemical Grouts by Brookfield Viscosimeter (Laboratory Method)* définit clairement la méthode d'essai à suivre pour vérifier la viscosité des coulis chimiques.

3.3 Retrait

Le retrait est mesuré sur des résines injectées dans des éprouvettes de verre : aucune adhérence est développée entre la résine et la paroi. Cet essai permet donc de caractériser le matériau lui-même et non son interaction avec le milieu. Le retrait volumétrique exigé a été limité à moins de 5%. La nomenclature suivante est employée pour quantifier le retrait noté :

- Nulle : 0%
- Léger : 1 à 5%
- Moyen : 5 à 10%
- Important : 10 à 30%
- Très important : plus de 30%

À noter que ce paramètre doit être considéré en tenant compte des résultats des essais de performance soit, l'étanchéité, la stabilité, l'adhérence. Un coulis peut présenter un retrait important mais une fois dans le milieu, bien s'y comporter (voir les résultats pour le produit D).

3.4 Essais d'adhérence

L'adhérence de la résine de polyuréthane à la paroi de la fissure est considérée comme étant le paramètre le plus important dans la caractérisation de ces matériaux. L'adhérence est obtenue par un essai de traction indirecte, soit par l'essai de traction par fendage sur une éprouvette de mortier préalablement fissurée puis injectée avec de la résine de polyuréthane. L'adhérence a été examinée après avoir soumis ces éprouvettes à trois (3) types de sollicitation différente, soit sous pression d'eau, sous cycles de gel et de dégel et sans sollicitation (éprouvette témoin).

Afin de reproduire le milieu encaissant lors des essais, le choix du matériau s'est arrêté sur un mortier ensaché afin d'améliorer la reproductibilité des essais et d'obtenir une meilleure surface lors de la création de la fissure dans les échantillons. Concernant la création de la fissure, afin de reproduire les conditions rencontrées dans une structure de béton fissurée, une surface obtenue à l'aide d'un ciseau à froid en opposition à une surface sciée et meulée à l'aide d'une brosse métallique a été retenue. Les figures 1 et 2 illustrent respectivement la préparation des éprouvettes de mortier et leur injection proprement dite.

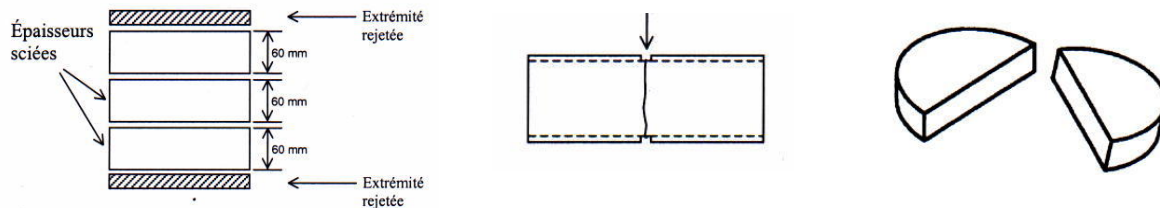


Figure 1 Préparation des éprouvettes de mortier (D'après la norme AFNOR P 18-897)

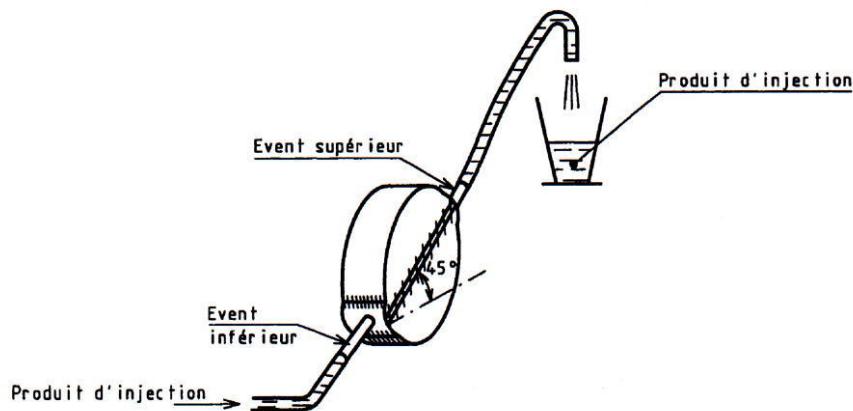


Figure 2 Injection des éprouvettes reconstituées (D'après la norme AFNOR P 18-897)

Tel qu'il sera présenté à la section suivante, les matériaux testés ont montré de bons comportements durant les essais, c'est-à-dire aucun décollement durant les différentes sollicitations de mise sous pression à l'eau et de cycles de gel et de dégel. Également, des valeurs de traction par fendage supérieures à 600 kPa ont été calculées pour l'ensemble des résines

testées et ce, autant pour les éprouvettes ayant subies les sollicitations que les éprouvettes témoins. Suivant ces comportements, l'exigence minimale pour la résistance à la traction par fendage a été fixée à 500 kPa pour les éprouvettes témoins et pour les éprouvettes ayant subi les essais d'étanchéité et de cycles de gel et de dégel. Pour les essais d'étanchéité, la limite d'écoulement a été établie à 1×10^{-6} m/s sous une pression d'eau de 200 kPa. Cette limite provient des exigences minimales demandées pour les digues et les barrages. Compte tenu de la structure spongieuse des résines de polyuréthane, ces dernières ne peuvent être considérées totalement imperméables. Il faut regarder ces matériaux comme étant une obturation permettant de réduire les fuites importantes et de canaliser l'eau vers des points voulus. Pour les essais de résistance aux cycles de gel et de dégel, les éprouvettes ne doivent montrer aucun décollement après les 24 cycles.

Dans les deux cas, les rapports f_{ϵ}/f_0 et f_g/f_0 peuvent être calculés afin de comparer les résultats obtenus sur les éprouvettes ayant subies ou non une sollicitation (pression d'eau, cycles de gel et dégel). À noter que le terme f_{ϵ} représente la moyenne des valeurs de la résistance à la traction obtenues sur les éprouvettes soumises à l'essai d'étanchéité, le terme f_g est la moyenne des valeurs de la résistance à la traction obtenues sur les éprouvettes soumises à l'essai de gel et de dégel tandis que le terme f_0 est la moyenne des valeurs de la résistance à la traction obtenues sur les éprouvettes témoins.

4. RÉALISATION DES ESSAIS EN LABORATOIRE

Suivant ces différentes étapes, des essais en laboratoire ont été réalisés afin de valider leur faisabilité et de caractériser les matériaux retenus par le MTQ. Cinq (5) résines d'injection, notées A à E, ont ainsi été testées. La moyenne des résultats obtenus en laboratoire est présentée au tableau 1.

Tableau 1 Synthèse des résultats des essais de laboratoire

Essais	A	B	C	D	E
Temps d'amorce (s)	20	66	32	20	---
Temps de réaction initial (s)	33	82	67	31	30
Temps de réaction final (s)	90	255	189	130	570
Retrait (%)	1-5	0	1-5	20-30	0
Étanchéité (m/s)	$1,85 \times 10^{-7}$	$7,06 \times 10^{-6}$	$2,66 \times 10^{-8}$	$1,67 \times 10^{-8}$	$1,85 \times 10^{-7}$
Adhérence témoin f_0 (MPa)	0,9	1,0	1,0	0,9	1,8
Adhérence étanchéité f_{ϵ} (MPa)	1,0	1,0	0,9	0,8	1,1
f_{ϵ}/f_0	1,1	1,0	0,9	0,9	0,6
Adhérence gel/dégel f_g (MPa)	1,0	0,9	1,3	0,8	1,8
f_g/f_0	1,1	0,9	1,3	0,9	1,0

Un des points importants à noter, suite à ces essais, est que la résistance à la traction par fendage (indirectement l'adhérence) reste stable, voir augmente, après les essais d'étanchéité et de cycles de gel et de dégel. Les matériaux montrent une bonne stabilité face à ces sollicitations.

5. DEVIS TYPE D'INJECTION AU COULIS CHIMIQUE

Suivant les essais réalisés avec les différentes résines de polyuréthane préapprouvées et employées lors de travaux d'étanchéité par le ministère des Transports du Québec, les exigences suivantes doivent être incluses dans le devis des travaux d'injection de coulis chimique de type polyuréthane afin d'obtenir des matériaux répondant aux besoins demandés :

Le matériau d'injection utilisé est une résine d'injection prépolymère, polyuréthane aquaréactive. Ce produit est un monocomposant sans solvant et non toxique qui réagit à l'eau pour former une obturation permanente.

L'entrepreneur a le choix des produits et de la méthode à utiliser pour réaliser les travaux, mais celui-ci doit s'assurer de rencontrer l'objectif visé par l'injection. De plus, ce dernier doit soumettre pour approbation les matériaux choisis, l'équipement utilisé et la méthode d'injection proposée.

Selon le mode et le type d'action des matériaux proposés, les produits d'injection doivent assurer un colmatage efficace des joints et des fissures. Les matériaux proposés doivent avoir les caractéristiques suivantes :

Tableau 2 Caractéristiques et exigences

Caractéristiques	Exigences
Temps de réaction	Réaction complète à 90% en moins de dix (10) minutes
Viscosité	100 à 300 cps
Retrait	Inférieur à 5 % lorsque non confiné
Adhérence	Résistance à la traction par fendage supérieure à 500 kPa
Stabilité	Aucun décollement après 24 cycles de gel et de dégel Résistance à la traction par fendage supérieure à 500 kPa
Étanchéité	Inférieur à 1×10^{-6} m/s sous une pression de 200 kPa Résistance à la traction par fendage supérieure à 500 kPa
Autres	Hydrophobe, flexible, structure alvéolaire serrée, faible porosité lorsque confiné

Les produits choisis par l'Entrepreneur doivent avoir été soumis préalablement à des essais de comportement auprès d'un laboratoire spécialisé (afin de vérifier les propriétés énumérées au tableau 2) afin de procéder à leur approbation et les coûts reliés aux essais d'acceptation sont à la charge de l'Entrepreneur. Il est donc de la responsabilité de l'Entrepreneur de soumettre, le plus rapidement possible, des échantillons des produits (minimum de deux (2) litres) au laboratoire retenu aux fins d'acceptation. Le ministère des Transports n'est pas responsable des retards causés par les délais dans la remise des produits pour approbation, ou pour les retards engendrés par le refus d'un produit non conforme. De plus, tout au long du contrat, l'Entrepreneur a la responsabilité de s'assurer de la conformité des produits utilisés.

6.0 CONCLUSION

Cette étude a permis de mettre au point des essais de caractérisation des résines d'injection de type polyuréthane et d'établir des exigences à respecter. Ces essais de laboratoire permettent la caractérisation de la résine d'injection (temps de prise, viscosité, retrait) mais également de son comportement avec le milieu encaissant (adhérence, étanchéité, stabilité aux cycles de gel et de dégel). Les procédures de travail, écrites de manière claire et concise, permettent la réalisation des essais par un laboratoire de contrôle des matériaux.

Suivant les essais réalisés avec les différentes résines de polyuréthane préapprouvés et employées lors de travaux d'étanchéité par le ministère des Transports du Québec, les exigences permettent d'obtenir des matériaux répondant aux besoins demandés ont également été revues afin de les inclure dans le devis des travaux d'injection de coulis chimique de type polyuréthane.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Monsieur Daniel Vézina, ing., Service des matériaux d'infrastructures au Laboratoire des chaussées du ministère des Transports du Québec ainsi que Monsieur Ivan Ruscitti, ing., Service des projets à la Direction de l'Île-de-Montréal du ministère des Transports du Québec pour leur implication lors de la réalisation de ce projet.