

**Appendix 5 Report on resistance to rapid
freezing and thawing produced
by University of Sherbrooke**



UNIVERSITÉ DE
SHERBROOKE

**Évaluation de la résistance aux cycles de gel-dégel
de quatre bétons selon la procédure ASTM C666
avec prise régulière de photographies**

No de projet UdeS : 16-005

Rapport présenté à :

Charles Lafrenière, ing. jr.
Englobe Corp.

Par :

Richard Gagné, ing. Ph.D., Olivier Bonneau, Ph.D.
Université de Sherbrooke
Département de génie civil

Octobre 2016



1. Description des essais

Ce rapport présente les résultats d'essais de durabilité face à 300 cycles accélérés de gel-dégel effectués selon la procédure normalisée ASTM C 666 procédure A. Outre les mesures normalisées, des prises de photographies additionnelles des éprouvettes au cours de cet essai ont également été réalisées.

Les essais ont été effectués dans les laboratoires du Groupe de recherche sur le béton de l'Université de Sherbrooke durant la période comprise entre le 18 août et le 20 octobre 2016.

Quatre types de bétons ont été soumis aux cycles de gel-dégel. Pour chaque béton, trois éprouvettes ont été testées. Le tableau 1 présente les informations reçues concernant chaque type de béton.

Tableau 1. Description des éprouvettes

Identification	Date de fabrication du béton	Livraison des éprouvettes à l'UdeS	Durée des essais de gel/dégel
Site 5 Site 14 Site 19	4 août 2016	17 août 2016	18 août au 13 octobre 2016
Site 23	11 août 2016	17 août 2016	25 août au 20 octobre 2016

2. Description des éprouvettes

Les éprouvettes reçues sont des prismes de bétons de 75 x 75 x 355 mm. Sur chaque éprouvette, 4 plots métalliques ont été insérés lors de la coulée du béton sur deux faces latérales de chaque éprouvette (2 plots par face). Ces plots sont utilisés comme repères de référence pour les mesures d'allongement.

3. Résultats

Les résultats des essais de gel-dégel sont présentés au Tableau 2. Pour chaque béton, nous présentons les valeurs moyennes des 3 éprouvettes pour les mesures suivantes:

- La variation de la masse exprimée en % de la masse initiale (0 cycle);
- La déformation ($\mu\text{m}/\text{m}$) par rapport à la longueur initiale (0 cycle);
- Les facteurs de durabilité après 300 cycles de gel-dégel.

Les résultats détaillés sont présentés en annexe.

Tableau 2. Résumé des résultats après 300 cycles de gel-dégel en laboratoire

Béton	Site 5	Site 14	Site 19	Site 23
Variation de la masse, (%)	+0,3	-0,1	0	-1,1
Déformation, ($\mu\text{m}/\text{m}$)	123	159	103	235
Facteur de durabilité, (%)	100	99	97	99

Chaque semaine, lors de la sortie des éprouvettes à des fins de mesure, une photographie de chaque face des éprouvettes était réalisée. Au total, 432 photographies ont été prises et ont été envoyées à Englobe Corp les 28 sept. et 20 oct. 2016. via le serveur de l'UdeS. La codification du titre des documents visuels est la suivante : **SW-EX-FY-CZ**.

Avec S (site) W=5, 14, 19, 23
E (éprouvette) X=1, 2, 3
F (face de l'éprouvette) Y=1, 2, 3, 4
C (nombre de cycles de gel effectués)
pour S5, S14 et S19 : Z=0, 44, 84, 122, 155, 190, 228, 281, 323
pour S23 : Z=0, 40, 78, 111, 146, 184, 237, 279, 321

4. Évaluation de la durabilité face aux cycles de gel-dégel

La durabilité au gel d'un béton peut-être évaluée selon deux principaux critères : 1) L'allongement après 300 cycles de gel-dégel et; 2) Le facteur de durabilité après 300 cycles de gel-dégel.

L'allongement permet de caractériser indirectement l'importance de la microfissuration engendrée par les cycles de gel-dégel. Plus le béton est endommagé par le gel, plus il se microfisse et plus il s'allonge. Il n'existe pas de critère d'allongement maximum permettant de séparer les bétons durables et non durables. Cependant, la norme ASTM C 666 [1] indique qu'un béton atteignant un allongement supérieur à 1000 $\mu\text{m}/\text{m}$ est considéré comme détruit et l'essai accéléré de gel-dégel peut alors être interrompu avant l'atteinte des 300 cycles de gel-dégel. Une valeur conservatrice de 500 $\mu\text{m}/\text{m}$ peut être utilisée pour caractériser l'allongement maximal d'un béton durable soumis à des cycles de gel-dégel.

Le facteur de durabilité [1] peut aussi être utilisé pour caractériser le comportement au gel d'un béton soumis à des cycles accélérés de gel-dégel en laboratoire. Ce paramètre est fonction de la vitesse de propagation d'une onde ultrasonore dans le béton. Plus le béton est endommagé par le gel, plus il se microfisse. Les microfissures engendrent des interfaces solide-eau ou solide-air qui retardent la propagation de l'onde sonore. Comme dans le cas de l'allongement, il n'existe pas de facteur de durabilité maximum permettant de séparer les bétons durables et non durables. Cependant, la norme ASTM C 666 [1] indique qu'un béton dont le facteur de durabilité atteint une valeur inférieure à 60% est considéré comme détruit et l'essai accéléré de gel-dégel peut alors être interrompu avant l'atteinte des 300 cycles de gel-dégel. Certaines publications montrent qu'un facteur de durabilité de 80% (à 300 cycles de gel-dégel) peut être considéré comme la valeur minimale séparant les bétons durables des bétons non durables face aux cycles de gel-dégel en laboratoire [2, 3].

Après 300 cycles de gel-dégel, les variations de masse sont négligeables pour les 3 bétons Sites 5, 14 et 19 avec des valeurs respectives de +0,3, -0,1 et 0 %. Pour le béton Site 23, nous observons une légère perte de masse de 1,1 %.

Après 300 cycles de gel-dégel, les allongements des 4 bétons Sites 5, 14, 19 et 23 sont nettement inférieurs à 500 $\mu\text{m}/\text{m}$, soit respectivement 125, 160, 105 et 235 $\mu\text{m}/\text{m}$. Les 4 bétons ne présentent pas d'endommagement significatif découlant de l'exposition au gel-dégel.

Après 300 cycles de gel-dégel, les facteurs de durabilité des 4 bétons Sites 5, 14, 19 et 23 sont compris entre 97 et 100 %. Ces valeurs sont cohérentes avec celles d'allongement et démontrent que les 4 bétons sont durables au gel.

5. Conclusions

Les résultats des essais accélérés de gel-dégel en laboratoire indiquent que les 4 bétons Sites 5, 14, 19 et 23 sont durables au gel. Les 4 matériaux présentent un comportement identique

concernant le facteur de durabilité et de l'allongement, respectivement proches de 100 % et comprises entre 105 et 235 $\mu\text{m}/\text{m}$. Au niveau de la variation de la masse, une légère différence est observée pour le béton Site 23 par rapport aux bétons Sites 5, 14 et 19, ce premier présentant une perte de masse de 1,1 % alors que la masse des 3 autres est stable autour de la valeur initiale, soit une variation de masse quasi nulle (0 %).

6. Références

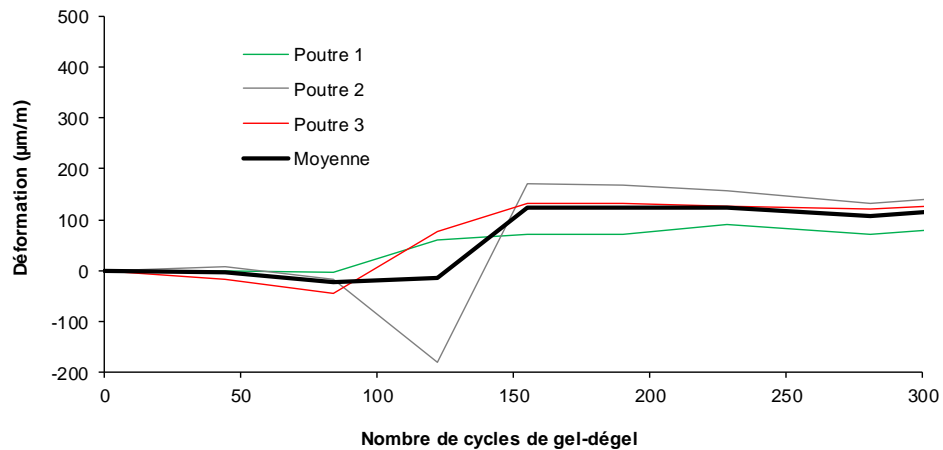
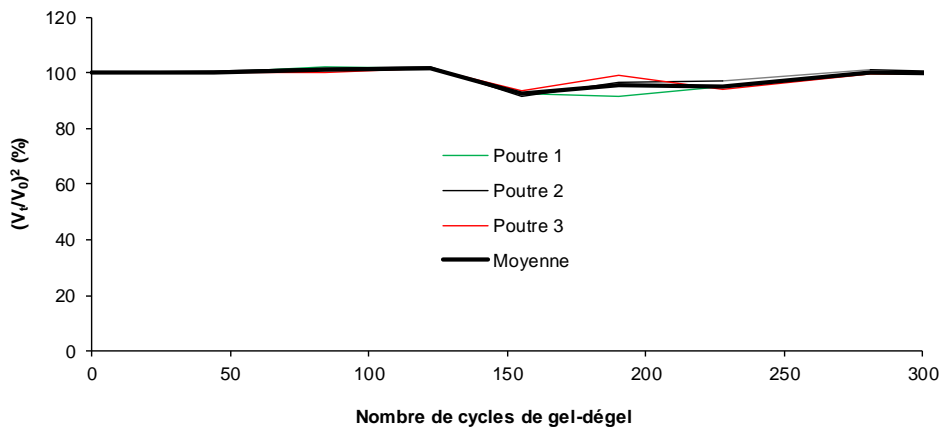
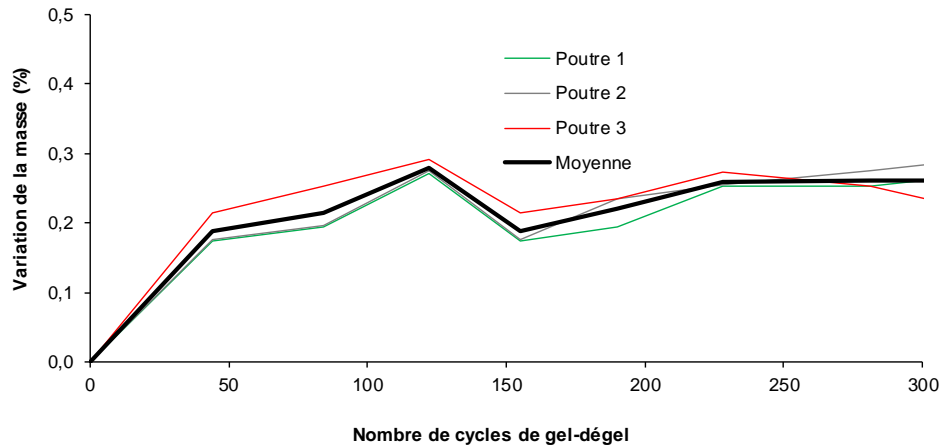
1. ASTM C-666M-03, *Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing*, 6 p.
2. Tanesi, J and Meininger, R., *Freeze-Thaw Resistance of Concrete with Marginal Air Content*, Publication No. FHWA-HRT-06-117, 2006, 83 p
(<http://www.fhwa.dot.gov/pavement/pccp/pubs/06117/01.cfm>, consulté le 25 oct. 2016)
3. Cordon, W.A. and Merrill, D., *Requirements for Freezing and Thawing Durability for Concrete*, Proceedings, ASTM vol. 63, 1963, pp. 1026–1036.

Annexe

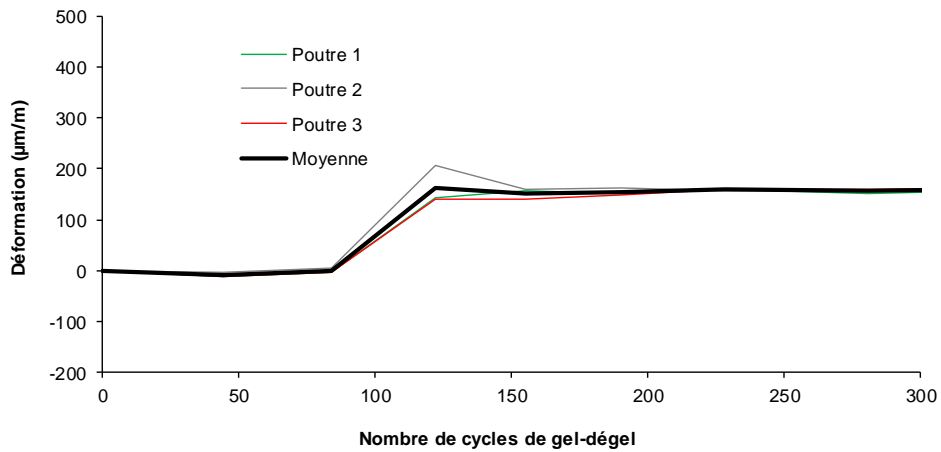
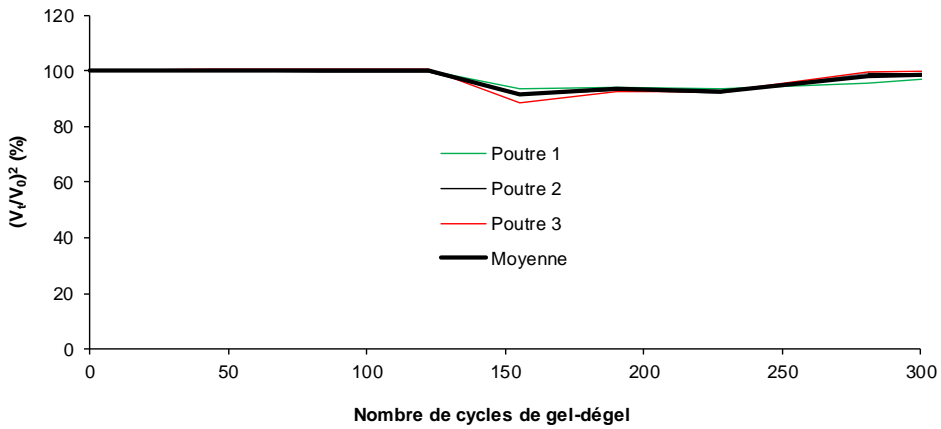
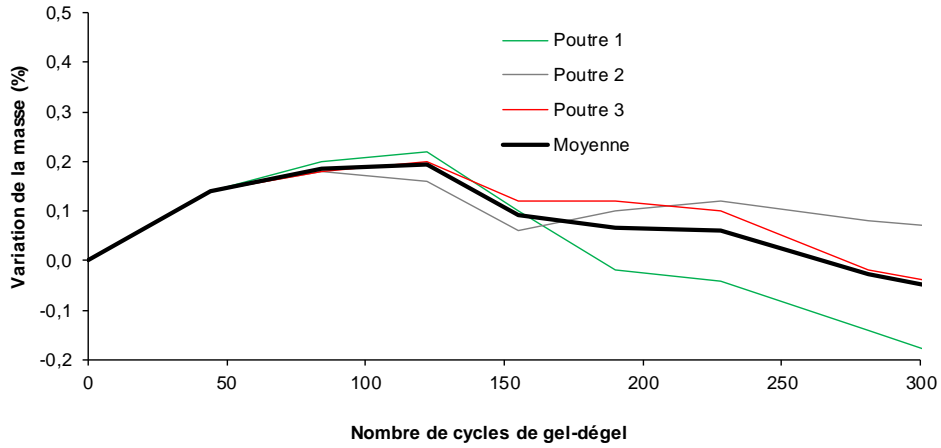
Résultats détaillés des essais de gel-dégel

Site	Nombre de cycles	Variation de la masse (%)				Facteur de durabilité (%)				Déformation (µm/m)			
		E1	E2	E3	Moy.	E1	E2	E13	Moy.	E1	E2	E3	Moy.
S5	0	0	0	0	0	100	100	100	100	0	0	0	0
	44	0,2	0,2	0,2	0,2	100	101	100	100	0	8	-16	-3
	84	0,2	0,2	0,3	0,2	102	102	100	101	-4	-16	-44	-21
	122	0,3	0,3	0,3	0,3	102	102	102	102	60	-180	76	-15
	155	0,2	0,2	0,2	0,2	93	92	94	93	72	172	132	125
	190	0,2	0,2	0,2	0,2	92	96	99	96	72	168	132	124
	228	0,3	0,3	0,3	0,3	95	97	94	95	92	156	128	125
	281	0,3	0,3	0,3	0,3	100	101	99	100	72	132	120	108
	323	0,3	0,3	0,2	0,3	100	100	100	100	88	148	132	123
S14	0	0	0	0	0	100	100	100	100	0	0	0	0
	44	0,1	0,1	0,1	0,1	100	100	101	100	-12	-4	-12	-9
	84	0,2	0,2	0,2	0,2	100	99	101	100	-4	4	-4	-1
	122	0,2	0,2	0,2	0,2	100	100	101	100	144	208	140	164
	155	0,1	0,1	0,1	0,1	94	92	88	91	156	160	140	152
	190	0,0	0,1	0,1	0,1	94	93	93	93	152	164	148	155
	228	0,0	0,1	0,1	0,1	94	92	92	93	160	156	160	159
	281	-0,1	0,1	0,0	0,0	96	99	99	98	152	156	160	156
	323	-0,2	0,1	-0,1	-0,1	98	98	100	99	156	156	164	159
S19	0	0	0	0	0	100	100	100	100	0	0	0	0
	44	0,1	0,1	0,1	0,1	100	100	99	100	0	-8	-4	-4
	84	0,1	0,2	0,1	0,1	100	99	99	99	-4	-40	0	-15
	122	0,1	0,1	0,1	0,1	99	97	97	98	100	100	152	117
	155	0,1	0,1	0,0	0,0	91	94	94	93	104	96	132	111
	190	0,1	0,0	0,1	0,1	93	91	89	91	108	96	128	111
	228	0,1	0,0	0,1	0,1	93	91	93	92	104	88	104	99
	281	0,1	0,0	0,1	0,0	97	97	98	97	104	84	124	104
	323	0,1	-0,1	0,0	0,0	97	97	98	97	96	88	124	103
S23	0	0	0	0	0	100	100	100	100	0	0	0	0
	40	0,1	0,2	0,3	0,2	98	100	100	99	-12	56	0	15
	78	0,2	0,3	0,3	0,3	98	100	100	100	148	236	172	185
	111	0,1	0,3	0,3	0,2	93	95	96	94	188	248	204	213
	146	0,0	0,1	-0,1	0,0	89	91	96	92	200	244	220	221
	184	-0,1	-0,1	-0,3	-0,2	93	84	96	91	220	248	228	232
	237	-0,4	-0,3	-0,6	-0,4	100	95	99	98	216	252	264	244
	279	-0,6	-0,9	-0,9	-0,8	98	90	94	94	212	260	260	244
	321	-0,9	-1,2	-1,1	-1,1	100	95	100	99	212	240	252	235

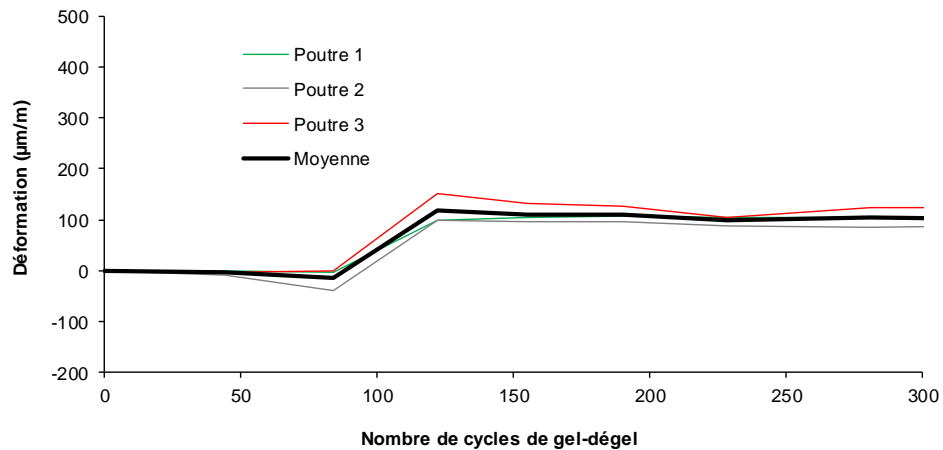
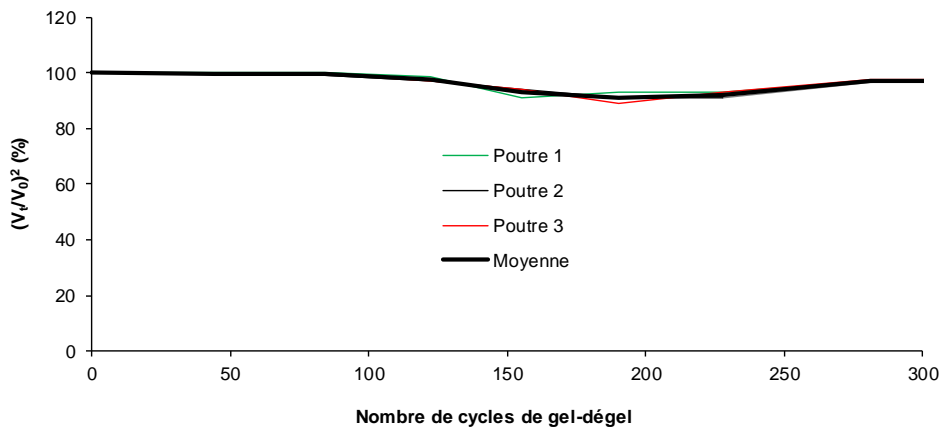
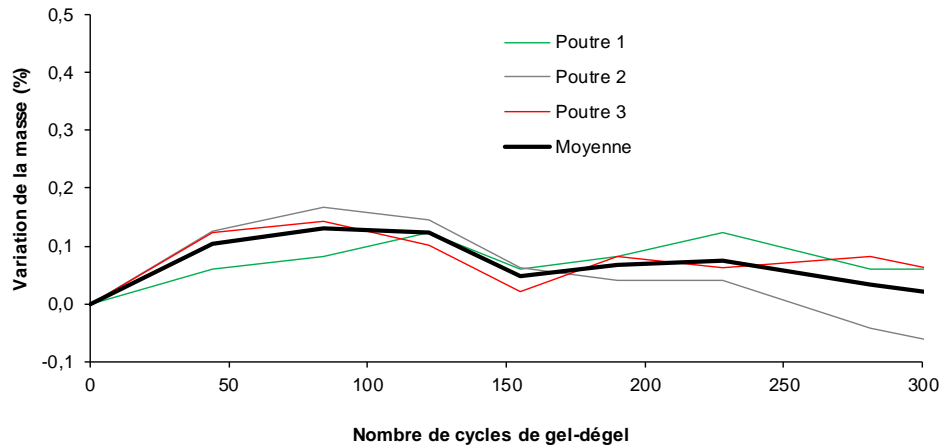
Identification du béton : **Site 5**



Identification du béton : **Site 14**



Identification du béton : **Site 19**



Identification du béton : **Site 23**

