

Effet des produits hydrofuges sur la durabilité du béton

par F. Alou et Y. Houst

RÉSUMÉ

Des bétons de types couramment utilisés dans la pratique ont été traités superficiellement avec trois produits hydrofuges. Des essais comparatifs ont été effectués sur les mêmes bétons traités et non traités dans le but d'évaluer l'influence des traitements sur la durabilité. On a étudié la résistance au gel-dégel avec sels de déverglaçage, la variation du coefficient d'absorption d'eau et la pénétration des chlorures. Les résultats montrent qu'un traitement superficiel peut être bénéfique pour les bétons soumis à des contraintes climatiques sévères.

SUMMARY

Several types of concrete currently used in practice have been superficially treated with hydrophobing products. Comparative tests have been effected on the concretes, treated and untreated, in the goal of evaluating the influence of the treatments on the durability. The resistance to freezing-thawing with de-icing salts, the variation of the coefficient of absorption of water and the penetration of chlorides have been studied. The results show that a superficial treatment can be beneficial to those concretes submitted to severe climatic conditions.

ZUSAMMENFASSUNG

In der Praxis gebräuchlicher Beton wurde an der Oberfläche mit drei hydrophoben Produkten behandelt. Vergleichende Versuche mit behandeltem und unbehandeltem Beton wurden durchgeführt mit dem Ziel, den Einfluss der Behandlungen auf die Dauerhaftigkeit zu ermitteln. Der Widerstand gegenüber Frostwechseln mit Tausalz, die Variation des Wasserabsorptionskoeffizienten sowie die Chloridpenetration wurde studiert. Die Resultate zeigen, dass eine Oberflächenbehandlung für Beton, der strengen klimatischen Spannungen ausgesetzt ist, günstig sein kann.

1. INTRODUCTION

Les problèmes de durabilité du béton sont de plus en plus d'actualité. En effet, les agressions par l'environnement provoquent des dégâts même sur des ouvrages relativement récents et les coûts de réparation peuvent s'avérer très importants. En particulier les sels utilisés pour le déverglaçage des chaussées par exemple attaquent d'une façon particulièrement virulente les bétons en contact avec ces sels.

Une première possibilité de lutter contre ces attaques est d'utiliser des bétons bien étudiés; ces bétons nécessitent une étude préliminaire de convenue et ensuite des moyens de mise en œuvre et de contrôle continu sur le chantier. Toutes ces mesures contribuent à élever sensiblement le coût de ces bétons et ne peuvent être justifiées que pour des ouvrages importants.

L'utilisation de plus en plus fréquente des bétons pompés, dont les teneurs en matières fines et en eau sont relativement élevées par rapport aux bétons traditionnels, conduisent à des bétons qui résistent mal à ces agressions. D'autre part, de par leur porosité élevée, ces bétons se carbonatent plus rapidement; lorsque la carbonatation atteint le niveau des armatures, celles-ci peuvent se corroder très rapidement. La présence de sels de déverglaçage accélère encore le phénomène de corrosion.

Dès lors, il devient indispensable de protéger les bétons exposés si des précautions particulières n'ont pas été prises pour améliorer la durabilité.

Au Laboratoire des matériaux de construction de l'EPFL, nous avons procédé à des essais avec deux produits com-

mercialisés et un produit non commercialisé destinés à protéger le béton. Ces produits, très semblables, mais dissous dans des solvants différents, sont appliqués à la surface des bétons que l'on veut protéger et pénètrent plus ou moins profondément dans le béton.

Pour évaluer l'efficacité des traitements, nous avons mesuré la résistance au gel et aux sels de déverglaçage, le coefficient d'absorption d'eau et la pénétration des chlorures sur des bétons traités et pour comparaison sur des bétons non traités, considérés comme témoins.

2. MATÉRIAUX UTILISÉS

2.1. Bétons

Pour les différents essais envisagés, nous avons utilisé quatre bétons:

- béton de laboratoire, avec granulats roulés, dosage en ciment de 300 kg/m³, sans adjuvant, rapport E/C = 0,53 et de consistance légèrement plastique;
- béton traditionnel de chantier, avec granulats concassés, dosé également à 300 kg/m³, contenant un adjuvant du type superfluidifiant, de rapport E/C = 0,5 et de même consistance que le précédent;

Remarque: l'adjuvant, malgré l'utilisation de granulats concassés a permis de réduire sensiblement la quantité d'eau de gâchage.

- béton traditionnel de chantier avec entraîneur d'air et granulats concassés: ce béton était dosé à 325 kg/m³ de ciment et contenait deux adjuvants: un superfluidifiant et un entraîneur d'air, rapport E/C = 0,52 et consistance plastique;

Remarque: le surdosage en ciment de 25 kg/m³ par rapport aux bétons précédents était destiné à compenser la chute de résistance provoquée par l'air entraîné.

- béton destiné à être pompé, avec granulats concassés contenant un pourcentage de fin (grains \leq 3,15 mm) d'environ 48%, dosé à 325 kg/m³, rapport E/C = 0,59 et consistance très plastique.

Les compositions granulométriques des différents bétons sont représentées graphiquement sur la figure 1. Dans le tableau I on a indiqué les principales caractéristiques des bétons.

2.2. Produits d'imprégnation et application

Pour l'imprégnation du béton, nous avons employé deux composés organosilicium à bas poids moléculaire. Le premier composé a été dissous dans deux solvants, l'éthanol et le «white spirit» et le deuxième composé dans l'éthanol. La dénomination utilisée dans la suite de l'article est la suivante:

produit A: composé I + éthanol
produit B: composé I + white spirit
produit C: composé II + éthanol

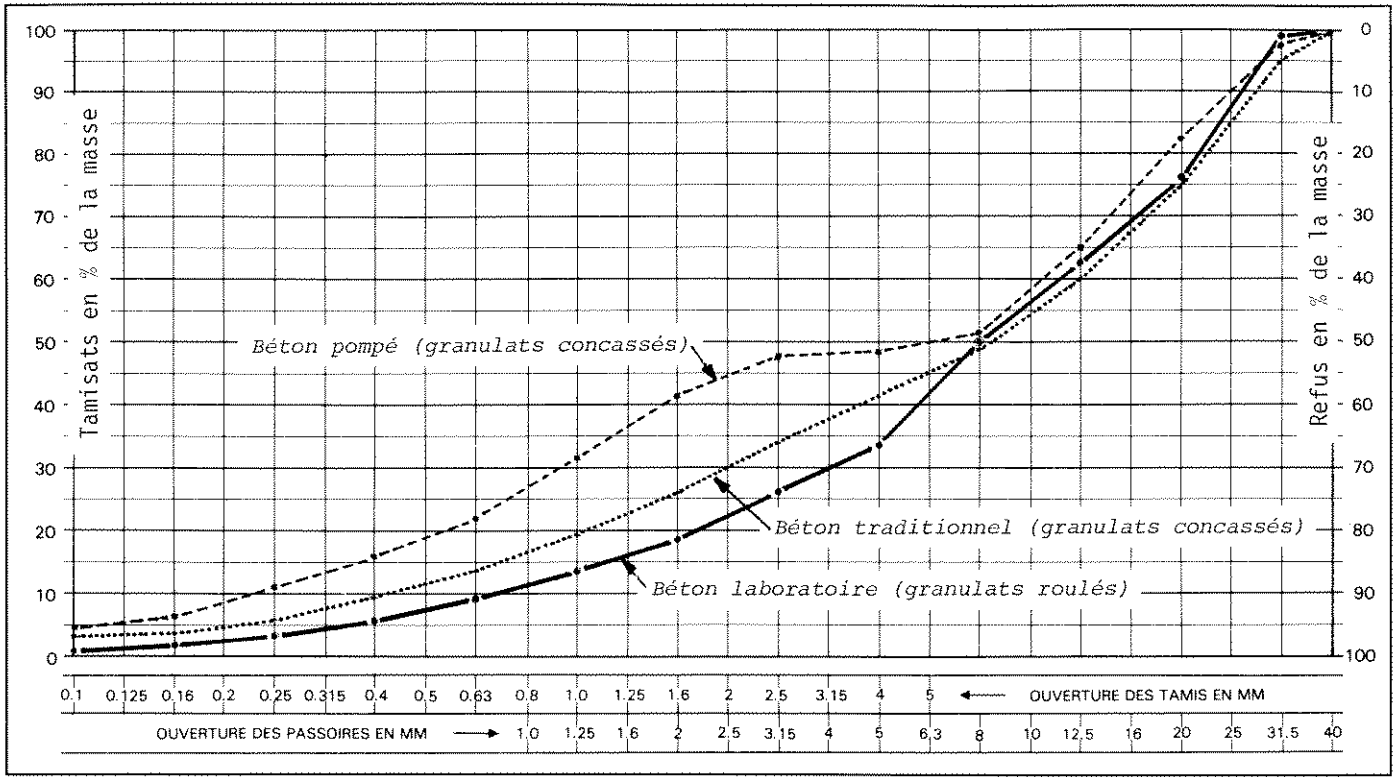


Fig. 1. Analyses granulométriques des granulats des différents bétons.

Type de béton	Dosage en ciment kg/m ³	Rapport E/C	Adjuvants		Consistance slump cm	Résistance à la compression sur cylindres 160/320 N/mm ²
			Superfluidifiant	Entraîneur d'air		
Béton labo	300	0,53	néant	néant	~ 3	31,3
Béton traditionnel chantier	300	0,50	oui	néant	~ 3	34,0
Béton traditionnel chantier + air entraîné	325	0,52	oui	oui	~ 6	31,1
Béton pompé	325	0,59	néant	néant	~10	31,6

Remarque : pour obtenir la résistance à la compression sur cube, il faut diviser les valeurs obtenues par 0,8

Tableau I. Caractéristiques des bétons.

Ces produits ont été appliqués au moyen d'une pipette et giclés sur des surfaces verticales coffrées; sur chaque surface, on a effectué quatre passages en tournant les échantillons de 90° après chaque passage. La quantité de produit appliqué a été déterminée par des mesures de masse effectuées avant et immédiatement après le dernier passage. La quantité de produit appliqué en g/m² est reportée dans le tableau II.

Type de béton	Produit		
	A	B	C
Béton labo	153	203	131
Béton traditionnel chantier	172	228	153
Béton traditionnel chantier + air entraîné	147	184	188
Béton pompé	153	275	191

Tableau II. Quantité de produit appliqué en g/m².

Remarque: les valeurs figurant dans le tableau II se réfèrent à des dalles de 400/400/70 mm et ne doivent pas être considérées comme des ordres de grandeur car, à cause de la méthode d'application, les produits ont également imprégné une partie de la surface latérale des dalles.

Des éprouvettes de chacun des bétons utilisés n'ont pas été imprégnées; elles constituent les éprouvettes témoins et servent de terme de comparaison pour les différents essais.

3. MÉTHODES D'ESSAI

3.1. Pénétration des produits d'imprégnation

La profondeur de pénétration des produits a été mesurée sur des cubes de béton fendus perpendiculairement à la

surface traitée. De l'eau a été pulvérisée sur la surface de rupture. La zone traitée, qui est alors hydrophobe, n'absorbe pratiquement pas l'eau, tandis que les zones où le produit n'a pas pénétré absorbent l'eau et prennent une teinte plus foncée. La mesure est effectuée avec une règle graduée.

3.2. Gel-dégel avec sels de déverglage

Nous avons effectué les essais de gel-dégel avec sels de déverglage sur des dalles de 400/400/70 mm, selon la méthode décrite dans la réf. [1]. La solution de sel (3% de NaCl) a une épaisseur de 5 mm environ et est retenue au moyen d'un cordon de mastic à base de polyuréthane appliqué sur le périmètre des dalles de la face coffrée. La surface de béton en contact avec la solution de sel est de 0,144 m² (surface de la dalle moins surface du cordon de mastic). Le croquis du dispositif est représenté à la figure 2.

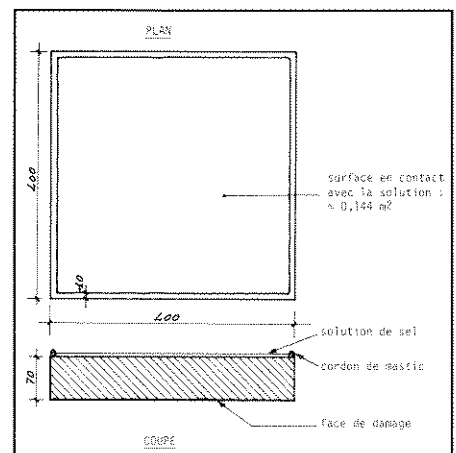


Fig. 2. Echantillons pour essais de gel-dégel avec sels de déverglage.

Chaque cycle de gel-dégel comprend les étapes suivantes :

- gel dans une chambre frigorifique à -12°C (de 17 h. 30 à 7 h. 30 pendant les jours ouvrables, de 17 h. 30 le vendredi jusqu'à 7 h. 30 le lundi) ;
- dégel à l'air ambiant du laboratoire (environ 18°C et 50% HR) de 7 h. 30 à 17 h. 30 les jours ouvrables.

Avant le début des essais de gel-dégel, les dallettes ont été conservées dans l'eau à 18°C pendant quatorze jours. La masse des dallettes a été déterminée immédiatement avant le début des essais ainsi qu'après 10, 20 et 30 cycles de gel-dégel.

Pour chaque béton, nous avons testé des dallettes témoins, c'est-à-dire non traitées et des dallettes imprégnées avec les produits A, B et C respectivement.

3.3. Coefficient d'absorption d'eau

Pour déterminer le coefficient d'absorption d'eau, nous avons utilisé des éprouvettes cubiques de 150/150/150 mm. Après l'imprégnation, les échantillons ont été conservés à l'air ambiant, soit 18°C et 55% HR pendant vingt-huit jours. Ensuite, ils ont été placés dans un récipient de telle manière que la surface traitée, correspondant au fond du moule, s'appuie sur des baguettes métalliques en forme de V inversé ; de l'eau à 18°C a été versée dans le récipient jusqu'au moment où le niveau d'eau atteignait 10 mm mesurés à partir de la face inférieure du cube. Un schéma du dispositif est représenté à la figure 3.

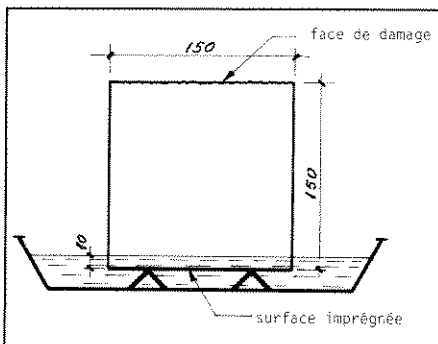


Fig. 3. Schéma du dispositif pour la détermination du coefficient d'absorption d'eau et pour la pénétration des chlorures.

Afin de conserver les éprouvettes dans une atmosphère d'environ 100% HR, les récipients ont été recouverts d'une feuille en polyéthylène.

Nous avons effectué des mesures de masse après 3, 8, 24, 50, 78 et 168 heures de conservation dans les récipients.

3.4. Pénétration des chlorures

Les cubes de béton utilisés pour la mesure du coefficient d'absorption d'eau ont également servi pour ces mesures. Entre les deux essais, les éprouvettes

ont été laissées à l'atmosphère du laboratoire pendant trois semaines.

Les cubes ont été placés dans des bacs contenant une solution de chlorure de sodium (NaCl) à 3% et immergés dans 1,5 cm de solution sur la face traitée pendant deux mois et demi.

La profondeur de pénétration des chlorures a été déterminée selon la méthode décrite dans la référence [2]. Cette méthode consiste à pulvériser une solution de nitrate d'argent (AgNO_3) 0,1 n sur la surface de rupture des cubes fendus perpendiculairement à la face traitée, puis après séchage, à pulvériser une solution de chromate de potassium (K_2CrO_4). La zone de béton ne contenant pas de chlorures se colore alors en rouge-brun.

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1. Pénétration des produits d'imprégnation

La profondeur de pénétration des produits d'imprégnation est faible. Elle varie entre environ un et trois millimètres selon le type de béton et de produit. Comme on le verra plus loin, cette profondeur est suffisante pour les sollicitations étudiées. Cependant, il est possible que cette protection s'altère au cours du temps et, qu'à moyen ou long terme, elle ne soit plus suffisante.

Un exemple de pénétration est visible sur la photographie de la figure 4. La zone claire est la partie imprégnée.

4.2. Gel-dégel avec sels de déverglaçage

Les résultats figurent dans le tableau III où nous avons indiqué la perte de masse en grammes après 10, 20 et 30 cycles respectivement pour les dallettes imprégnées ainsi que pour des

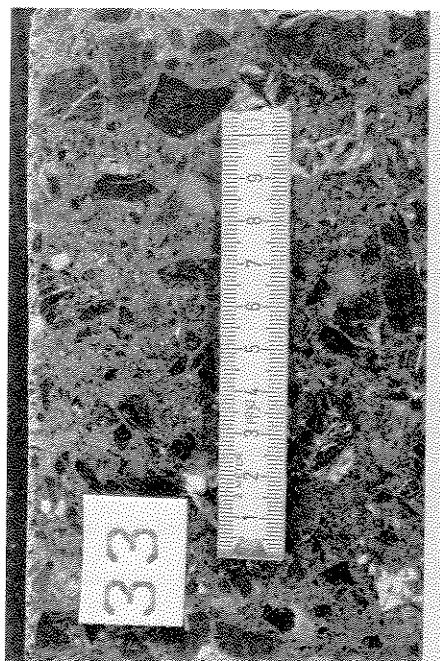


Fig. 4. Profondeur d'imprégnation (la zone claire au haut de la figure est la partie imprégnée).

dallettes témoins de chacun des bétons considérés.

Sur la figure 5, on a représenté la perte de masse des éprouvettes témoins en fonction des cycles de gel-dégel des quatre bétons.

Pour le béton traditionnel de chantier avec un entraîneur d'air, nous avons représenté également les variations de masse des éprouvettes imprégnées et du témoin : figure 6.

En examinant la figure 5 on constate que la composition du béton joue un rôle extrêmement important sur la résistance au gel avec sels de déverglaçage ; en effet :

- le béton pompé, sans imprégnation, est détruit après moins de 20 cycles ;
- les bétons traditionnels de chantier, mais contenant un adjuvant du type superfluidifiant utilisé en tant que réducteur d'eau, se comportent relativement bien ;
- Le béton de laboratoire, sans adjuvant, a une résistance au gel inférieure au béton de chantier avec adjuvant.

Si l'on observe la figure 6 on constate que la résistance au gel est fortement améliorée par les produits d'imprégnation utilisés. D'après la référence [1], ces derniers bétons ont une résistance qui est élevée.

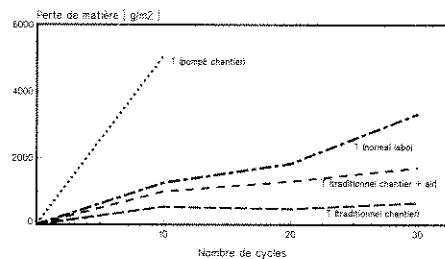


Fig. 5. Essais de gel-dégel - Perte de matière en g/m^2 en fonction du nombre de cycles des éprouvettes témoins.

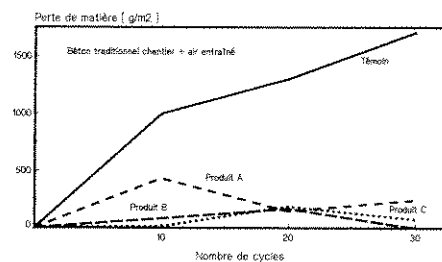


Fig. 6. Essais de gel-dégel - Perte de matière en g/m^2 en fonction du nombre de cycles.

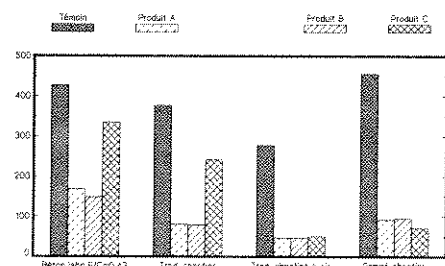


Fig. 7. Coefficient d'absorption d'eau - Eprouvettes témoins et imprégnées pour différents bétons.

D'une manière générale, selon le tableau III, tous les échantillons imprégnés présentent une résistance au gel élevée.

4.3. Coefficient d'absorption d'eau

Les résultats sont indiqués dans le tableau IV et sont représentés graphiquement sur la figure 7.

Les produits A et B diminuent fortement le coefficient d'absorption d'eau pour tous les bétons considérés et ces deux produits ont un comportement pratiquement identique. Le produit C est équivalent aux produits A et B pour les bétons relativement poreux (le béton pompé et le béton avec air entraîné) tandis que son effet est nettement moins marqué pour les bétons compacts (béton labo et béton chantier avec adjuvant superfluidifiant).

4.4. Pénétration des chlorures

Les profondeurs de pénétration des chlorures pour les divers bétons et les trois produits sont reportées dans le

tableau V. On remarque que les traitements limitent fortement la pénétration des chlorures. De plus, il faut signaler que les profondeurs de pénétration mesurées sur les bétons traités correspondent sensiblement aux profondeurs d'imprégnation. Il est vraisemblable que la méthode de mesure utilisée pour la pénétration des chlorures ne permette pas de mettre en évidence l'absence de chlorures dans les zones traitées. Ce point n'a pas été éclairci, mais cela serait possible, par exemple par des mesures de profil de concentration en chlorures au moyen de la microsonde électronique. Cette technique est toutefois relativement compliquée et coûteuse.

5. CONCLUSION

Les essais effectués montrent que l'imprégnation de bétons de tous les types couramment utilisés dans la pratique avec les trois produits testés a un effet protecteur favorable. Les coefficients d'absorption d'eau sont très sen-

siblement réduits par deux des produits, ce qui entraîne certainement une résistance au gel supérieure et une meilleure protection contre les solutions agressives.

La résistance au gel et aux sels de déverglaçage est élevée selon la norme SIA 162/1 pour les bétons traités, alors que les mêmes bétons non traités ont une résistance au gel faible ou moyenne.

La pénétration des solutions de chlorures dans le béton est pratiquement empêchée par les produits de traitement. Cela a certainement un effet très bénéfique du point de vue de la corrosion des armatures, qui est très nettement accélérée par la présence d'eau et de chlorures.

La corrosion des armatures dépend également de l'état de carbonatation du béton qui enrobe les armatures. L'effet des traitements sur la résistance à la diffusion du gaz carbonique, qui provoque la carbonatation du béton, n'a pas été étudié. Il faudrait encore déterminer s'ils n'ont pas un effet négatif notable.

La profondeur de pénétration des trois produits est inférieure à trois millimètres. Cela implique nécessairement un risque pour la durabilité des traitements, car il n'est pas prouvé qu'ils aient une résistance à l'usure et à la fissuration suffisante. Evidemment, lorsque la partie du béton imprégné se désagrège, les effets bénéfiques du traitement disparaissent.

Cette étude a montré qu'un traitement de surface du béton est possible et, qu'en principe, le résultat est bénéfique. Les essais ont en même temps mis en évidence les limites d'un traitement superficiel. Les résultats décrits dans cet article permettent de décider de l'opportunité d'un traitement hydrofuge dans la pratique.

Type de béton	Traitement de la surface avec											
	Néant			Produit A			Produit B			Produit C		
	Nbre de cycles	10	20	30	Nbre de cycles	10	20	30	Nbre de cycles	10	20	30
Béton labo	1257	1833	3326	319	174	285	674	590	549	375	160	63
Béton traditionnel chantier	535	472	653	375	278	174	194	257	313	49	21	0
Béton traditionnel chantier + air entraîné	993	1299	1708*	83	167	0	431	146	243	14	188	76
Béton pompé	5083	**	--	174	215	97	674	417	160	264	521	410

* une éprouvette sur deux détruite
** les deux éprouvettes détruites

Tableau III. Essais de gel-dégel avec sels de déverglaçage - Perte de matière en g/m².

Type de béton	témoin (sans imprégnation)	Éprouvettes imprégnées avec		
		produit A	produit B	produit C
Béton labo	427	169	148	335
Béton traditionnel chantier	377	81	79	242
Béton traditionnel chantier + air entraîné	278	47	47	51
Béton pompé	456	92	95	71

Tableau IV. Coefficient d'absorption d'eau en g/m².h.

Type de béton	témoin (sans imprégnation)	Éprouvettes imprégnées avec		
		produit A	produit B	produit C
Béton labo	5-7	<1	<1	<1
Béton traditionnel chantier	7-15	1-2	<1	<1
Béton traditionnel chantier + air entraîné	8-12	<1	1-2	1-2
Béton pompé	7-25	1-3	1-2	<1

Tableau V. Profondeur de pénétration des chlorures en mm.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Norme SIA 162/1 (1984), Structures en béton - essais des matériaux (projet non encore adopté) - Essai N° 10: résistance au gel et aux sels de déverglaçage.
- [2] Widerstandsfähigkeit von Beton gegen chemischen Angriff, Tätigkeitsbericht 1967-1968, Deutscher Zementwerke eV. Forschungsinstitut der Zement Industrie, p. 42.

Adresse des auteurs :

F. Alou et Y. Houst
EPFL - Laboratoire des matériaux de construction
ch. de Bellerive 32
1007 LAUSANNE