

## **(ULTRA)FAST-TRACK CONCRETE PAVING: EXPERIENCE BELGE**

T. Lonneux et P. Vandenhoven  
Ministère de la Communauté flamande – Administratie Wegen en Verkeer du Brabant  
flamand, Belgique

A. Beeldens  
Centre de recherches routières, Belgique  
a.beeldens@brrc.be

L. Vandewalle  
Department d'Ingénierie civile, Katholieke Universiteit Leuven, Belgique

L. Rens  
FEBELCEM – Fédération de l'industrie cimentière belge, Belgique

### **RESUME**

Depuis trois ans, l'Administratie Wegen en Verkeer (AWV) du Brabant flamand utilise la technique des revêtements en béton ultrafast-track (UFT) pour la réhabilitation de différentes sections routières. L'objectif est d'obtenir une résistance à la compression de 40 MPa sur des carottes après 30 à 36 h de cure. Les matériaux utilisés sont couramment disponibles dans les usines de malaxage du béton, sans addition de cendres volantes ou de fumée de silice. Le type et la teneur en ciment ainsi que le facteur eau-ciment (e/c) sont établis lors d'une étude en laboratoire préliminaire. Les résultats sont excellents sur la plupart des sites de travail et les objectifs ont été atteints. Cependant, l'expérience in situ a permis de tirer quelques leçons.

Lors de la phase de préparation du projet, l'ouvrabilité joue un rôle essentiel dans la conception finale du béton, particulièrement dans le dosage du superplastifiant. La couche de base doit résister à d'importantes charges de trafic sur une seule journée, vu que le revêtement en béton doit être posé sur cette couche. En raison de la tolérance limitée en matière de timing, toutes les précautions nécessaires, telles que la recherche d'obstacles sur la route existante, dans la zone de construction, doivent être prises à l'avance, et des mesures doivent être réalisées si la portance du sol est inadéquate.

Lors de la phase d'exécution, il faut garantir un bon approvisionnement en béton, vu que le délai entre la préparation à l'usine et la pose sur site est très court. En fonction de la température, il se peut que la composition du béton doive être modifiée afin de garantir une ouvrabilité suffisante. Les revêtements adjacents doivent être détruits avec précaution afin d'éviter d'endommager la section nouvellement posée. Et en raison de l'importante quantité de ciment utilisée, le sciage et la cure jouent un rôle plus important encore que dans le cas de revêtements en béton normaux.

La technique convient principalement aux applications sur des sections routières d'une longueur de 50 à 200 m (max. 1200 m<sup>2</sup>). Une recherche en laboratoire plus approfondie est prévue pour 2005-2006 en vue d'étendre l'expérience à différents mélanges et à différentes températures ambiantes. Outre les aspects de la technologie du béton, une bonne organisation du chantier et une bonne gestion de la qualité constituent des facteurs clés pour la réussite du projet UFT.

## 1. INTRODUCTION

Une recherche approfondie réalisée conjointement par l'Administration des routes et du trafic (AWV), l'Université catholique de Louvain (KULeuven), le Centre de recherches routières (CRR) et la fédération belge de l'industrie cimantière (FEBELCEM) a abouti en la mise au point d'un mélange qui permet l'ouverture à la circulation d'un revêtement en béton de ciment 36 h déjà après le bétonnage.

Depuis trois ans, la division du Brabant flamand de l'AWV utilise la technique d'"ultrafast-track (UFT) concrete paving" pour la réhabilitation de différentes sections routières. Cette méthode est le résultat d'un programme de recherche ciblé sur le développement de la technique de revêtement fast-track (FT), qui permet de réduire de cinq jours les délais d'achèvement des travaux.

## 2. ETAPES CHRONOLOGIQUES D'UN PROJET

### 2.1. Phase de préparation et de conception

#### 2.1.1. Caractéristiques environnementales de la zone de construction

Lors de la phase de conception, le concepteur doit inspecter le site pour s'assurer qu'il n'y a aucun obstacle dans la zone entre les extrémités du revêtement existant en béton de ciment, plus une largeur supplémentaire de 1.10 m. Cette largeur supplémentaire est nécessaire pour le passage du slip-form paver et ne doit dès lors présenter aucun obstacle (arbres, panneaux de circulation, équipement routier, etc.).

D'un autre côté, le concepteur doit prendre les précautions nécessaires pour minimiser les dégâts des revêtements plus fragiles (p.ex. bitumineux) adjacents au revêtement en béton, qui devra être partiellement réparé après le passage du slip-form paver.

#### 2.1.2. Couche de fond

La portance de la couche de fond doit être prise en compte lors de la conception du projet. Pour permettre une exécution continue, le projet doit tenir compte des améliorations du sol là où cela est nécessaire, et donner la préférence à des mesures qui ne causent pas de retards (p.ex. l'application d'un géotextile combiné avec une couche supplémentaire de pierres concassées, plutôt que de stabiliser le sol à la chaux et/ou au ciment). Dans de nombreux cas, l'ancienne route en béton était directement posée sur le sol, sans aucune base.

#### 2.1.3. Couche de base

Le projet doit inclure une couche de base qui peut être posée rapidement et développer rapidement une résistance élevée à la compression. La préférence doit être donnée à un béton cylindré avec une teneur en ciment suffisamment élevée pour résister aux véhicules lourds de transport du béton le jour qui suit la construction, sans être sujet à l'orniérage.

#### 2.1.4. Revêtement en béton de ciment

Le souci principal du concepteur est, bien entendu, la composition du mélange du revêtement en béton. Il ne doit pas seulement se soucier d'atteindre la résistance minimale requise à la compression (40 MPa après 36 h) mais doit également être

particulièrement attentif à l'aspect de mise en oeuvre dans les conditions et à la température ambiante spécifiques. La dernière partie du présent article se concentrera sur le lien entre la composition du mélange et la température. Quelques recommandations sont données.

a) Résistance à la compression:

- seuls les ciments CEM I 42.5 LA ou CEM I 52.5 LA semblent être capables de développer la résistance à la compression requise tout en préservant une bonne ouvrabilité;
- une teneur en ciment de  $\pm 450 \text{ kg/m}^3$  est nécessaire pour atteindre la résistance à la compression requise;
- l'utilisation d'un entraîneur d'air doit être évitée car, d'une part, la teneur élevée en ciment offre déjà la résistance aux sels de déverglaçage requise, et d'autre part, cet entraîneur d'air nuit à la résistance à la compression du béton jeune;
- un rapport maximal eau/ciment (E/C) de 0.38 doit être spécifié.

a) Ouvrabilité:

- un superplastifiant doit être utilisé pour produire un mélange facile à mettre en oeuvre;
- la teneur en ciment doit être limitée à  $460 \text{ kg/m}^3$  au maximum. Au-delà, l'hydratation est trop rapide et nuit à l'ouvrabilité du mélange;
- un mélange de CEM I 52.5 N LA et de CEM I 42.5 N LA semble conférer une meilleure ouvrabilité au mélange que le seul CEM I 52.5 LA;
- le ciment à résistance initiale élevée (type R au lieu de N) doit être évité, étant donné que la teneur en ciment est déjà très élevée.

## 2.2. Phase d'exécution

### 2.2.1. Principe des phases

L'objectif de cette technique est de limiter la durée de la fermeture de la route à trois jours, afin que la remise en état puisse avoir lieu durant le week-end:

- Vendredi: démolition de la route, pose de béton cylindré comme couche de fond;
- Samedi: pose du béton UFT jusqu'à 18h00, sciage et scellement des joints de retrait;
- Dimanche: jointoiement et finition: pose des marquages routiers;
- Lundi matin, 6h00: réouverture à la circulation.

### 2.2.2. Démolition du revêtement existant

Lorsque la route doit être réparée dans les deux sens de circulation, la première moitié de la chaussée doit être démolie avec une surlargeur de  $\pm 0.50 \text{ m}$  (délimitée par un trait de scie) au-delà de la ligne centrale de la route.

La nouvelle section doit être posée le long de la ligne centrale initiale, laissant un vide entre la section nouvellement posée et la section encore à démolir dans l'autre direction (voir figure 1).

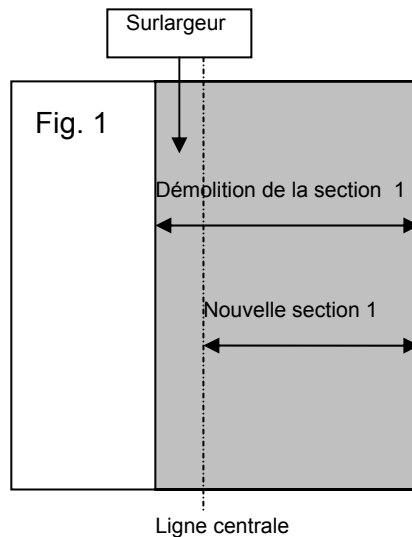


Figure 1 – Plan de démolition

La surlargeur de démolition est souhaitable pour les raisons suivantes:

- a) Il y a d'importants risques de dommages latéraux sur la section nouvellement posée lors de la démolition de la seconde section quand un contact entre les deux reste possible;
- b) La surlargeur crée une bande libre où des barres de liaison peuvent être insérées dans le béton frais immédiatement après le passage du slip-form paver. Il s'agit d'une meilleure façon de garantir la liaison entre les deux sections que via le forage et l'ancrage chimique des barres après le durcissement du béton.

### 2.2.3. Amélioration du sol de fondation

Après l'enlèvement de la fondation existante (y compris la couche de base), il se peut que la portance du sol ne soit plus suffisante. Si cela s'avère être le cas, des mesures d'amélioration du sol doivent être prises et réalisées rapidement, afin de minimiser le retard des étapes suivantes. La meilleure option, comme nous l'avons déjà suggéré lors de la phase de conception, est de recreuser et d'appliquer un géotextile et une couche supplémentaire de pierres concassées plutôt que de stabiliser le sol à la chaux et/ou au ciment.

### 2.2.4. Couche de base

Une fois que la couche de base en béton cylindré a été posée, les joints transversaux, situés aux mêmes endroits que les futurs joints de retrait du revêtement, doivent être exécutés en réalisant des incisions d'une profondeur égale à au moins un tiers de l'épaisseur totale de la couche. La distance entre les joints ne doit pas dépasser 5 m. Si nécessaire, des goujons sont placés sur la couche de base, à l'endroit des joints de la couche supérieure. Ils doivent être suffisamment ancrés dans la couche (par clouage, maintien à l'aide de plaques d'acier, etc.) afin d'éviter qu'ils ne se déplacent lors du passage du slip-form paver.



Figure 2 - Incision dans le béton cylindré pour le joint de retrait transversal

#### 2.2.5. Revêtement en béton de ciment

##### a) Température ambiante

Toutes les sections de route réalisées avec la technique UFT doivent être posées à une température comprise entre 0 et +20 °C. Les températures élevées accélèrent le durcissement et réduisent l'ouvrabilité du mélange, qui devient trop rigide pour pouvoir être posé. La température ambiante doit idéalement être comprise entre +5 et +10 °C.

##### b) Délai de transport

L'aspect le plus important en termes de mélange lors de la phase d'exécution est le temps. En raison de la composition et de l'importante l'hydratation rapide du mélange, le temps écoulé entre le malaxage à la centrale et la pose sur le site ne doit pas dépasser les 50 min. des temps de transport plus longs rendent l'épandage et le compactage du béton virtuellement impossibles. Il est dès lors capital de choisir une centrale de malaxage située non loin du site de construction.

##### c) Délai de pose

Le fournisseur du béton doit faire ce qui est nécessaire pour assurer une livraison constante sur le site. Toute interruption supérieure à 30 min. dans la pose en raison de retards de livraison engendrera des différences de durcissement sur toute l'épaisseur du béton, nécessitant alors une reconstruction.

Après le passage du slip-form paver, les opérations (telles que le brossage) nécessaires pour obtenir l'adhérence requise doivent débuter aussi vite que possible, car la surface risque de devenir trop dure pour être traitée.

##### d) Autres éléments nécessitant une attention particulière

A la limite transversale entre l'ancien matériau et le nouveau, l'entrepreneur doit compacter correctement les deux premiers mètres de la nouvelle section avec un dispositif portable (aiguille vibrante) pour améliorer l'épandage et le compactage dans les coins. Cette étape est nécessaire, car les vibreurs du slip-form paver n'ont pas un rayon d'action suffisant pour atteindre ces coins, ce qui résulterait en un mauvais compactage de ces zones (et donc un revêtement en béton de moins bonne qualité!).

## 2.3. Phase de finition

### 2.3.1. Produit de cure

En raison de la teneur élevée en ciment et de la vitesse d'hydratation du mélange, le revêtement en béton doit être traité avec un produit de cure aussi vite que possible après la pose et la finition du béton, afin d'éviter un séchage rapide de la surface et donc d'importantes fissures de retrait.



Figure 3 – Phase de finition, avant l'application d'un produit de cure ou de la pose d'un film en plastique

### 2.3.2. Joints de retrait et de flexion

Tous les joints de retrait, de dilatation et/ou de flexion doivent être sciés et scellés endéans 24 heures, car les contraintes de retrait sont bien plus importantes dans le béton UFT que dans les applications conventionnelles. Selon les conditions climatiques, le sciage peut débuter après quelques heures.

### 2.3.3. Marquages routiers

Avant de poser les marquages routiers, la surface doit être nettoyée à l'aide d'un nettoyeur à haute pression. Cette étape est nécessaire pour enlever le produit de cure de la surface et pour obtenir une bonne adhésion entre le marquage et le béton.



Si l'on pose les marquages sans avoir enlevé le produit de cure, l'adhésion sera nettement plus faible et les marquages devront être remplacés beaucoup plus rapidement.

### **3. CHAMP D'APPLICATION DE L'UFT**

#### **3.1. Longueurs typiques par section**

La longueur minimale d'une route susceptible d'être réparée à l'aide de la technique UFT est de 50 m. Si la section est plus petite, le rapport coûts-bénéfices est trop élevé pour garantir l'application de la technique (sauf par exemple pour des réparations sur autoroutes, où les pertes économiques liées à l'inaccessibilité de la section sont nettement plus importantes).

La longueur maximale est d'environ 200 m, soit 1200 m<sup>2</sup>. La vitesse à laquelle le béton à durcissement rapide peut être répandu, compacté et fini ne permet pas la réalisation de sections plus longues sur une même journée. Les bandes plus longues peuvent naturellement être réalisées en plusieurs étapes.

#### **3.2. Champ général d'application**

Les réparations de route à l'aide de la technique UFT ne doivent principalement être envisagées que pour des routes à trafic élevé, où les conséquences économiques d'une fermeture de longue durée d'une section, même partielle, sont fort importantes.

Lorsque toute la fondation d'une route est remplacée, la section rénovée présente alors un cycle de vie garanti de trente ans.

La flexibilité des épaisseurs auxquelles la couche de base et le revêtement peuvent être exécutés fait que la technique peut être utilisée pour différents types de route (autoroutes, routes primaires et secondaires, etc.).

### **4. RECHERCHE EN LABORATOIRE**

Lorsqu'on cherche à être capable de rouvrir la route à la circulation après 36 h de cure, un programme d'essais strict est imposé à l'entrepreneur. Une étude en laboratoire de la composition de béton proposée est obligatoire avant de débiter les travaux.

Pour simuler les conditions réelles de cure du béton, des dalles de 400 x 300-250 mm<sup>3</sup> ont été coulées in situ. Après un jour, des carottes ont été prélevées sur ces dalles. Pour simuler au mieux le comportement réel du béton dans le revêtement à une température ambiante basse, les côtés et le fond des carottes ont été isolés si une cure plus longue était nécessaire. Des essais similaires ont été réalisés sur des cubes confectionnés avec le béton utilisé in situ, ainsi que sur des carottes prélevées sur le revêtement même.

#### **4.1. Enregistrement des températures**

Un des principaux facteurs dans le développement de la résistance est la température du béton. A des températures ambiantes plus élevées, la température du béton augmentera plus rapidement et l'hydratation commencera plus tôt, ce qui résultera en une

augmentation plus rapide de la résistance. D'autre part, l'ouvrabilité sera moindre à des températures plus élevées. La composition du mélange devra dès lors être ajustée à la température ambiante prévue.

L'effet de la température sur la résistance à la compression peut être observé à la figure 4 qui reprend des données relatives à un chantier sur le N272 à Galmaarden. C'est un mélange avec 450 kg/m<sup>3</sup> de CEM I 52.5 N HSR LA, un rapport E/C de 0.38 et 1.5 % de superplastifiant qui y a été utilisé.

Pour déterminer les propriétés du béton durci, différentes éprouvettes ont été préparées in situ: des cubes de 150 x 150 x 150 mm<sup>3</sup> et des dalles de laboratoire de 400 x 300 x 150 mm<sup>3</sup>, isolées et non isolées. Le béton a été vibré sur une table vibrante. Les éprouvettes ont été recouvertes d'un film en plastique pour prévenir l'évaporation de l'eau. Certaines des dalles de laboratoire ont été isolées sur le dessus et le dessous avec une plaque de polystyrène de 50 mm d'épaisseur. Après 24 h de cure sur le site de construction, les éprouvettes ont été transportées au laboratoire et stockées à l'extérieur pendant encore six jours.

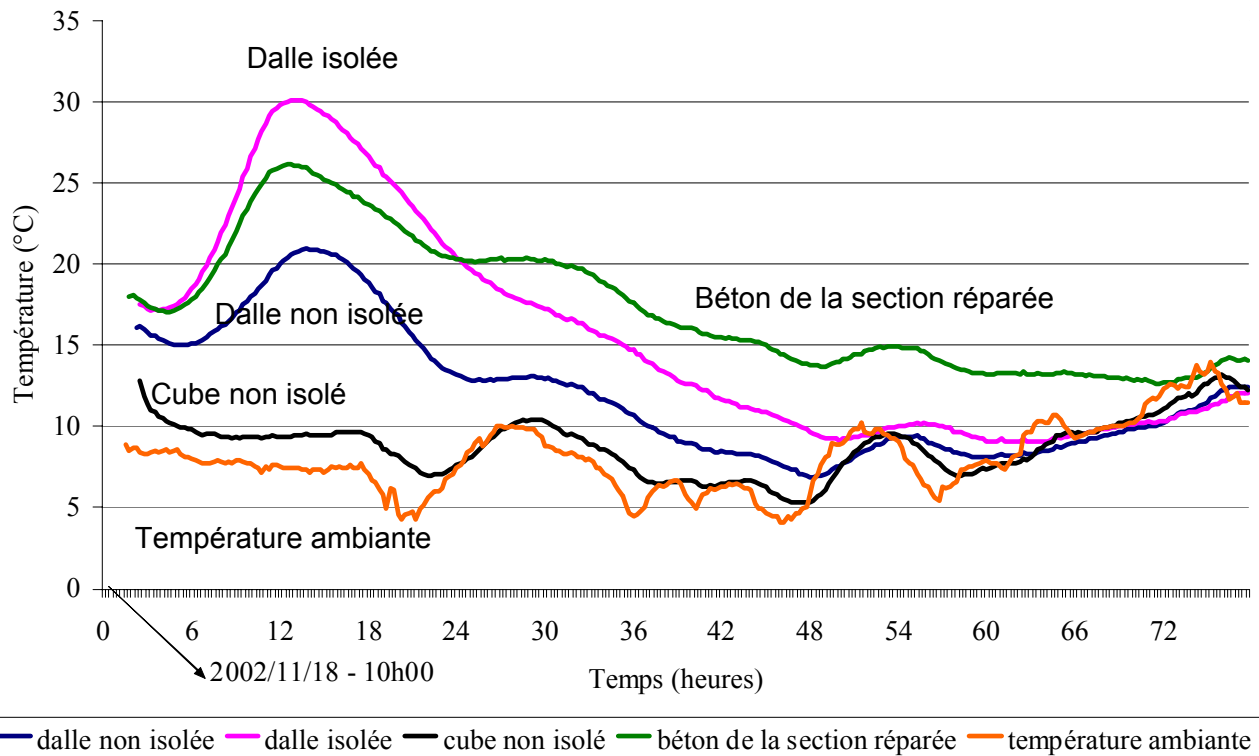


Figure 4 – Evolution dans le temps des températures mesurées sur les différentes éprouvettes

Comme le montre la figure 4, la température du cube non isolé est comparable à la température ambiante. Une température légèrement plus élevée est observée pendant les premières 24 h, en raison de la température plus élevée du béton au moment de la pose et du procédé d'hydratation.

La température du revêtement et des dalles est clairement supérieure à la température ambiante. Durant les premières heures, elle augmente suite à la réaction d'hydratation. Un maximum est atteint après 12 h, après quoi la température diminue pour rejoindre la température ambiante après environ 50 h dans le cas des dalles isolées et non isolées. La



température du revêtement en béton est plus basse que dans la dalle isolée pendant les premières 24 h, mais ne rejoint la température ambiante qu'après 72 h. Cela est bénéfique à la résistance finale du revêtement.

#### 4.2. Développement de la résistance à la compression

La résistance à la compression a été déterminée sur des cubes ainsi que sur des carottes de  $\varnothing 113 \text{ mm}^2$  prélevées sur les dalles de laboratoire et sur le revêtement. Le béton des carottes du revêtement était le même que celui utilisé pour confectionner les éprouvettes.

Les résultats sont présentés à la figure 5. Comme on peut le voir, la valeur-cible a été atteinte après 36 h de cure: une résistance à la compression de  $40 \text{ MPa} \pm 10 \%$  a été mesurée sur les carottes provenant du revêtement ainsi que sur les carottes provenant de la dalle isolée de laboratoire.

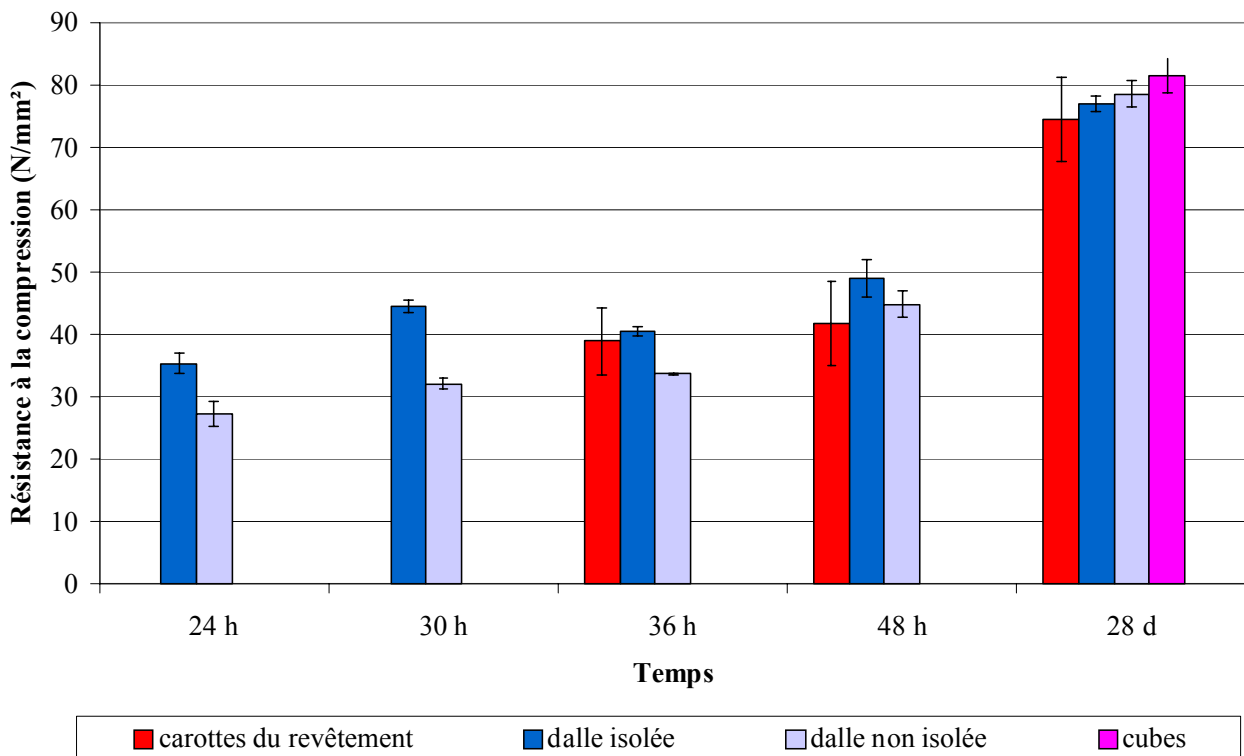


Figure 5 – Développement de la résistance à la compression des différents échantillons

Les résultats indiquent un écart plus important pour les éprouvettes prélevées sur le revêtement. Un écart type de 10 à 15 % a été trouvé sur le site, tandis que l'écart des éprouvettes de laboratoire n'était que de 1.5 à 7 %. L'écart le plus important s'est produit à un jeune âge. A ce moment-là, l'effet de la température est très grand.

#### 5. RECHERCHE FUTURE

Une manière d'obtenir un développement rapide de la résistance lorsque les températures sont basses, sans pour autant augmenter drastiquement la teneur en ciment, est d'isoler le ciment après la pose.

Quelques essais ont été réalisés à ce propos au centre de recherche de l'industrie cimentière belge (CRIC-OCCN). Le béton a été préparé avec  $450 \text{ kg/m}^3$  de ciment CEM I

52.5 R LA et un rapport e/c de 0.38. Les cubes ont été confectionnés dans des moules en polystyrène expansé (couverts d'une planche). Des dalles de 40 x 30 x 15 cm<sup>3</sup> ont été confectionnées et isolées sur le dessus et sur le dessous avec une plaque de Styrofoam. Les éprouvettes ont ensuite été stockées à l'extérieur à une température ambiante moyenne légèrement en dessous de 15 °C.

La figure 6 présente l'évolution de la température des éprouvettes. La température du béton et son hydratation consécutive ainsi que le développement de la résistance des cubes et des dalles semblent correspondre fortement. La montée initiale de température indiquant le début de l'hydratation a lieu plus ou moins au même moment et les températures maximales atteintes sont similaires.

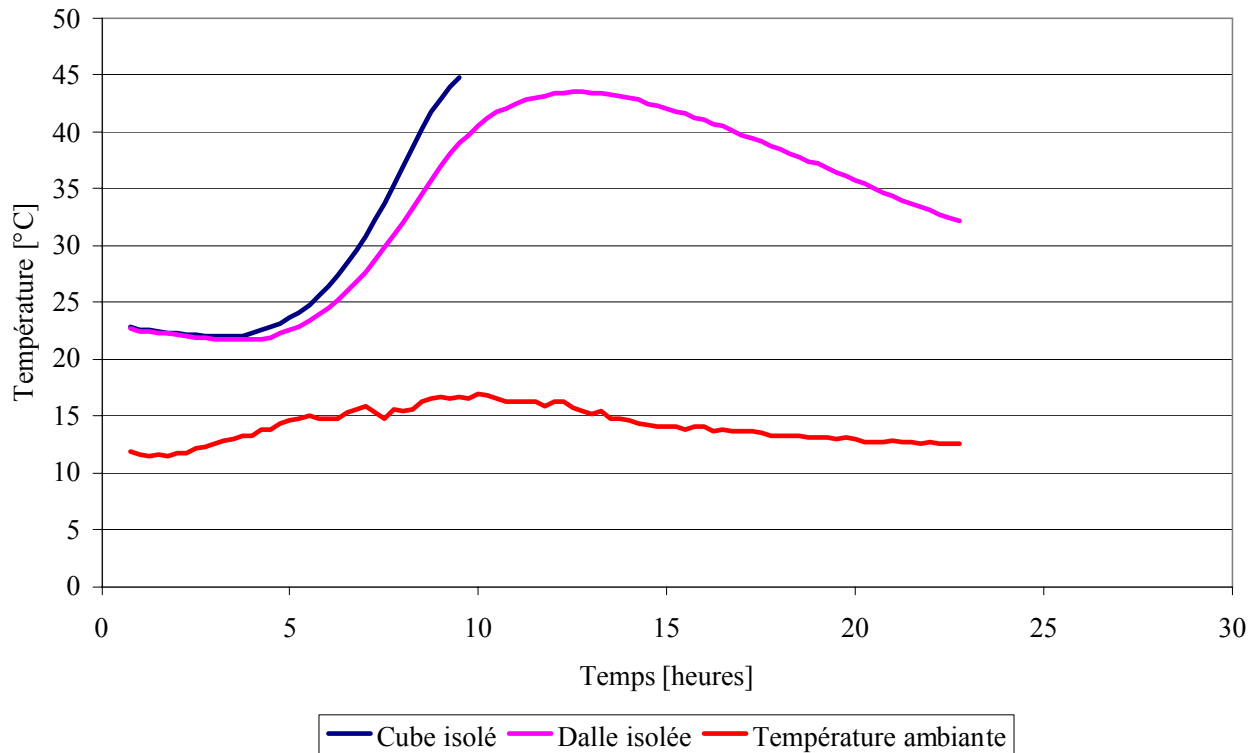


Figure 6 –Evolution de la température dans les éprouvettes isolées

Lorsqu'on compare les résultats de la figure 6 à ceux de la figure 4, l'effet de la température ambiante devient clair. La température initiale était plus ou moins la même en laboratoire et in situ, soit 22 °C. Par contre, la température ambiante était presque de 15 °C lors des essais en laboratoire et d'une moyenne de 7 °C uniquement in situ. Par conséquent, la hausse de température dans les éprouvettes isolées in situ était bien moindre que dans les éprouvettes de laboratoire. Cela affecte le développement de la résistance, comme le montrent les résultats de la figure 5 et de la figure 7.

La figure 7 présente le développement de la résistance dans le béton isolé préparé en laboratoire. La résistance a été déterminée sur des cubes âgés de 10 h. Pour les âges supérieurs à 10 h après le mélange du ciment et de l'eau, la résistance a été déterminée sur trois carottes prélevées sur les dalles. Aucune conversion corrective n'a été réalisée pour prendre en compte la forme des éprouvettes.

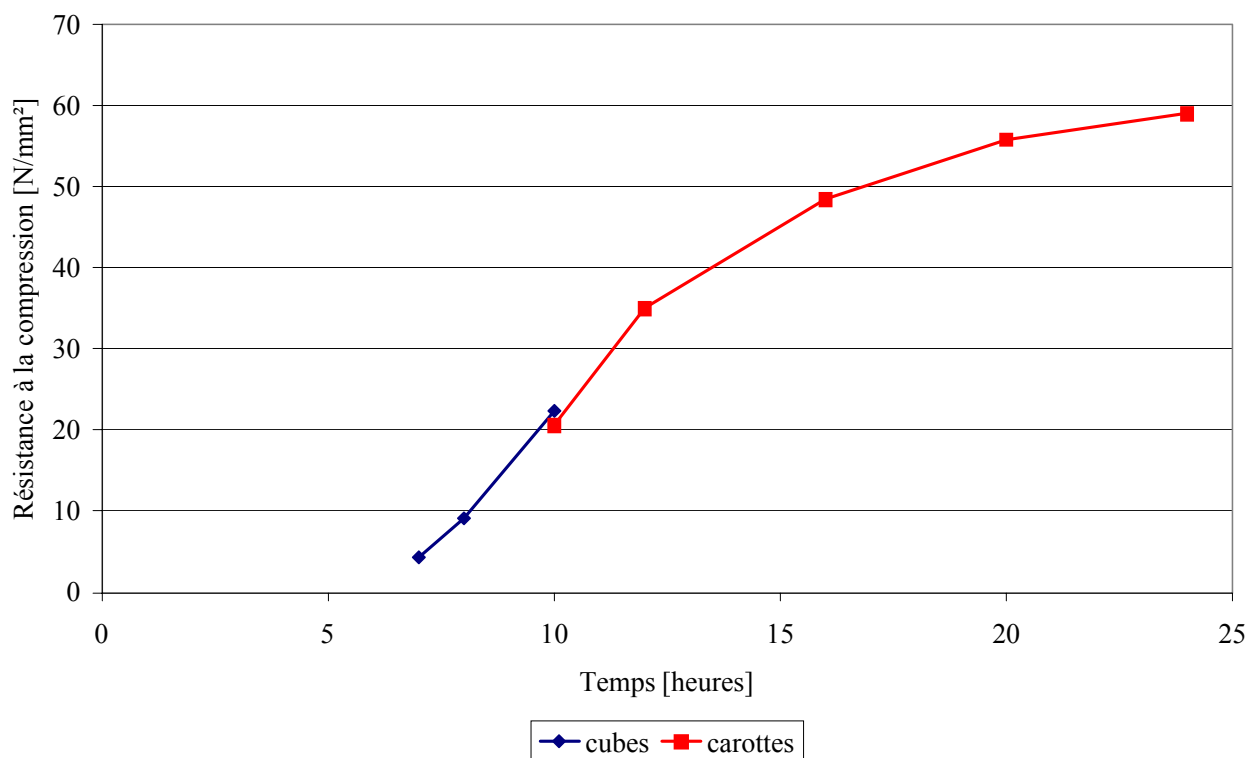


Figure 7 – Développement de la résistance dans le béton isolé traité aux produits de cure à 15 °C<sup>1</sup>

Les résultats de la figure 5 indiquent que, sous certaines conditions et avec isolation, une résistance de 40 MPa peut être atteinte à un jeune âge d'environ 13 h. Des essais réalisés pendant les travaux de réparation de Galmaarden ont montré que, même avec une isolation, la résistance requise est atteinte après 30 h seulement pour une température ambiante moyenne de 7 °C, comme le montre la figure 3. Cette température ambiante plus basse réduit l'accumulation de chaleur dans le béton et influence par conséquent la vitesse d'hydratation.

Une recherche de laboratoire plus avancée suivra pour développer un mélange fiable qui offre une bonne ouvrabilité, développe rapidement une bonne résistance et une durabilité élevée. Les effets de la température ambiante et de la composition seront étudiés pour obtenir des compositions correspondant à la pratique et convenant aux exigences sévères et aux conditions ambiantes.

## 6. CONCLUSION

Ces dernières années, il est devenu possible de réduire les temps de durcissement des bétons de cinq jours à 36 h en optimisant leur composition et en adaptant le dosage de superplastifiant. Différentes applications en brabant flamand (Galmaarden, Meise et Zavantem) ont montré que la résistance requise de 40 MPa peut être atteinte après 36 heures de cure à des températures pouvant descendre jusqu'à 7 °C, pour des mélanges utilisant des matériaux standard disponibles dans une centrale de malaxage. En utilisant des superplastifiants, le rapport e/c est réduit à 0.33 (CEM I 42.5 R LA) ou à 0.38 (CEM I 52.5), avec une teneur en ciment de 450 kg/m<sup>3</sup>. Il est important d'obtenir le développement de cette résistance tout en préservant l'ouvrabilité du mélange.

<sup>1</sup> Rapports d'essai Nos. -04-407 et 417 (OCCN-CRIC).

Un temps de durcissement plus court réduit le temps total pour compléter une réparation UFT sur une section de 1 200 m<sup>2</sup> en trois jours. Ce délai comprend la démolition, la pose de la couche de base et du revêtement, la phase de durcissement, les finitions et l'ouverture à la circulation.

La recherche en laboratoire et les expériences in situ avec des matériaux isolés ont permis e réduire plus encore les temps de durcissement. A l'heure actuelle, il est possible, en laboratoire et avec isolation, d'atteindre la résistance requise après 13 à 14 h de cure à une température ambiante de 15 °C.

Pour conclure, nous pouvons déclarer que les perspectives de réduction des temps de durcissement du béton pour des réparations sont bonnes. Une meilleure connaissance des interactions entre le superplastifiant et le ciment et des caractéristiques rhéologiques du béton frais permettra de réduire plus encore les temps nécessaire pour atteindre la résistance requise, sans perdre d'ouvrabilité et de temps.