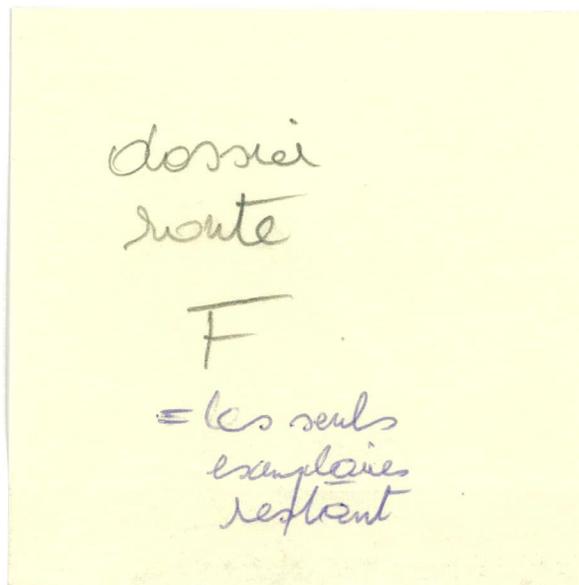


LES BETONS ROUTIERS RESISTANT AU GEL ET AUX PRODUITS DE DEVERGLAÇAGE

En raison de leur grande surface exposée, les routes sont particulièrement soumises aux sollicitations des agents atmosphériques. Aussi, la résistance au gel et aux agents chimiques de déverglaçage des revêtements routiers et des accessoires linéaires de chaussées en béton est fondamentale. Le présent fascicule d'information, après un rappel des sollicitations que subissent les bétons routiers sous l'action du gel et des sels de déverglaçage, décrit les façons de se prémunir contre ces diverses agressions.



DOSSIER
CIMENT

2
octobre 1994

revêtement de route
béton
gel/sel
de déverglaçage

(94) Ef2 L3

BB/SIB



I. LES SOLLICITATIONS DES BETONS ROUTIERS SOUS L'ACTION DU GEL ET DES SELS DE DEVERGLAÇAGE

1. LE GEL DU BETON FRAIS

L'hydratation du béton commence dès que le ciment entre en contact avec l'eau. Un béton fraîchement mis en œuvre contient donc de l'eau libre (gelant à 0°C) dont la quantité décroît au fil du temps et de l'eau fixée dont la quantité croît. Le ciment durcit progressivement et une certaine résistance se développe dans le réseau hydraté.

Si, à ce moment, la température descend sous 0°C, l'eau libre mise sous pression par le gel naissant voit son point de congélation s'abaisser et migre vers des espaces intérieurs disponibles ou vers la surface. La rupture du béton se produit lorsque les pressions deviennent supérieures à la résistance du béton.

Le délai après mise en œuvre nécessaire à la mise "hors gel" du béton est fonction de sa résistance à la compression. Un béton de route dont la résistance sur cube a atteint 10 N/mm² est considéré comme protégé. En pratique, un délai de 3 jours pour une température du béton au moins égale à 5°C et pour un ciment de classe de résistance 42,5 est suffisant. Ce délai est fonction du type de ciment, de la quantité de ciment, de la quantité d'eau, de la température lors de la mise en place, du type de coffrage, de la masse du béton, de la protection de surface... Un béton pris par le gel en deçà de ce délai est pratiquement irrécupérable tandis qu'au-delà le gel ne provoque plus qu'un ralentissement du durcissement.

2. LE GEL DU BETON DURCI

Un béton de bonne qualité contient des capillaires de dimension réduite dans lesquels l'eau ne gèle que bien en-dessous de 0°C. Soumise à un gel normal, se développant progressivement et simultanément à un dessèchement de l'air, l'eau libre restante se met sous pression, voit s'abaisser encore son point de congélation et migre vers la surface ou vers des espaces internes disponibles. Les contraintes internes restent faibles et le mortier est de qualité suffisante pour y résister. Ce béton sera donc parfaitement durable au gel.

Lorsque le béton est trop jeune ou de très mauvaise qualité (capillaires trop gros), l'eau y gèle dès 0°C. La grande quantité d'eau libre contenue ne peut trouver de réserve d'expansion suffisante de sorte que mise sous pression elle engendre des contraintes internes auxquelles un mortier de faible qualité ne peut résister.

De même, en cas de béton saturé en eau et/ou soumis à un gel très brutal, l'eau n'a pas de réserve d'expansion ou n'a pas le temps d'y accéder et peut provoquer l'éclatement du béton en surface. Enfin, des granulats gélifs, proches de la surface, absorbent l'eau et se fissurent sous l'effet du gel en détruisant le mortier d'enrobage et en provoquant des cratères superficiels.

3. L'ACTION DES PRODUITS DE DEVERGLAÇAGE

L'action des produits de déverglaçage, combinée à celle du gel, constitue une sollicitation très sévère des surfaces exposées. Cette action intervient en deux phases :

• A la fusion de la glace par les sels,

la chaleur nécessaire à cette réaction endothermique est puisée dans la couche superficielle du béton qui se refroidit brusquement avec pour conséquences :

- une aggravation de l'effet du gel sur l'eau libre contenue dans les capillaires,
- un choc thermique qui induit des contraintes de cisaillement et de traction importantes dans la couche superficielle, dues au retrait empêché de cette dernière, bridée par la couche sous-jacente moins froide.

• Après avoir fait fondre la glace,

la solution saline diffuse dans la couche superficielle. Comme le gel intervient à des températures différentes suivant le diamètre des capillaires, la concentration en sel de l'eau non gelée varie fortement. Naissent ainsi des pressions osmotiques importantes qui cumulent leurs effets à ceux de la dilatation de la glace en formation et de la migration de l'eau sous pression dans les capillaires.



Action des sels de déverglaçage sur un séparateur en béton type "New Jersey" - Carottage pour analyses.

II. LES MOYENS DE PREVENTION

1. LA CONFECTION D'UN BÉTON DE RESISTANCE TRES ELEVEE

La réalisation d'un béton de résistance très élevée généralement prescrit pour les routes importantes implique nécessairement la confection d'un mortier de très bonne qualité offrant une faible porosité et une grande résistance à la traction. Cette qualité s'obtient par :

- un **rapport eau/ciment (E/C) très bas**, $\leq 0,45$ dans le cas des bétons à haute résistance. La résistance à la compression du béton est en effet inversement proportionnelle au rapport E/C (fig.1).

- un **rapport sable/ciment (S/C) assez faible**, avec S égal à la masse de la fraction 0,08/2 mm du squelette inerte. Pour un béton de revêtement S/C est compris entre 1,0 et 1,5. Pour les accessoires linéaires de voirie S/C est compris entre 1,2 et 1,8.

- l'emploi d'un bon **sable** répondant aux prescriptions techniques du document normatif PTV n° 401. Les sables de rivière de type "sables du Rhin" et de classe granulaire 0,08/2 mm à 0,08/5 mm semblent particulièrement convenir. La fraction 0,08/2 mm se répartit idéalement dans les proportions suivantes :

- fraction 0,5/2 mm : 20 à 40 %,

- fraction 0,250/0,5 mm : 40 à 65 %,

- fraction 0,080/0,25 mm : 10 à 30 %.

Une corrélation significative a pu être mise en évidence entre le module de finesse ISO de la fraction sable proprement dite (0,08/2 mm) et la durabilité aux sels de déverglaçage des bétons dans le cas de glissières New Jersey; lorsqu'un sable plus fin est utilisé, cette durabilité diminue rapidement (fig. 2).

Pour un béton routier 0/32 mm, la teneur en sable (0,08/2 mm) doit être comprise entre 23 à 28 % en masse du squelette inerte. Pour un béton 0/20 mm, la teneur en sable peut atteindre au maximum 32 % en masse du squelette inerte. L'augmentation de la teneur en sable et en éléments fins accroît en effet systématiquement les besoins en eau avec les conséquences dommageables que cela entraîne.

- une **teneur minimale en ciment de 375 kg/m³**. Le ciment employé pour la confection du béton routier est de classe de résistance 42,5 et de type CEM I LA ou CEM III/A LA.

- une **granularité continue**, un **serrage adapté** et une **consistance adéquate**.

L'instabilité de certaines compositions peut conduire à des remontées importantes de mortier vers la couche supérieure qui est celle agressée par les sels. Afin d'éviter la ségrégation, il est impératif d'approvisionner les pierres en fractions granulaires limitées, soit 2/7, 7/20 et le cas échéant 20/32. De plus, les pierres doivent répondre aux prescriptions techniques du document normatif PTV n° 400, notamment être non gélives, propres et contenir peu de particules inférieures à 0,08 mm (max. 1 % pour les calibres > 7 mm, et max. 2 % pour les calibres < 7 mm).

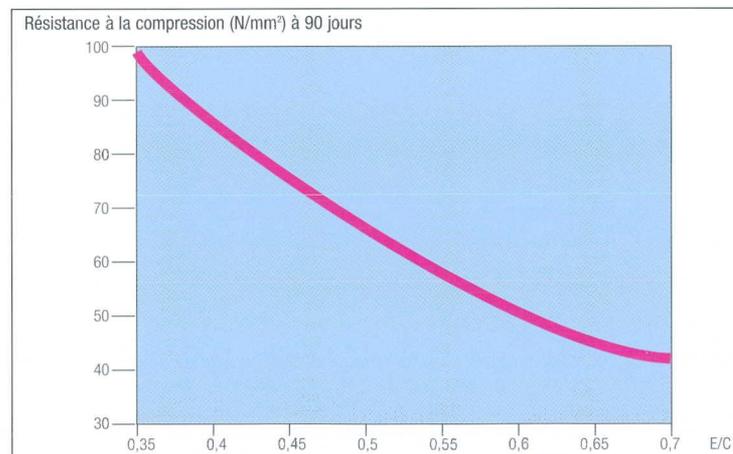


Fig. 1 - Influence du rapport E/C sur la résistance à la compression sur carottes de 100 cm² de section à 90 jours pour différents bétons (ciment de classe 42,5)

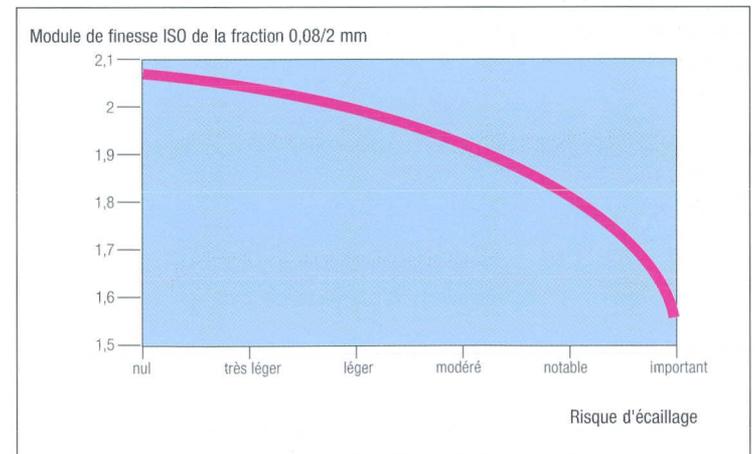


Fig. 2 - Risque d'écaillage en fonction du module de finesse (exemple de glissières New Jersey)

- L'ajout éventuel d'un **adjuvant PRE** (*plastifiant-réducteur d'eau*) ou **FHRE** (*fluidifiant hautement réducteur d'eau*).

Ces adjuvants ont pour but d'améliorer l'ouvrabilité du béton sans ajout d'eau (A), soit de réduire la quantité d'eau de gâchage (B) à ouvrabilité égale, voire d'obtenir une combinaison de ces 2 actions (C) (fig. 3).

Il faut rappeler que les adjuvants ne doivent pas être utilisés pour corriger des erreurs de composition ou de mise en œuvre des bétons, mais bien pour donner à ces matériaux des propriétés spécifiques supplémentaires. L'emploi d'un adjuvant demande de réaliser un essai de compatibilité avec le ciment employé et de définir le dosage approprié.

Etant donné leur durée d'efficacité souvent assez limitée, les adjuvants FHRE sont actuellement peu utilisés dans le secteur routier, si ce n'est pour des réparations localisées quand peu de moyens de vibration sont disponibles ou pour réaliser des bétons à forte résistance initiale qui doivent supporter le trafic moins de 24 à 48 heures après la mise en œuvre. A même ouvrabilité, les FHRE permettent de réduire la teneur en eau de manière considérable (environ 30 litres/m³); l'effet est très favorable au rapport E/C; la résistance du béton et sa durabilité en sont très fortement améliorées. Ils sont incorporés plus généralement immédiatement avant la mise en œuvre et selon le produit utilisé à raison de 1 à 4 % de la masse du ciment.

Les adjuvants PRE, comme leur nom l'indique, permettent de réduire la teneur en eau de façon moins spectaculaire (5 à 10 litres /m³). Ils sont en général incorporés à raison de 0,2 à 0,5 % de la masse du ciment directement dans l'eau de gâchage.

2. L'USAGE D'UN ENTRAINEUR D'AIR DANS LE BETON

En Belgique, les entraîneurs d'air, agents tensioactifs qui dispersent de très nombreuses bulles d'air microscopiques dans le béton, sont relativement peu utilisés dans les revêtements routiers. La philosophie est encore de réaliser des bétons de résistance très élevée à forte teneur en ciment (cfr. II.1).

Par contre, l'emploi des entraîneurs d'air est courant pour la construction de nombreux types d'accessoires de chaussée. Leur utilisation pourrait toutefois s'étendre dans l'avenir aux bétons de revêtement lorsque les granulats doivent être plus fins (réduction du bruit de roulement) ou lorsque l'utilisation de produits de déverglaçage est fréquente.

L'air entraîné a plusieurs effets dont notamment :

- améliorer l'ouvrabilité du béton frais et réduire ainsi la quantité d'eau de gâchage;
- améliorer la résistance du béton durci au gel et aux produits de déverglaçage;
- réduire quelque peu la résistance en compression du béton.

Selon le diamètre maximum des granulats du béton, la quantité d'air entraîné varie. Plus le calibre des granulats est important, moins le % d'air entraîné nécessaire est élevé. La norme NBNB15-001 impose un minimum de 4 % d'air pour un béton 0/32 mm.

En pratique, lorsqu'un entraîneur d'air est employé, il est indispensable de contrôler sur béton frais la quantité réelle d'air contenue dans le béton. De même, un essai de convenance et de compatibilité avec les autres matériaux utilisés doit être effectué afin de déterminer la quantité de produit nécessaire à l'obtention de 4 % d'air minimum et de contrôler la quantité réelle de bulles d'air contenues dans le béton. Comme pour les autres adjuvants, il faut rappeler que les entraîneurs d'air ne sont pas destinés à fabriquer un bon béton à partir de matériaux impropres ou mal choisis.

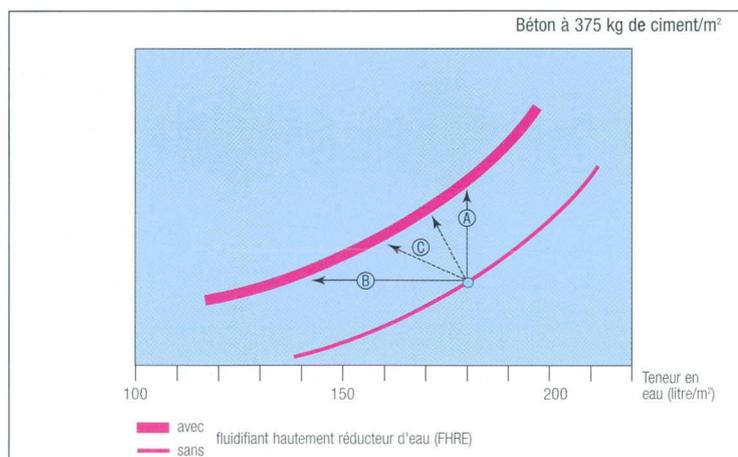


Fig. 3 - Rapport entre l'ouvrabilité du béton et sa teneur en eau : effet de l'usage d'un fluidifiant hautement réducteur d'eau (FHRE)

3. LES PRECAUTIONS A PRENDRE LORS DU BETONNAGE EN HIVER

• Le bétonnage en hiver

En cas de risque de gelée lors du bétonnage ou dans les 24 heures qui suivent, certaines précautions peuvent être envisagées telles que :

- la réduction de la quantité d'eau de gâchage par le recours à un adjuvant réducteur d'eau ou la réduction du rapport E/C par un dosage accru en ciment;
- l'utilisation d'une composition de béton à durcissement accéléré qui peut être obtenue par :
 - un dosage en ciment de 375 à 425 kg/m³;
 - le choix d'un ciment libérant rapidement sa chaleur d'hydratation – classe de résistance 42,5R ou éventuellement 52,5N;
 - l'interdiction d'utiliser un adjuvant ayant un effet retardateur sur le durcissement;
 - l'ajout d'un accélérateur de prise (à teneur maximale en chlore du béton de 0,4 % de la masse de ciment pour les revêtements en béton armé continu);
 - l'augmentation de la température du béton frais par chauffage d'un ou plusieurs constituants (de préférence l'eau).
- le maintien de la surface du béton à plus de 5°C pendant au moins 3 jours par une protection supplémentaire de type isolant thermique, p.ex. des panneaux en polystyrène expansé.

Le bétonnage est, en règle générale, interdit lorsque la température de l'air sous abri à 1,50 m du sol mesuré à 8 h du matin est inférieure ou égale à +1°C et que le minimum nocturne est descendu sous -3°C. La surface du revêtement doit être protégée efficacement contre le gel de manière que pendant 72 heures après la mise en œuvre du béton, la température de surface du revêtement ne descende pas en-dessous de +1°C.

• L'épandage de produits de déverglaçage

Tout usage de produits de déverglaçage doit être proscrit sur des bétons âgés de moins de 6 semaines. Dans tous les cas, le béton aura atteint une résistance équivalente à un béton d'au moins 28 jours d'âge conservé à 20°C.

4. LES REGLES DE BONNES FABRICATION ET MISE EN ŒUVRE DU BETON

De bons matériaux et une composition appropriée ne sont pas encore des garanties suffisantes pour obtenir un béton routier de bonne qualité. La fabrication, le transport du béton et sa mise en œuvre ont également de l'importance.

• La fabrication du béton en centrale comporte trois opérations essentielles :

- l'entreposage des matériaux, avec le danger de ségrégation et de souillure,
- le dosage des constituants, avec la difficulté de maîtriser correctement la teneur en eau des granulats et du sable et donc le rapport E/C,
- le malaxage même, qui doit être suffisamment long pour obtenir un mélange homogène.

Il importe donc de veiller particulièrement à ces opérations et de s'assurer que la centrale a la capacité suffisante pour approvisionner de façon continue le chantier. L'usage d'une centrale répondant aux exigences de conformité BENOR est conseillé.

• Lors du transport, des mesures appropriées seront prises pour éviter toute ségrégation, toute contamination, et toute perte de laitance. Il est conseillé d'assurer le transport des bétons routiers par camions-benne.

• La mise en œuvre sera effectuée au moyen de machines adaptées à l'importance du chantier. La mise en place, le compactage et la vibration sont tels que la porosité du béton est très faible et que l'absorption d'eau par immersion est de préférence inférieure à 6 %. L'arrosage du béton frais, devant la machine, pour en faciliter la mise en œuvre est interdit.

L'usage d'un 'supersmoother' - une poutre lisseuse placée parallèlement à l'axe de la route et qui se déplace transversalement en suivant un mouvement régulier de va-et-vient - est hautement recommandé.

Les replâtrages manuels pour corriger les défauts de planéité sont à proscrire. Enfin, l'arrosage du béton en surface ou tout brossage accompagné d'eau est exclu.



Supersmoother en action

5. LA PROTECTION DU BETON CONTRE L'EVAPORATION

La qualité des revêtements en béton, en particulier leur durabilité de surface, est fortement tributaire de la protection du béton frais contre l'évaporation.

Tout départ d'eau du béton frais est nocif tant pour la résistance que pour le retrait (risque de fissuration) et la durabilité. Les bétons routiers sont, de par leur grande surface libre, très exposés à l'évaporation; suivant l'humidité relative de l'air, la vitesse du vent, la température du béton et celle de l'air, plus d'un litre d'eau par m² peut s'évaporer par heure d'un béton non protégé. Toute dessiccation prématurée du béton conduit à :

- une hydratation incomplète du ciment en surface, génératrice de poudroïement,
- la multiplication des capillaires et une microfissuration superficielle, cause de porosité et de réduction des résistances à la traction et au cisaillement. Ces microfissurations constituent des chemins de pénétration privilégiés pour les solutions salines.

La protection contre l'évaporation se fait de différentes manières selon le type de béton. Les bétons de revêtement et d'accessoire de chaussée doivent être protégés par vaporisation d'un produit de cure en surface immédiatement après la mise en œuvre. Le produit utilisé doit présenter une efficacité d'au moins 80 % définie suivant la norme NBN B15-219. La quantité de produit déposé est telle qu'elle assure un recouvrement complet et uniforme de la surface à protéger. Ceci revient généralement à une quantité de 200 g minimum par m². Les produits de cure sont de couleur blanche ou métallisée afin de réfléchir les rayons lumineux et de limiter l'échauffement du béton.

Bien que ceci risque de laisser des traces en surface, les revêtements peuvent aussi être protégés par une feuille de matière plastique. C'est toujours le cas pour les bétons dénudés chimiquement. Comme le béton doit dans tous les cas être protégé pendant au moins 72 heures et que la feuille de plastique est enlevée après environ 24 heures pour effectuer le brossage, il est indispensable de renouveler la protection en vaporisant un produit de cure après cette dernière opération. De même, en cas de délayage du produit par la pluie, une nouvelle protection sera assurée.

COMMENT APPRECIER LA RESISTANCE AU GEL ET AU SEL D'UN BETON DURCI ?

Divers essais concernant la résistance au gel d'un béton durci existent et d'aucuns sont normalisés; les plus courants sont repris ci-après. L'âge et la température de durcissement des bétons ayant une grande influence sur leur qualité, le rapport des essais précités devra toujours stipuler l'âge du béton au moment des essais. Il est recommandé d'attendre au moins 28 jours avant d'entamer les essais.

1. L'ABSORPTION D'EAU PAR IMMERSION

L'absorption d'eau mesurée dans les conditions d'essais de la norme NBN B15-215 doit être normalement inférieure à 6 % pour attester d'une bonne résistance aux sels des bétons. Au delà de 6,5 %, les risques d'écaillage deviennent plus importants. Pour les bétons routiers, cet essai est généralement réalisé sur la tranche supérieure du revêtement, la plus directement soumise à l'attaque des sels. L'essai est effectué sur des éprouvettes cylindriques de 100 cm² de section prélevées de préférence par forage dans le revêtement.

2. L'ESSAI DE GELI VITE SUIVANT LES NORMES NBN B15-231 ET NBN B05-203

Les éprouvettes de béton, saturées en eau par immersion, subissent 14 cycles directs de gel-dégel de 24 heures. Chaque cycle comprend une période de 10 à 11 heures à -15°C et un dégel dans l'eau avec maintien de l'éprouvette à 9°C pendant 6 à 7 heures.

Le critère de résistance au gel consiste en la non altération des propriétés mécaniques en fin d'essai, contrôlée:

- par examen visuel de l'aspect des éprouvettes pendant et après les 14 cycles,
- par examen non destructif des éprouvettes (vitesse du son et/ou fréquence de résonance) pendant et après l'exécution des cycles de gel-dégel,
- par comparaison des résultats d'essais de traction par fendage et/ou de flexion effectués sur les éprouvettes après les 14 cycles avec ceux des mêmes essais effectués avant les cycles sur des éprouvettes témoins du même béton.

Il y a lieu de noter que cet essai de gélivité n'est pratiquement pas utilisé pour les bétons routiers pour lesquels il n'existe pas de corrélation entre les résultats de l'essai et le comportement réel au gel des bétons in situ.

3. DETERMINATION DE LA RESISTANCE A L'ECAILLAGE D'UN BETON DURCI SUIVANT LE PROJET DE NORME INTERNATIONALE ISO/DIS - 4846 - 2

Il s'agit d'une méthode de détermination de la résistance à l'écaillage d'éprouvettes de béton soumises à 30 cycles de gel-dégel et dont la surface est recouverte d'une solution (à 3 %) de chlorure de calcium. Chaque cycle comprend une période d'environ 12 heures à -18°C. Le dégel s'effectue à l'air du laboratoire durant 6 à 8 heures. Tous les 5 cycles on mesure les pertes de masse par unité de surface de la face d'essai. Un béton routier de bonne qualité aura une perte de masse inférieure à 2,5 g/dm² après 30 cycles. Toutefois, sont encore considérés comme acceptables les bétons dont la perte de masse reste inférieure à 10 g/dm² après 30 cycles.

III. LE TRAITEMENT DES BETONS DURCIS TROP POREUX

Lorsqu'un béton présente après exécution une porosité trop importante (absorption d'eau supérieure à 6,5 voire 7 %) il est possible de protéger sa surface par une imprégnation.

Le but et la fonction de cette imprégnation est de rendre hydrophobe la surface du béton pour freiner la pénétration de l'eau de pluie et des sels de déverglaçage et éviter ainsi les dégâts en résultant lors des cycles gel-dégel.

Les agents d'imprégnation sont généralement formés de deux produits : la matière active dont la teneur varie entre 5 et 10 % et un solvant qui sert à transporter la matière active dans le matériau. Ce solvant, qui s'évapore ensuite, doit permettre une grande profondeur de pénétration de la matière active. Pour être efficace, l'agent d'imprégnation doit répondre à divers critères dont les plus importants sont :

- la résistance aux alcalis (compte tenu de l'alcalinité du support);
- la résistance aux ultra-violets, les bétons routiers étant largement exposés aux rayons solaires et aux intempéries;
- une bonne profondeur de pénétration;
- une surface non collante après séchage;
- une bonne perméabilité à la vapeur d'eau.

Avant d'appliquer de tels produits, il est prudent d'effectuer des plages d'essais soumises à des essais de gel-dégel en laboratoire afin de contrôler leur efficacité. De plus, certains produits n'ont pas un caractère définitif et le traitement devra être renouvelé périodiquement.

Les sollicitations des revêtements aéro-portuaires sont particulièrement sévères :

- charges extrêmement lourdes,
- effets dynamiques,
- action des produits de déverglaçage en hiver,
- écoulements accidentels d'hydrocarbures.

Les revêtements en béton répondent aux divers critères de qualité requis par :

- le choix d'une structure appropriée : dalles en béton de 35 cm d'épaisseur sur fondation en béton maigre de 20 cm d'épaisseur et sous-fondation;
- une composition du béton adéquate, résistante et compacte : min. 375 kg de ciment par m³ ;
- l'ajout d'un entraîneur d'air dans le béton;
- une protection complémentaire de la surface par imprégnation.

(Photo : aéroport de Zaventem)



BIBLIOGRAPHIE

PETIT J.
Les bétons routiers
Bruxelles : Fédération de l'Industrie Cimentière, 1988
35 p.

KOSMATKA S. H.; PANARE SE W.C.
Design and Control of Concrete Mixtures
PCA (Portland Cement Association). Publication, EB001.13T, 13th edition
205 p.

CARLES-GIBERGUES A.; PIGEON M.
La durabilité des bétons en ambiance hivernale rigoureuse
in :
BARON, J.; OLLIVIER J.P.
La durabilité des bétons
Paris : Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1992,
p. 227-284



ce bulletin est publié par :
FEBELCEM - Fédération de
l'Industrie Cimentière Belge
rue Volta 8 - 1050 Bruxelles
tél. 02 645 52 11
fax 02 640 06 70
http://www.febelcem.be
e-mail:info@felbelcem.be

auteur :
Ir A. Jasienski

éditeur responsable :
J.P. Jacobs

dépôt légal :
D/2003/0280/05
(réimpression, novembre 2003)

POUR DES BETONS ROUTIERS RESISTANT AU GEL ET AUX PRODUITS DE DEVERGLAÇAGE

MESURES DE PRECAUTION

1. La confection d'un béton de résistance très élevée

- $E/C \leq 0,45$
- $S/C \leq 1,5$
- sable de bonne qualité et en quantité limitée
- minimum de 375 kg/m³ de ciment de classe 42,5
- granularité des pierres continue
- ajout éventuel d'un adjuvant PRE ou FHRE

2. L'usage éventuel d'un entraîneur d'air dans le béton

- minimum 4 % d'air pour un béton 0/32 mm

3. Les précautions à prendre lors du bétonnage en hiver

- le bétonnage est interdit lorsque $t^{\circ} \leq +1^{\circ}C$
- l'épandage de produits de déverglaçage est proscrit sur les bétons âgés de moins de 6 semaines

4. Les règles de bonnes fabrication et mise en œuvre

- fabrication, transport et mise en œuvre soignés

5. La protection du béton contre l'évaporation

- épandage de minimum 200 g/m² de produit de cure efficace immédiatement après mise en œuvre du béton

LE TRAITEMENT DES BETONS DURCIS TROP POREUX

- lorsque l'absorption d'eau est $> \text{à } 6,5 \%$, traitement de la surface du béton avec un bon produit d'imprégnation.