

UNE NOUVELLE JEUNESSE POUR UNE VIEILLE DAME DE 78 ANS

La rénovation de la Drève de Lorraine à Bruxelles

La Drève de Lorraine est une ancienne voirie forestière au sein de la forêt de Soignes, qui relie le bois de la Cambre à la périphérie sud de Bruxelles en direction de Waterloo.

Longue de trois kilomètres, cette route est devenue, au fil du temps, un axe de liaison important. Elle a d'ailleurs été classée voirie principale dans le plan de développement de la région de Bruxelles-Capitale.

Construite au début de 1925 en dalles de béton de 15 cm d'épaisseur posées directement sur le terrain naturel, elle constituait, jusqu'en 2003, l'un des plus anciens revêtements en béton de Belgique. C'est en effet au mois d'août de cette année que cette Drève a reçu son premier véritable " lifting " après avoir rendu de bons et loyaux services sans pratiquement engendrer de frais d'entretien importants durant 78 années.

Cet exploit a été couronné d'un deuxième succès, puisque la réhabilitation conduite durant l'été 2003 s'est déroulée en seulement 14 jours calendrier pour une rénovation complète des trois kilomètres et, qui plus est, l'ancienne chaussée a été réutilisée telle quelle comme fondation de la nouvelle structure : une technique de recyclage, plutôt de réutilisation, par excellence, sans évacuation ni production d'aucun déchet.

Une solution donc particulièrement écologique et économique, s'inscrivant parfaitement dans le contexte du développement durable. Telle que réalisée, la durée de vie de cette rénovation est estimée à minimum 30 ans, sans pratiquement nécessiter de frais d'entretien, si ce n'est le regarnissage occasionnel des joints transversaux de retrait.

DOSSIER CIMENT

31
mars 2004

Drève de Lorraine
revêtement de route
béton
rénovation

(94)	Ef2	(W7)
------	-----	------

BBSfB

HISTORIQUE DE LA DREVE DE LORRAINE ET DES ROUTES EN BETON

Le Premier Congrès National de la Route s'est tenu à Liège en 1930. A cette époque, Messieurs R. DUTRON et E. DESPA, ingénieurs travaillant pour les services techniques du Groupement professionnel des fabricants de Ciment Portland artificiel de Belgique, les prédécesseurs de la Fédération de l'Industrie cimentière belge, FEBELCEM, ont présenté une communication intitulée "La Route en Béton en Belgique – 15 années d'expérience – CONCLUSIONS – PROPOSITIONS". Il est intéressant de reprendre ici de brefs extraits de cette communication.

"Voici quelque quinze années que l'on a commencé dans notre pays à exécuter des routes en béton ; c'est cependant au cours des premières années qui suivirent la guerre que l'emploi de ces revêtements se développa ; la longueur des routes en béton construites à cette époque, sans être considérable, était néanmoins relativement importante si on la compare à celle des autres revêtements modernes. (...) Nos routes d'Etat comportent à l'heure actuelle environ 150 km de revêtements bétonnés. Elles ont été parcourues et examinées par nos services techniques. Dans leur ensemble, les divers tronçons sont dans un état excellent, bien que certains d'entre eux datent déjà d'une quinzaine d'années. Les photographies prises en divers points de notre pays témoignent du bon état et du bel aspect de ces routes (photos I et II). (...) La route est toujours d'un aspect propre, clair, agréable. Elle n'est pas poussiéreuse et enfin, élément capital pour l'usager, elle procure un roulement doux par suite de l'uni et de la rigidité de la surface et elle n'est pas glissante, par temps de pluie, ni surtout par temps légèrement humide. On sait combien ces deux dernières qualités sont appréciées par l'usager, la surface unie et le roulement doux signifiant une faible consommation d'essence, de pneus et une faible usure des véhicules, le rugueux de la surface empêchant les dérapages si redoutés des automobilistes. En résumé, dans l'ensemble, les routes bétonnées en Belgique présentent tous les caractères que l'on doit exiger d'une route moderne : haute résistance à la compression et à l'usure, bel aspect, roulement doux, surface sans poussière et non glissante et enfin entretien minime. ..."

Une autre communication de M. E. DESPA, présentée lors d'une conférence faite le 1^{er} juin 1929 et intitulée "La route en béton" parlait déjà de la Drève de Lorraine en ces termes : "Peu nombreux sont les cas de routes en béton créées sur le terrain naturel. Citons cependant la route de la Drève de Lorraine, construite au début de 1925, en deux couches ayant une épaisseur totale de 15 cm avec renforcements latéraux (photo III). Cette route en béton Soliditit procède de la technique américaine. Elle n'est pas armée, et bien que le sous-sol argileux n'ait pas reçu de préparation spéciale assurant le drainage, le travail s'est bien comporté à l'usage."

Les profils en travers-type de l'époque sont repris à la figure A. Le profil en travers-type de la Drève de Lorraine tel que réalisé est celui de 15 cm d'épaisseur préconisé en absence de fondation. Le dessin montre que les ingénieurs de l'époque connaissaient déjà l'effet néfaste lié à l'accroissement des contraintes en bord de dalle et palliaient ce problème en augmentant l'épaisseur de la dalle en rive.

De nombreuses routes ont été construites à l'époque suivant ce principe, mais Monsieur DESPA aurait-il pu imaginer que la route dont il a parlé en 1929 a rendu de bons et loyaux services aux usagers jusqu'en 2003 ! Mieux encore, que cette route n'a pas été démolie mais sert aujourd'hui, telle quelle, de fondation à la nouvelle chaussée !

(lire la suite à la fin de ce bulletin)



Photo I : route Vieux-Turnhout – Eindhoven (Entreprise Hanesse et Rochette) – sources : [2] & archives FEBELCEM



Photo II : route Charleroi – Binche, tronçon Fontaine-l'Evêque – Marchienne-au-Pont – sources : [2] & archives FEBELCEM



Photo III : Drève de Lorraine – source : [1]

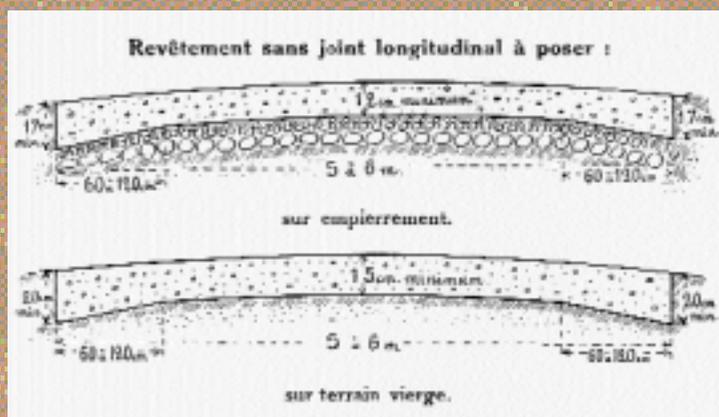


Fig. A : Profil en travers-type de la Drève de Lorraine – source : [3]

I. CONSTRUCTION DE LA DREVE DE LORRAINE

Comme expliqué dans l'encadré ci-avant, la Drève de Lorraine a été construite en 1925 suivant une technique aujourd'hui dépassée. Elle a été réalisée manuellement, entre coffrages fixes, par bandes transversales successives, c'est-à-dire, une dalle sur deux, les dalles intermédiaires étant coulées en deuxième phase. L'explication de ce mode de construction a été retrouvée grâce aux traces d'un cycliste ayant circulé sur des dalles non encore durcies, comme montré sur le croquis ci-après (fig. 1).

Le serrage du béton était effectué par des machines pilonneuses, vibré en deux couches de manière à présenter une masse compacte dans toute l'épaisseur. Le travail de bétonnage était terminé par un lissage général du mortier qui avait reflué à la surface.

Immédiatement après achèvement du lissage, le revêtement était protégé contre une dessiccation trop rapide ou contre la pluie au moyen de bâches ou paillasons tendus, à quelques centimètres au-dessus de la surface, sur des supports. Ces supports devaient être aménagés de façon à éviter, en surface du revêtement, tout courant d'air qui provoquerait une dessiccation trop rapide du béton, au moins aussi néfaste que celle provoquée par le soleil.

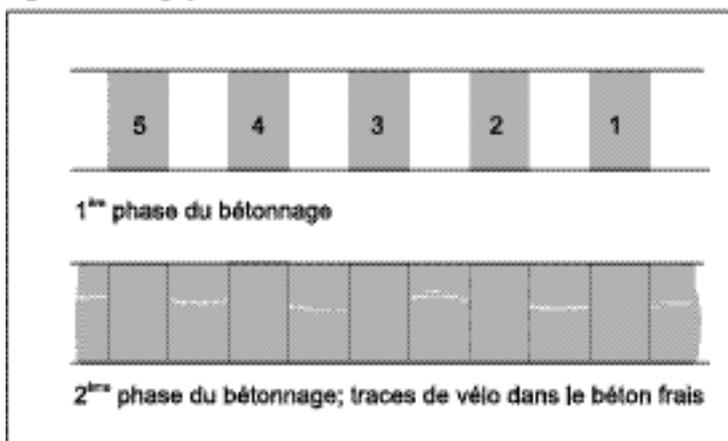
Après durcissement suffisant du béton, pour que le poids de l'ouvrier n'y laisse plus de traces, le revêtement était recouvert d'une couche de terre sableuse de 3 cm d'épaisseur au moins, qui était maintenue à l'état humide pendant 15 jours par un arrosage effectué au minimum tous les trois jours.

Les bétons de l'époque étaient constitués d'environ :

- 600 litres de pierraille 20/40;
- 300 litres de grenaille 5/20;
- 300 litres de grenaille 2/5;
- 300 litres de sable du Rhin tamisé ou sable à module de finesse de 1,80 minimum ;
- 450 kg de ciment P. A. H. R. (*Portland Artificiel à Haute Résistance*).

Les concassés sont en porphyre, en grès, en quartzite ou en laitier. Le dosage repris ci-avant était celui employé couramment par l'Administration des Ponts et Chaussées.

Fig. 1 : Bétonnage par bandes transversales successives



II. ETAT DE LA VOIRIE APRES QUATRE-VINGT ANNEES D'UTILISATION

1. Etat général

Après quatre-vingt années de service, la Drève de Lorraine présentait encore un aspect globalement acceptable. Des fissures et battements de dalles étaient apparus au fil du temps, mais en quantité modérée. Localement, le recoupement de fissures en nombre plus important avait entraîné le morcellement de quelques dalles. Si la structure routière accusait quelques rides, la surface du béton était restée très bonne. Cette route a toutefois été interdite aux véhicules de plus de 3,5 tonnes il y a environ vingt ans.

2. Fissuration des dalles

Plusieurs types de fissures pouvaient être observés sur la voirie. Tout d'abord, une fissure longitudinale était apparue sur la majeure partie de la route compte tenu de l'absence de joint longitudinal. Cette fissure (photo 1) serpentait le long de l'axe de la voirie en de nombreux endroits. Elle est due, d'une part au retrait, dans le sens transversal, du béton en cours de prise et d'autre part à une mise en flexion de la dalle suite à de petites variations de tassements entre les rives et l'axe de la chaussée, dans le sens longitudinal. Ces légers tassements différentiels sont aussi aggravés par le passage du trafic. C'est ainsi que, pour une largeur de voirie supérieure à 4,5 m, il est toujours préconisé de réaliser aujourd'hui un joint longitudinal appelé joint longitudinal de retrait-flexion.

Ensuite, un certain nombre de coins étaient cassés suite à des battements de dalles (voir ci-après).

Enfin, par la proximité de plusieurs fissures, des parties de dalles s'étaient localement fragmentées, parfois jusqu'à complète destruction (photo 2).



1



2

3. Les battements de dalles

3.1. Description du défaut

Les joints transversaux sont les points délicats dans la conception d'un revêtement discontinu. Si la fondation – dans le cas présent le sol argileux en place – se tasse légèrement, la fin de la dalle va se trouver en léger porte-à-faux. Lorsque les joints ne sont plus étanches, la présence d'eau à l'interface dalle-fondation et l'effet dynamique du passage des essieux vont progressivement amplifier le petit vide existant sous la dalle par érosion, par rejet des fines vers l'extérieur ou par migration des fines de la dalle aval vers la dalle amont (fig. 2). La dalle ne va donc plus reposer uniformément sur sa fondation. Sous l'effet du trafic, la dalle va fléchir ou basculer légèrement : il y a alors battement de dalle. Ce petit battement va accentuer les effets d'érosion et provoquer ce qu'on appelle communément "du pompage" de l'eau et des fines particules de la fondation et donc accroître le risque de battement. L'importance du vide et le battement vont s'amplifier mutuellement pour conduire à la mise en marche d'escalier des dalles, marches que l'on descend toujours dans le sens du trafic. Lorsque cette marche est trop importante ou que le vide sous la dalle est trop conséquent, la dalle finit par se fissurer. Une fois la dalle cassée, les morceaux vont légèrement se tasser les uns par rapport aux autres. Lorsque ces morceaux vont reposer à nouveau uniformément sur leur fondation, ils ne battront plus. Le battement peut toutefois reprendre ultérieurement par répétition du même processus.

3.2. Principe de la mesure du battement

Le principe de la mesure consiste à déterminer, lors du passage d'un essieu lourd de camion, les déplacements verticaux relatifs des deux dalles au droit d'un joint ou d'une fissure. Le Centre de Recherches Routières (CRR) a développé un dispositif appelé faultimètre et qui permet de réaliser cette mesure. La photo 3 illustre cet appareil.

Les mouvements mesurés sont exprimés en 1/100 de mm.

3.3. Objectif de la mesure du battement

La réalisation d'un "overlay" ou recouvrement suppose de réutiliser la voirie existante comme fondation. Si cette voirie présente du battement de dalles non stabilisé, ce dernier peut entraîner une fissuration rapide du nouveau revêtement si aucune précaution de stabilisation n'est prise.

La quantification de l'importance des battements est donc indispensable pour permettre de décider de la technique de traitement ou de stabilisation de la chaussée existante, et ce, avant son recouvrement par un overlay en béton ou en asphalte.

Suivant l'ampleur du battement et le type de revêtement, il faudra soit fragmenter les dalles, soit injecter les vides sous les dalles, soit encore placer un treillis anti-fissure, ...

3.4. Résultats des mesures à la Drève de Lorraine

Afin de préciser l'importance du battement des dalles de la Drève de Lorraine, des mesures ont été réalisées en 1997 par le CRR. Il était indispensable de réaliser ces mesures assez tôt dans le processus d'étude de la réhabilitation car de leurs résultats dépendaient les choix de solutions de rénovation.

A cette fin, après un examen visuel de la voirie, cinq zones caractéristiques, de longueurs variables, ont été sélectionnées. Les mesures de battement ont été réalisées en faisant circuler un essieu de 100 KN à vitesse lente (5 km/h) en bord de dalles, au droit de fissures et de joints transversaux.

Les valeurs jusqu'à 50/100 de mm peuvent être considérées comme négligeables. Au-delà, elles commencent à être significatives et au-dessus de 200/100 de mm elles sont importantes et le risque de fissuration de la dalle est bien réel.

Zones	Au droit de joints transversaux	Au droit de fissures transversales
1	De 8 à 28	Aucun battement
2	De 40 à 150	Pas de fissures dans cette zone
3	De 104 à 240	De 20 à 96
4	De 72 à 182	Pas de fissures dans cette zone
5	De 2 à 118	Pas de fissures dans cette zone

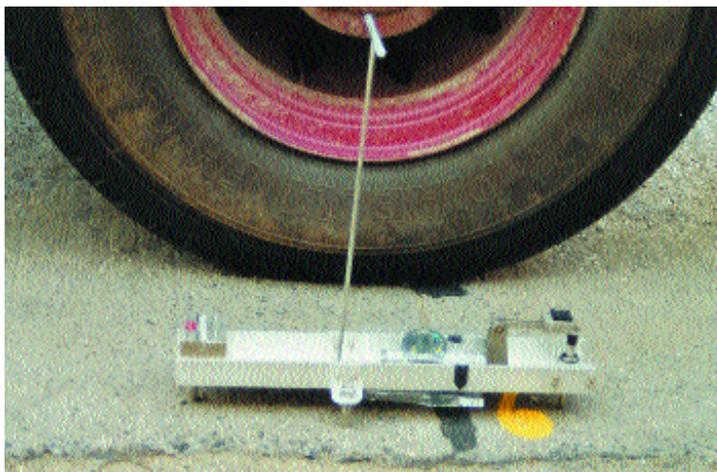
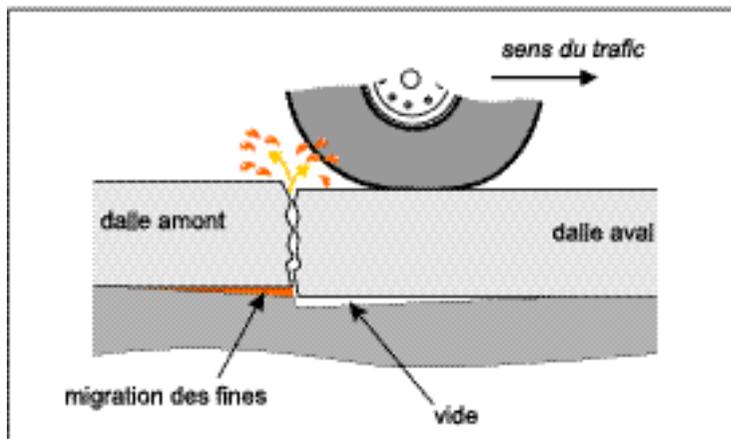
Tableau 1 : Mesures de battement (exprimées en 1/100 de mm)

Le résultat de ces mesures (tableau 1) a montré que le phénomène de battement dans les zones auscultées n'était globalement pas très grave. Après tant d'années de service, les dalles qui présentaient des battements importants étaient déjà fissurées et les éléments de dalles étaient alors stabilisés. Les zones à risques, où de nouvelles fissures pouvaient apparaître, étaient généralement limitées. L'évolution des battements, des mises en marche d'escalier et des dégradations conséquentes ont été naturellement freinées par l'interdiction de circulation aux véhicules de plus de 3,5 tonnes.

4. Tassement à proximité de la chaussée de La Hulpe

La Drève de Lorraine, dans la majeure partie de son parcours, a été établie au niveau du terrain naturel, sans déblais ni remblais. Toutefois, au début de son tracé, non loin de la chaussée de La Hulpe, en venant du centre de Bruxelles, la voirie traverse en remblai un petit vallon, généralement sec. Au cours des années, ce remblai s'est tassé suite notamment à des infiltrations d'eau sporadiques recueillies par le vallon. Il en est résulté un affaissement de la route qui a atteint localement 11 cm. Celui-ci n'a pas provoqué de désordres particuliers à la voirie puisqu'il s'étale sur plusieurs longueurs de dalles, mais le confort de roulement s'en est trouvé fortement diminué.

Fig. 2 : Battement des dalles et pompage des fines particules



III. LES PRINCIPES DE LA REHABILITATION

1. Les contraintes

La Drève de Lorraine est une ancienne voirie forestière au sein de la Forêt de Soignes. Au fil du temps, cette route est devenue un axe important de circulation permettant de relier le Ring Est, Waterloo et Rhode-Saint-Genèse aux communes d'Uccle, de Saint-Gilles et plus loin au centre ville (fig. 3). Cette pénétrante est d'ailleurs classée voirie principale dans le plan régional de développement de la région de Bruxelles-Capitale. Elle permet notamment de désengorger la chaussée de Waterloo aux heures de pointe.

Toutefois, afin de préserver son caractère forestier, l'Administration n'a pas souhaité accentuer davantage l'importance et le rôle de cette voirie. En particulier, elle a décidé de maintenir l'interdiction de circulation au trafic de poids lourds (plus de 3,5 tonnes) à l'exception du trafic occasionnel lié à l'exploitation de la forêt. De plus, elle a imposé aux usagers une limitation de vitesse à 50 km/h.

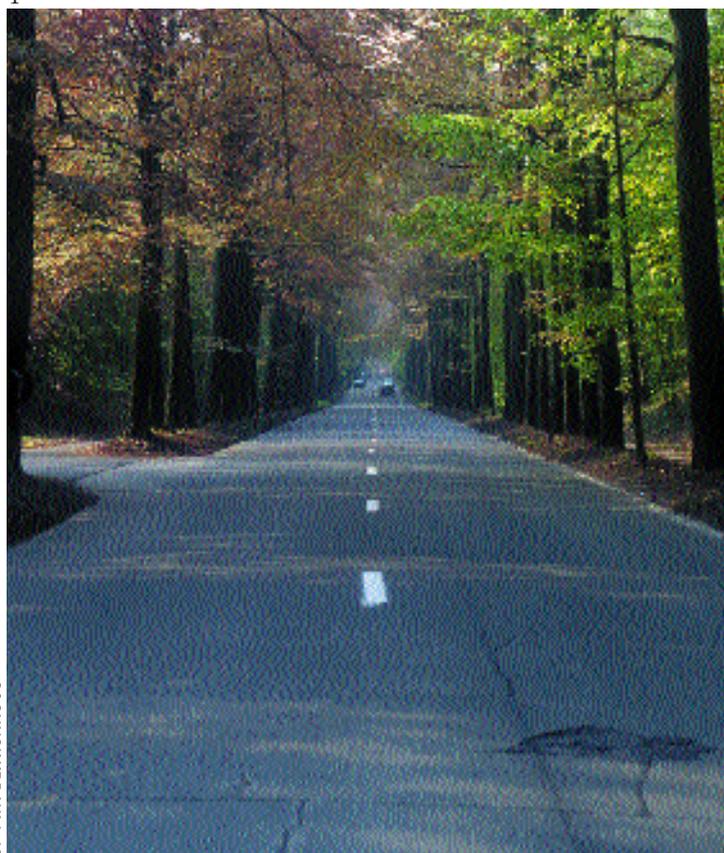
Pour ces deux raisons, il a été décidé de réduire la largeur de la voirie de 8 à 7 mètres.

De plus, toujours par respect pour l'environnement forestier et les quelques maisons d'habitations qui la bordent, mais également pour le confort des usagers, il était nécessaire de réduire au maximum les bruits de roulement.

Par ailleurs, la Drève de Lorraine est bordée de part et d'autre par des hêtres pourpres qui lui confèrent sa beauté et son caractère prestigieux (photo 4). Ces arbres ont été plantés à faible distance (1 mètre) du bord de la chaussée. Leurs racines s'étendent donc sous la voirie. La technique de réhabilitation ne pouvait dès lors, en aucun cas, abîmer les racines des arbres et mettre ainsi en péril la stabilité et la santé de ceux-ci. Il faut noter que ces racines remontaient localement au-dessus du niveau de la route existante et qu'aucun engin ne pouvait les endommager.

Enfin, la réhabilitation de la Drève de Lorraine devait être réalisée en période de congé estival, en veillant à réduire au maximum la gêne des usagers.

4



P. Van Audenhove

2. Les différentes alternatives

Deux techniques de réhabilitation étaient envisageables:

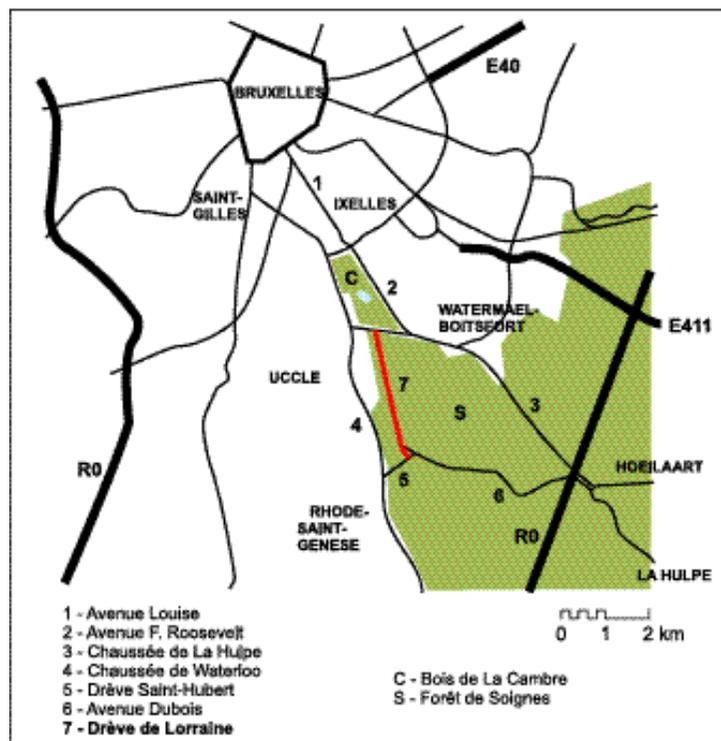
1. La démolition et la reconstruction complète de la route, y compris la réalisation d'une sous-fondation, inexistante à l'origine. Le nouveau revêtement pouvait alors être au choix : du béton bitumineux, des pavés en béton ou du béton de ciment.
2. Le recouvrement (*overlay*) de la route existante par un nouveau revêtement après préparation adéquate du support (stabilisation des dalles, réparations locales, ...) à définir suivant le type de revêtement de surface choisi. Celui-ci pouvant être du béton bitumineux, des pavés en béton, des dalles de béton de ciment ou encore, du béton armé continu.

3. Le choix d'une solution

La solution de démolition et de reconstruction complète a été rejetée pour diverses raisons :

- Tout travail en profondeur allait blesser les racines des hêtres pourpres qui présentent un enracinement faible et qui par ailleurs sont déjà fragilisées par des champignons.
- La fondation actuelle, ou du moins le terrain naturel, a été lentement et longuement compacté au fil du temps. Une démolition et une reconstruction complète ne permettraient que difficilement d'atteindre le même taux de compactage.
- La durée du chantier serait trop importante.
- Le volume des déchets de construction serait élevé et leur évacuation onéreuse.
- Le trafic de chantier serait important pour évacuer les déchets et amener les matériaux neufs, sollicitant ainsi le réseau routier voisin du chantier.

Fig. 3 : Plan de situation de la Drève de Lorraine



Au vu de ces divers éléments, il subsistait donc uniquement la solution d'un *overlay*. Celle-ci impliquait une remontée du niveau de la voirie d'environ 25 cm. Mais dans le cas présent, cela ne posait aucun problème en l'absence de contraintes de niveaux au bord de la chaussée. Les propriétés des quelques riverains sont toutes suffisamment en retrait puisque séparées de la route par un trottoir et un terre-plein. Il était donc aisé de reprofiler les accès. Il en est de même en ce qui concerne les divers carrefours. En outre, en remontant le niveau de la route au-dessus du niveau des racines des arbres, la solution de l'*overlay* présentait même l'avantage d'améliorer l'évacuation transversale des eaux.

Différents types d'*overlay* pouvaient être envisagés en fonction du choix du revêtement, celui-ci devant se faire après examen des critères suivants :

- Le dimensionnement de la structure : dans le cas présent, l'aspect dimensionnel de l'*overlay* ne constituait pas un élément déterminant pour le choix entre les différentes solutions d'*overlay*. En effet, le charroi lourd est interdit, sauf occasionnellement pour les besoins de l'exploitation forestière, or c'est le trafic des poids lourds qui intervient principalement dans le dimensionnement d'une voirie.
- L'état du revêtement existant et le traitement préalable qu'il impliquait : ce traitement doit permettre de réduire au maximum les risques de remontées des fissures au droit des joints et fissures du revêtement existant. Il est différent suivant le type d'*overlay* choisi.

Comme les mesures de battement l'ont mis en évidence, les anciennes dalles présentent quelques petits mouvements au droit des joints et/ou des fissures. Aussi, pour limiter les risques de remontées des fissures dans le revêtement de l'*overlay*, les dalles ont été fragmentées et stabilisées. Toutefois, au plus la raideur et la résistance du nouveau recouvrement seront importantes, au plus la fragmentation pourra être légère. C'est la raison pour laquelle le choix s'est porté sur une solution de revêtement constitué de dalles goujonnées en béton, la présence des goujons permettant d'accroître fortement le transfert des charges au droit des joints transversaux et éviter tout risque de battement ultérieur. Le transfert des charges est important compte tenu, principalement, de la nature de la fondation constituée des anciennes dalles fragmentées.

Une solution en béton armé continu a également été envisagée, mais elle nécessitait de travailler en deux phases, bande par bande, car le ravitaillement de la machine à coffrages glissants ne pouvait pas se faire latéralement à cause de la présence des hêtres pourpres, ce qui allait naturellement allonger le délai d'exécution du chantier. La mise en œuvre des armatures constituait aussi une opération complémentaire allongeant encore le délai d'exécution. Compte tenu du charroi lourd limité de cette voirie, cette solution s'est avérée trop contraignante et non indispensable.

Le revêtement en béton présente en plus des caractéristiques intéressantes dans un site boisé tel que celui de la Drève. En effet, d'une part il possède une bonne luminosité. Or la Drève de Lorraine est toujours dans la pénombre et elle n'est pas pourvue d'éclairage public. Le confort et la sécurité de conduite s'en trouvent donc nettement améliorés, surtout en période nocturne. D'autre part, le béton se comporte bien dans un environnement régulièrement humide, car il sèche rapidement, il n'accroche pas les mousses et il ne souffre pas des cycles gel-dégel dans ce type d'environnement.

RECOUVREMENT EN BÉTON DE VOIRIE EXISTANTE (*OVERLAY* / *INLAY*)

Lors de la réhabilitation d'une voirie, une des techniques possibles consiste à utiliser la voirie dégradée existante (en asphalte ou en béton), comme fondation et de la recouvrir simplement d'un revêtement en béton (*overlay* en béton). Par rapport à une reconstruction à neuf de la voirie dégradée, cette technique présente de nombreux avantages :

- L'*overlay* procure une structure nettement plus résistante qu'une reconstruction à neuf.
- Les coûts sont réduits d'environ 40 %.
- Le trafic de chantier est fortement réduit ainsi que toutes les nuisances qu'il génère.

La technique de l'*overlay* implique bien entendu une remontée du niveau de la voirie d'environ 25 cm. Si cette hausse du niveau est impossible à réaliser, le nouveau revêtement en béton peut aussi être inséré dans l'épaisseur de l'ancienne couche d'asphalte ou de béton (*inlay*). Cette solution nécessite toutefois une vérification du dimensionnement, un renforcement de la fondation existante devant souvent être envisagé.

Les outils de dimensionnement actuels permettent, compte tenu d'un trafic de poids lourds, de comparer la longévité de différentes structures envisagées telles le remplacement complet, l'*overlay* ou l'*inlay*. Ces outils permettent donc de choisir la solution la mieux adaptée structurellement.

4. La solution retenue

La solution retenue, en dalles de béton goujonnées, est schématisée à la figure 4. Elle comportait les opérations suivantes :

- fragmentation légère des dalles existantes ;
- stabilisation de celles-ci au rouleau ;
- pose d'une couche de béton bitumineux type AB-3B de 5 cm d'épaisseur ;
- bétonnage de dalles goujonnées sur 7 m de large et 20 cm d'épaisseur en une seule passe, les goujons étant obligatoirement enfoncés par vibration dans le béton frais, ce qui permettait l'approvisionnement du béton devant la machine à coffrages glissants ;
- aménagement des abords avec des dalles gazon ;
- remise à niveau des accotements et réalisation de tous les raccordements aux voiries transversales et aux accès riverains.

Afin de rencontrer les volontés locales et les contraintes environnementales en terme de bruit de roulement, le béton a été réalisé à l'aide de granulats 4/14 et sa surface a été dénudée chimiquement.

La voirie existante ayant une largeur de 8 mètres, la couche d'asphalte intermédiaire a été posée sur les 8 m de large en utilisant les bordures saillantes existantes comme bande de contrebutage.

Le revêtement en dalles de béton a été réalisé, quant à lui, uniquement sur une largeur de 7 m. Les deux surlargeurs de 50 cm en asphalte situées de part et d'autre constituaient un excellent chemin de roulement pour la machine à coffrages glissants. Des dalles en béton gazon ont été placées de part et d'autre du revêtement, au-dessus des surlargeurs en asphalte.

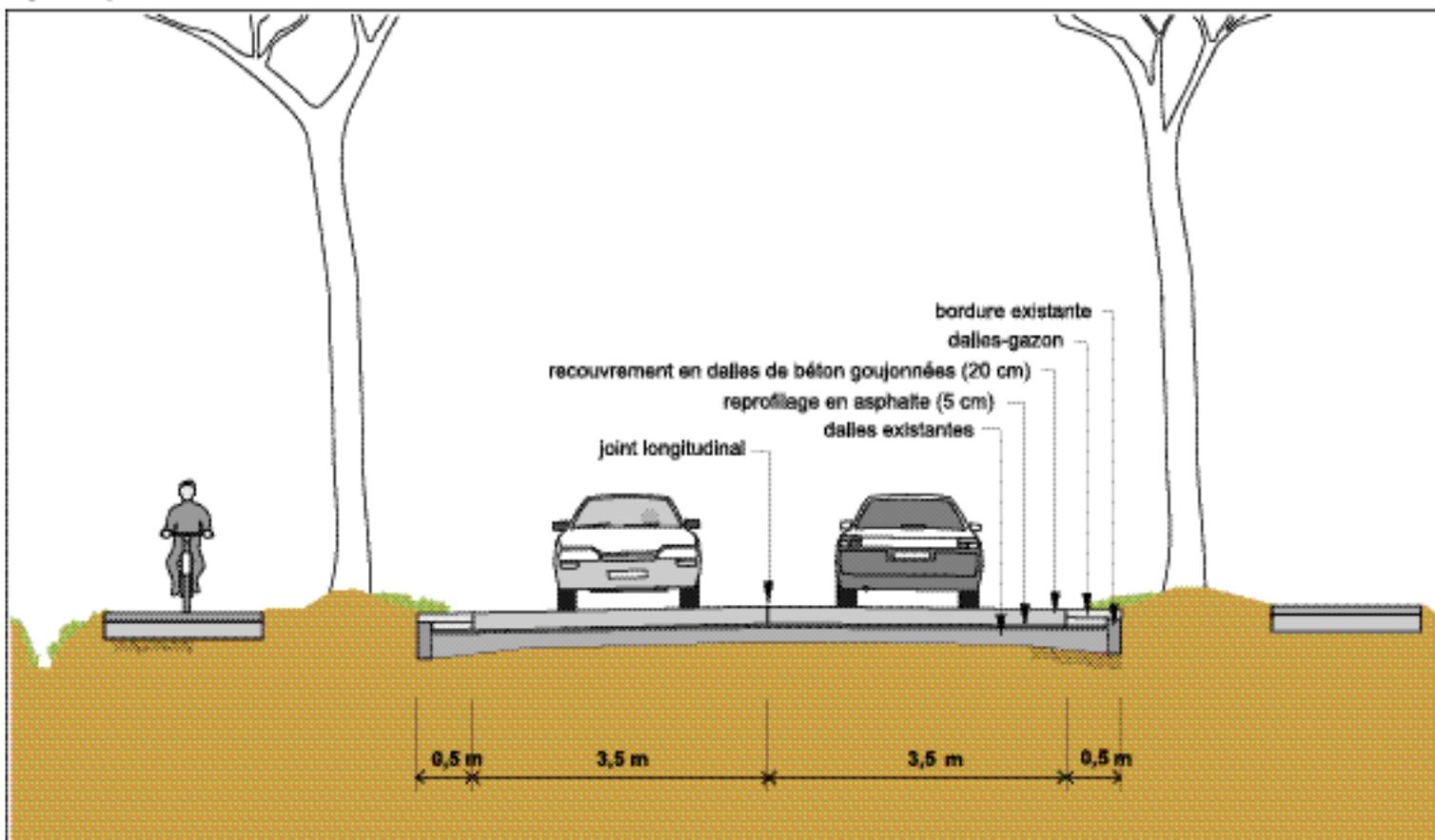
5. Le traitement du tassement décrit au § II.4

En premier lieu, un drainage a été réalisé pour permettre l'écoulement des eaux d'un côté à l'autre du remblai de la voirie et éviter que ce dernier ne se gorge d'eau lors de fortes pluies. Deuxièmement, il convenait de choisir la technique de traitement de cet affaissement.

Une première solution envisagée consistait à démonter localement la route et à refaire complètement un nouveau coffre avec une sous-fondation, une fondation et un revêtement. Cette solution n'a pas été retenue car elle risquait de mettre en péril la stabilité des arbres avoisinants (cf. plus haut). De plus, elle allait créer une discontinuité structurelle dans le sens longitudinal, pouvant provoquer des problèmes de tassements différentiels entre cette nouvelle structure et la structure ancienne et risquant alors d'entraîner une fissuration de l'overlay.

La solution finalement retenue a été de reprofiler la voirie existante. L'affaissement étant au maximum de 11 cm, la rectification du profil en long a été réalisée avec de l'enrobé bitumineux AB-3A.

Fig. 4 : Profil en travers retenu



IV. LES TRAVAUX DE REHABILITATION

1. Planning

La durée initialement prévue dans le cahier spécial des charges était de un mois calendrier, avec une bonification, c'est-à-dire l'octroi d'une prime, pour exécution plus rapide.

Dans les faits, l'entrepreneur et les différents intervenants ont tout mis en œuvre pour terminer la réhabilitation des 2950 m de la Drève de Lorraine en un **temps record de 14 jours calendrier**. Le chantier s'est donc entièrement déroulé du 28 juillet au 10 août 2003.

Le travail a été organisé suivant le planning repris au tableau ci-dessous. Environ 70 personnes, réparties en plusieurs équipes, travaillant jour et nuit, week-end compris, ont œuvré à cette rénovation.

2. Préparation – Stabilisation des anciennes dalles

La préparation du travail a débuté par la fragmentation des dalles existantes. Le but de cette opération est de casser les dalles, pouvant présenter des vides sous celles-ci, en éléments plus petits de manière à les stabiliser et à limiter les risques de battements ultérieurs.

Cette opération a été réalisée en parcourant l'ensemble de la voirie avec un équipement pourvu de 4 moutons tombant alternativement (*photos 5 et 6*). L'équipement utilisé permettait de régler la hauteur de chute suivant 4 niveaux, la hauteur maximale correspondant à une dislocation complète du revêtement en béton. Dans le cadre de ce chantier, le but était plutôt de réaliser une fragmentation légère. La hauteur de chute a donc été réglée au minimum.

L'impact d'un mouton peut parfois provoquer quelques éclats superficiels (*photo 7*) qu'il convient alors d'éliminer. Suite à ce traitement léger, seule une faible partie des dalles a été cassée, à savoir celles présentant des faiblesses.

Le revêtement ainsi fragmenté a ensuite été stabilisé au rouleau lourd (*photo 8*). Cette opération a permis d'immobiliser chaque morceau de dalle.

Planning et exécution des travaux

	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		
	n	j	n	j	n	j	n	j	n	j	n	j	n	j	n	j	n	j	n	j	n	j	n	j	n	j	n	j	
Préparation, stabilisation																													
Asphaltage																													
Bétonnage																													
Sciage, broyage																													
Scellement des joints																													
Dalles gazon																													
Raccordements																													
Abords, marquages																													

n = nuit ; j = jour



3. Pose de la couche d'égalisation

Afin de reprendre les inégalités de niveau et de planéité du revêtement existant, d'assurer une bonne adhérence entre les dalles existantes et le nouveau revêtement en béton et d'imperméabiliser la structure, une couche de béton bitumineux type AB-3B de 3 à 5 cm d'épaisseur a été mise en œuvre (photos 9 et 10).

Celle-ci a été posée sur un enduit destiné à assurer le collage sur l'ancien béton (photo 11).

Préalablement à la pose de cette couche d'asphalte, les nids-de-poule et les éclats importants de l'ancien béton ont été rebouchés manuellement à l'aide de béton bitumineux également.

9



10



11



4. Réalisation du revêtement discontinu (dalles) en béton

4.1. Fourniture du béton

Le planning serré des travaux et l'obtention d'un uni de surface homogène imposaient une vitesse d'avancement de la machine à coffrages glissants de l'ordre de 1 m/min. Compte tenu de la largeur de 7 m et de l'épaisseur de 20 cm des dalles à couler, cela impliquait un approvisionnement en béton proche de 100 m³/h. Ce débit ne pouvant pas être fourni par une seule centrale proche du chantier, il a été admis que le béton soit fabriqué dans deux centrales différentes. Mais, chacune des centrales devait produire exactement le même béton, c'est-à-dire un béton dont les constituants et la composition sont identiques.

La composition utilisée a été la suivante :

- granulats porphyre 7/14 : 770 kg
- granulats porphyre 4/7 : 300 kg
- sable du Rhin 0/7 : 450 kg
- sable de mer 0/1 : 250 kg
- ciment CEM III / A 42,5 N LA : 400 kg
- eau : 175-180 litres
- plastifiant et entraîneur d'air

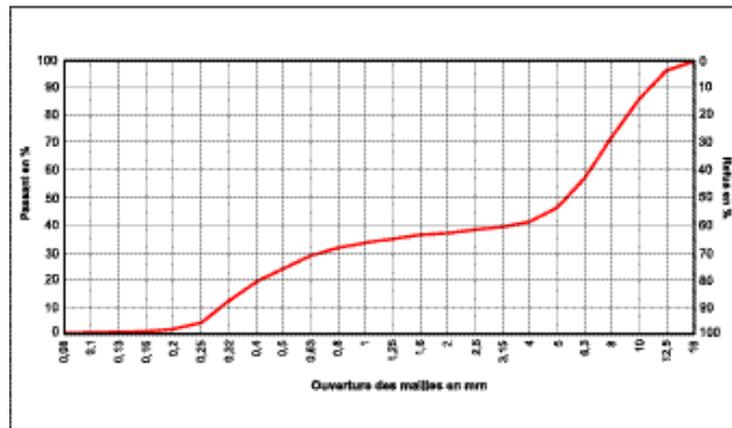
La figure 5 donne la courbe granulométrique du squelette granulaire inerte de ce béton.

Le tableau ci-dessous reprend les valeurs moyennes des caractéristiques du béton frais obtenues sur 11 prélèvements :

Caractéristiques	Méthode d'essai	Valeur moyenne
Température du béton (°C)	Mesure à la sonde de température	25,2
Slump (mm)	NBN B15-232 (03/1982)	19
Temps VEBE (sec.)	NBN B15-234 (03/1982)	6
Masse volumique humide MVH (kg/m ³)	NBN B15-213 (03/1982)	2378
Teneur en air (%)	Méthode à pression variable suivant NBN B15-224 (10/1970)	3
Teneur en eau (%)	Brûlage rapide (< 45 min) sur réchaud à gaz (T > 350 °C)	8
Teneur en eau (kg/m ³)	-	182

Tableau 2 : Caractéristiques du béton frais

Fig. 5 : Squelette inerte du béton - Courbe granulométrique [source: Ready mix]



4.2. La machine à coffrages glissants

La machine à coffrages glissants utilisée est un modèle SP850 de marque WIRTGEN (photo 12). Elle permet de bétonner en une seule passe une largeur de 7 mètres et est équipée d'un dispositif d'insertion automatique des goujons par vibration dans le béton frais. La machine est en outre équipée d'une poutre lisseuse longitudinale. Une plaque est tirée à l'arrière de la machine pour un dernier lissage.

4.3. Le guidage de la machine

Une machine à coffrages glissants doit toujours être guidée, généralement par deux fils situés de part et d'autre de la machine, afin de garantir le bon profil tant transversal que longitudinal.

Dans le cas de la Drève, route parfaitement rectiligne sur la presque totalité de son parcours, la machine a été asservie à un fil unique situé côté ouest de la voirie (photo 13).

Transversalement, le profil en travers-type de la route est en forme de toit avec une double pente transversale de 2 %. La machine à coffrages glissants a donc été réglée en fonction de ce profil en travers.

4.4. La mise en œuvre

Le bétonnage s'est déroulé depuis la Drève Saint-Hubert vers la chaussée de La Hulpe. La machine a été alimentée par camions bennes bâchés provenant des deux centrales choisies par l'entrepreneur, pour les raisons invoquées précédemment. Pour rappel, dans le cas d'un béton routier, le transport s'effectue toujours par camion benne compte tenu de la composition de ces bétons à faible teneur en eau et de la nécessité d'un approvisionnement et d'un déversement rapides du béton pour maintenir la cadence d'avancement élevée de la machine à coffrages glissants (photos 14 et 15). Le bâchage est obligatoire par temps chaud pour éviter la dessiccation du béton durant le transport.

Les goujons ont été insérés automatiquement avec une entre distance de 25 cm (photo 16). Leur position était repérée de part et d'autre du revêtement par un trait de peinture, afin de garantir un bon positionnement du sciage à réaliser ultérieurement à la verticale des goujons (photo 17).

La surface de béton a été lissée à la poutre lisseuse 'supersmoother' (photo 18).

12



13



14



15



16



17



18



4.5. Le traitement de surface et les joints

Sur le béton frais, un retardateur de prise à base de sucre a été pulvérisé (*photo 19*). Ensuite le béton a été protégé contre la dessiccation par une feuille de plastique déroulée par la même machine que celle qui pulvérise le retardateur (*photo 20*).

Plusieurs heures après, lorsque le béton a atteint une certaine résistance, les joints transversaux ont été sciés au travers du plastique sur 1/3 de l'épaisseur du revêtement (*photo 21*).

Ensuite, le plastique a été retiré et le brossage du mortier, non encore durci en surface, a été réalisé (*photo 22*). Compte tenu de la proximité des racines des hêtres pourpres, il était souhaitable de ne pas provoquer d'écoulement de laitance au caractère fortement basique vers le pied des arbres. Pour cette raison le béton durci a été brossé à sec plutôt que lavé à l'eau. Les résidus du brossage ont ainsi été aisément récupérés.

Enfin, après brossage, le joint longitudinal a également été scié. Ces opérations de lavage ou de brossage doivent se réaliser à des moments précis suivant l'état de durcissement du béton. Ce délai varie généralement suivant la composition du béton, la température ambiante et la technique utilisée. En particulier le brossage à sec doit s'exécuter plus rapidement qu'un lavage à l'eau. Dès lors, dans le cadre du chantier de la Drève, certaines de ces opérations se sont déroulées durant la nuit.

Après brossage, la surface du béton a été protégée contre la dessiccation par un produit de cure.

Quelques jours après bétonnage, les joints ont pu être scellés. Pour ce faire, les bords du trait de scie ont d'abord été chanfreinés et la fissure élargie sur les premiers centimètres. Après la pose d'un fond de joint, la saignée a ensuite été nettoyée et chauffée (*photo 23*) avant mise en œuvre de la masse de scellement (*photo 24*).

4.6. Aspect final

La profondeur de dénudage a été mesurée par l'essai à la tache de sable suivant la méthode CRR 32/69. La valeur moyenne obtenue sur 12 mesures est de 0,98 mm ; les valeurs extrêmes étant de 0,7 et 1,25 mm. La *photo 25* illustre la texture obtenue.

4.7. Caractéristiques du béton durci

Les caractéristiques du béton durci ont été déterminées sur base de deux types d'échantillons. D'abord sur des cubes de chantier, ensuite sur des carottes prélevées dans des dalles d'essais confectionnées sur chantier.

Les essais ont été réalisés à différents âges. Le tableau ci-dessous reprend la synthèse des résultats obtenus.

Tableau 3 : Résistance à la compression

Age du béton	Résistance à la compression (N/mm ²) Valeurs moyennes	
	Cubes 150x150 mm	Cylindres S = 100 mm ² h = 100 mm
3 jours	32,6	-
7 jours	46,9	46,4
28 jours	57,7	58,7
91 jours	63,8	65,2



25



20



21

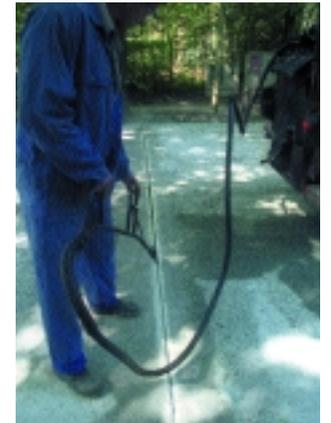


22



23

24



LE BÉTON SILENCIEUX

L'évolution dans la conception des voitures et des camions a singulièrement réduit les bruits émis par les moteurs et les véhicules deviennent ainsi de plus en plus confortables. Il en résulte que la source principale des bruits émis par une route provient actuellement du contact pneu/revêtement. Depuis les années '80 des études sont réalisées dans ce domaine et concernent différents matériaux. Plusieurs aspects interviennent dans le niveau des bruits de roulement:

- la planéité et la mégatexture ;
- la texture de surface, à savoir la micro- et la macrotecture ; c'est cette dernière qui influence le plus le niveau sonore entendu dans et autour du véhicule ;
- la facilité, pour l'air poussé par le pneu, à s'échapper dans ou à la surface du revêtement.

Dans le domaine des revêtements en béton, les expériences belges et étrangères menées sur base de ces principes, permettent de mettre en évidence les paramètres essentiels d'une route silencieuse [7]. Pour réduire au mieux le bruit de roulement il convient d'utiliser la technique du dénudage chimique comme traitement de surface et d'étudier une composition appropriée du béton et donc :

- de réduire le calibre maximum du plus gros granulat. En effet, plus le Dmax est petit, moins bruyant est le revêtement. Dans la pratique, le Dmax est limité au maximum à 20 mm ;
- d'utiliser une teneur importante en granulats de calibre 4/7 (minimum 20 %) ;
- de bétonner au moyen d'une machine à coffrages glissants (*slip-form*) ;
- d'utiliser une poutre lisseuse longitudinale (*supersmoother*) ;
- de limiter la profondeur de dénudage à 1, voire max. 1,5 mm.

Des mesures ont permis ainsi de constater qu'un revêtement en béton dénudé 0/20 permet de gagner 7 dB(A) sur le bruit de roulement, par rapport à un revêtement en béton strié 0/32.

D'autres mesures ont été réalisées à Estaimpuis en 2002 sur un tronçon expérimental de béton armé continu bi-couche, réalisé à l'aide de deux machines à coffrages glissants, avec comme valeur de Dmax pour la couche supérieure : 7, 10, 14 et 20 mm. Le tableau ci-après synthétise les résultats obtenus. Ceux-ci montrent que plus le calibre est petit, moins bruyant est le revêtement, mais les écarts sont toutefois assez faibles. Ce qui apparaît clairement, c'est qu'une réalisation du revêtement en deux couches posées frais sur frais (bi-couche) améliore sensiblement la planéité de surface et donc le caractère silencieux du revêtement. La raison semble en être la plus grande facilité pour la deuxième *slip-form* de mettre en œuvre une couche de faible épaisseur, sans arrêts de machines et à vitesse constante et donc de bien respecter les niveaux imposés par les dispositifs de guidage (fils, ...).

Vitesse de référence km/h	Niveau sonore d'un véhicule léger en dB(A) (méthode SPB – Analyse d'un nombre suffisant de véhicules circulant isolément)			
	Section 4/7	Section 7/10	Section 10/14	Section 14/20
70	75,9	76,6	77,2	77,8
90	79,4	80,0	80,9	81,4

LE BÉTON LAVÉ

Le principe du béton lavé, communément appelé "dénudage chimique" en Belgique, est de mettre en évidence les granulats en face supérieure du béton. Pour ce faire, un retardateur de prise, appelé "désactivant" en France, est appliqué sur le béton. Généralement, pour protéger le béton contre la dessiccation et éviter un éventuel délavage du produit par la pluie, une feuille de plastique est étendue sur la surface et maintenue en place jusqu'au moment du lavage. Après quelques heures, le béton a commencé sa prise. Il durcit dans la masse mais pas encore en surface, suite à l'action du retardateur. Cette couche superficielle peut alors être éliminée par lavage à l'eau ou par broissage à sec. Suivant le type de produit retardateur, son taux de pulvérisation et l'intensité du lavage ou du broissage, les granulats vont être plus ou moins mis en évidence. Cette profondeur de dénudage varie suivant les applications et elle peut être mesurée par l'essai à la tache de sable (méthode CRR 32/69 du 2003-08-08). Les valeurs moyennes communément proposées pour les résultats d'essais à la tache de sable en fonction de la granulométrie du béton sont : 0,8 mm pour un béton 0/7 ; 1,0 mm pour un béton 0/14 ; 1,3 mm pour un béton 0/20.

Après cette opération de broissage ou de lavage, le béton poursuit sa prise normalement. Il doit cependant être correctement protégé contre la dessiccation pendant plusieurs jours au moyen d'un produit de cure efficace, immédiatement après lavage.

Comme cette technique met les granulats en évidence, elle est souvent associée à la coloration du béton. En combinant un mortier coloré et des granulats de couleur sélectionnée, il est possible d'obtenir un béton lavé, d'aspect coloré, très prisé en milieu urbain.

5. Aménagement des abords

De part et d'autre du nouveau revêtement, subsistait une bande de 50 cm de large à combler pour éviter toute chute accidentelle d'un véhicule. Le matériau à mettre en œuvre dans ces zones latérales devait assurer une transition visuelle avec les abords en terre arable, tout en garantissant une bonne stabilité envers d'éventuels passages de roues de véhicule. De plus, il ne devait pas constituer un obstacle contre l'écoulement transversal des eaux de ruissellement de la route vers les accotements. Compte tenu de ces contraintes, le choix s'est porté sur des dalles gazons posées sur béton frais à 250 kg/m³ de ciment (*photo 26*). Les alvéoles ont été remplies de granulats 4/7 jusqu'au niveau inférieur des rainures (*photo 27*).

Enfin, tous les accès aux carrefours devaient être reprofilés afin de compenser la remontée du niveau de la Drève de Lorraine. Ces travaux ont été réalisés au fur et à mesure de l'avancement dans les matériaux d'origine des accès existants (*photo 28*).



26



27



28

V. CONCLUSIONS

La réhabilitation de la Drève de Lorraine a permis de donner une nouvelle jeunesse à une voirie vieille de 78 ans.

L'ancienne chaussée construite en dalles de 15 cm d'épaisseur, constituait une des plus anciennes voiries en béton encore en service en Belgique. Même si elle comportait des dégradations altérant son confort de roulement, elle remplissait toujours son rôle.

Il a été décidé de réhabiliter la voirie en réalisant un recouvrement (*overlay*) à l'aide de dalles de béton de 20 cm d'épaisseur avec des joints de retrait munis de goujons.

Le chantier de rénovation a traité l'ensemble des 2950 m en 14 jours calendrier. Une telle rapidité d'exécution est sans conteste un atout important dans la gestion d'un réseau routier de plus en plus chargé.

Cette réalisation possède une valeur exemplative pour les routes en béton.

Une route de 78 ans témoigne bien entendu de sa longévité et de la durabilité d'un revêtement en béton correctement réalisé. L'absence de fondation illustre parfaitement la performance élevée de ce matériau en terme de répartition des charges.

Par ailleurs, la réutilisation de cette ancienne voirie comme fondation du nouveau revêtement est également intéressante car elle permet de préserver des matières premières et de réduire le trafic de chantier. Il s'agit donc d'une technique de recyclage par excellence.

Le nouveau revêtement est réalisé en béton, matériau se comportant bien en milieu humide tel la forêt de Soignes, traversée par la Drève. La teinte claire du revêtement apporte un surcroît de sécurité dans cet environnement souvent sombre dû à la proximité des arbres et à l'absence d'éclairage public. Son intégration à l'environnement naturel du site est particulièrement appréciée.

Enfin le recours à un béton 0/14 désactivé et posé à la machine à coffrages glissants, permet d'obtenir une excellente planéité et de réduire notablement les bruits de roulement assurant à l'utilisateur un confort optimal. Cette texture garantit également une bonne adhérence en tout temps.

La gestion et la construction de la Drève de Lorraine constituent donc un exemple des bons choix réalisés pour obtenir des solutions durables et économiques sur le moyen et le long terme.

(suite de la page 2)

Dans les années trente, c'est l'ensemble d'un quartier d'habitation d'Ixelles qui a été équipé de revêtements en béton. Les croquis ci-après montrent le plan terrier et le profil en travers-type (fig. B et C). Ces voiries d'environ 70 ans existent toujours comme en témoignent les photos IV et V.

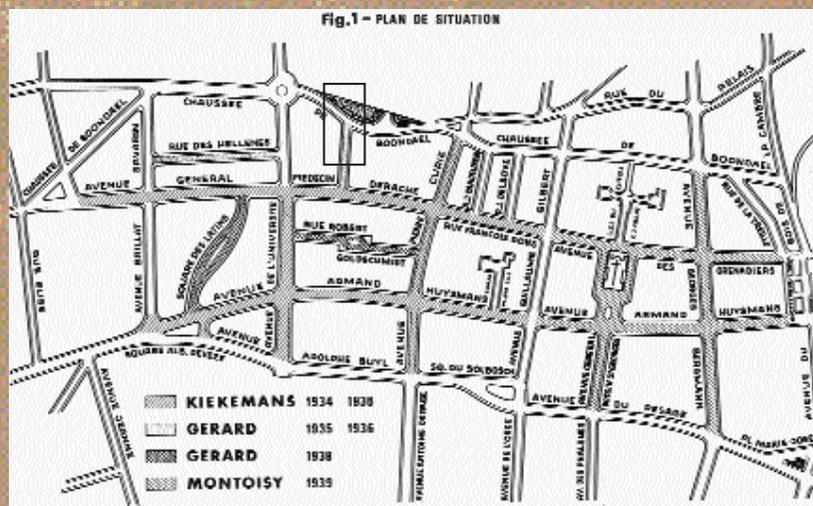
Une publication de 1950 reprend une photo (photo VI) de la Drève après 25 ans. Son commentaire était le suivant : "Vue d'un revêtement exécuté il y a vingt-cinq ans suivant une technique périmée ; les fissures sont dues à l'absence de joints longitudinaux. On remarquera, néanmoins, l'admirable tenue de ces revêtements."



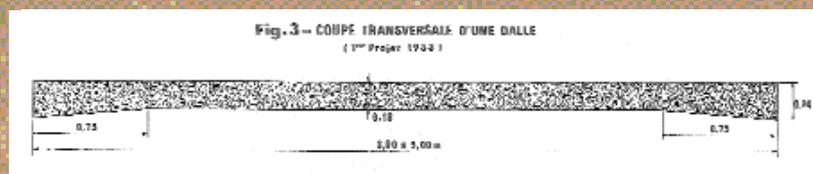
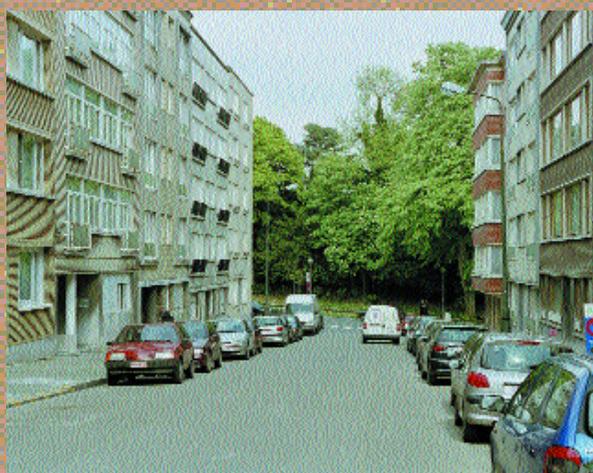
Photo VI : Drève de Lorraine en 1950 — source : [4]

Fig. B : Revêtements en béton dans le quartier Boondael à Ixelles : plan de situation — source : [5]

Fig. C : Revêtements en béton dans le quartier Boondael à Ixelles : coupe transversale — source : [5]



Photos IV & V : Rue des Egyptiens (quartier Boondael à Ixelles) : années '60 et aujourd'hui



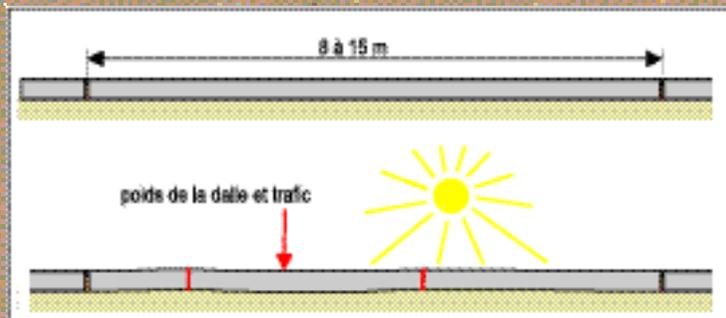


Fig. D : Conception ancienne : dalles longues, joints de dilatation

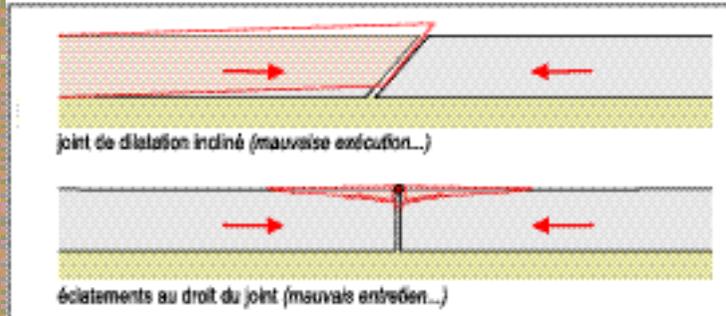


Fig. E : Conception ancienne : dégradation

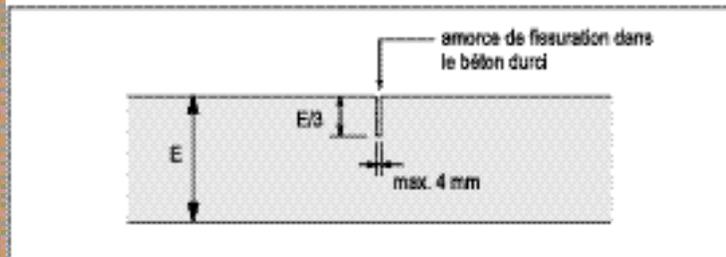


Fig. F : Conception actuelle : joints transversaux de retrait sans goujons

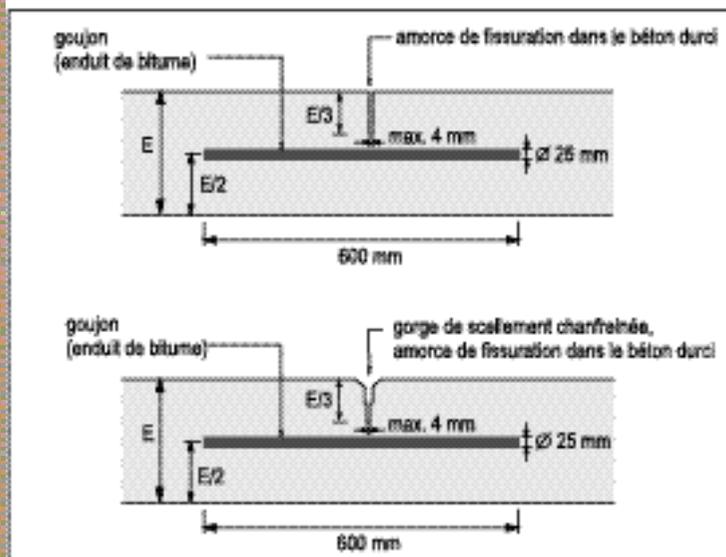


Fig. G : Conception actuelle : joints transversaux de retrait avec goujons

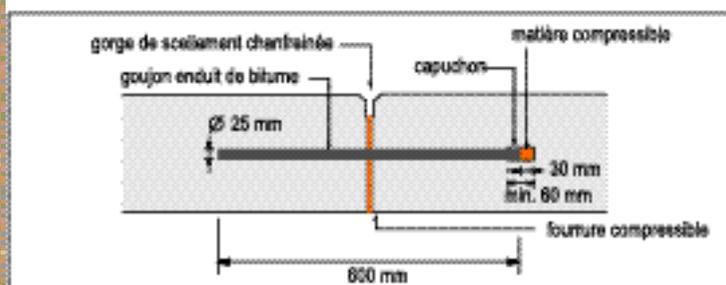


Fig. H : Conception actuelle : joint de dilatation

Vu l'évolution du trafic lourd, qui n'a cessé de croître de manière continue, de nombreuses anciennes routes ont présenté des phénomènes de battements de dalles et de mise en marche d'escalier (voir § II.3). Les dalles étaient généralement longues, de 8 à 15 mètres, et munies de joints de dilatation transversaux (figure D). Cette conception conduisait inévitablement à des ruptures de dalles, environ au tiers de leur longueur. De plus, les joints de dilatation étaient larges et donc inconfortables. Lorsque ceux-ci étaient mal exécutés et pas parfaitement perpendiculaires au plan de la dalle, celle-ci pouvait se soulever en été. Enfin, par manque d'entretien du scellement, des corps étrangers pouvaient s'introduire dans le joint, provoquant ensuite des éclatements et des épaufures lors de la dilatation des dalles en été (figure E).

C'est dans les années 60 que la conception a évolué vers les techniques actuelles. Les joints transversaux de dilatation ont été remplacés par des joints de retrait et leur entre distance a été réduite à 5 ou 6 mètres. Aujourd'hui, il est conseillé de ne plus dépasser une longueur de 5 mètres pour les dalles. En cas de trafic lourd, pour assurer le transfert des charges d'une dalle à l'autre, des goujons sont placés au droit des joints. Les figures F et G montrent les dispositions actuelles des joints de retrait. Ces joints sont habituellement sciés dans le béton durci sur le tiers de l'épaisseur. Quant aux joints de dilatation, ils ne sont réservés qu'aux endroits particuliers pour éviter la poussée du revêtement sur les culées d'un ouvrage d'art par exemple, la poussée au vide dans un virage à faible rayon de courbure, ... Ce type de joint est repris à la figure H.

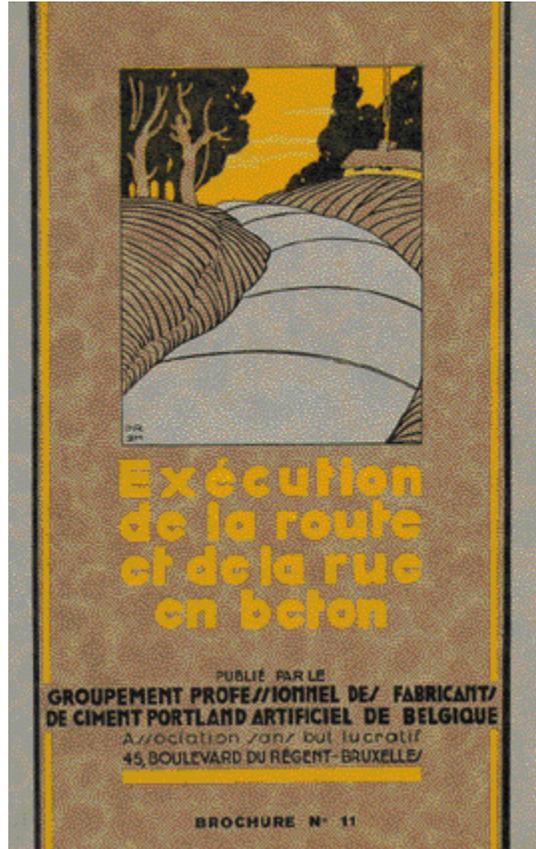
Au début des années '70, la technique du béton armé continu, importée des Etats-Unis fin des années 60, a été appliquée à grand rendement pour la construction de toutes les autoroutes. La photo VII montre une vue actuelle de l'autoroute Bruxelles-Liège, construite en 1971, soit 33 ans après.



Photo VII : E40 Bruxelles-Liège aujourd'hui

BIBLIOGRAPHIE

- [1] *La Route en Béton – Ses Principes d’Etablissement – Son Développement*
Conférence faite à l’A.I.A. le 1er juin 1929 par M. DESPA, ingénieur
Extrait du Bulletin de l’Association des Ingénieurs issus de l’Ecole d’Application de l’Artillerie et du Génie, Tome VI – n° 8
La Louvière: Etablissements C, 1929 (*)
- [2] DUTRON R. ; DESPA E.
La Route en Béton en Belgique – 15 années d’expérience – Conclusions – Propositions
Premier Congrès National de la Route – Liège, 1930
Liège : éditeur G. Thone, 1930
- [3] *Exécution de la route et de la rue en béton*
Groupement Professionnel des Fabricants de Ciment Portland Artificiel de Belgique a.s.b.l.
Brochure n°11
Bruxelles, 1930 (*)



- [4] *La route en béton de ciment*
Centre d’Information de l’Industrie cimentière belge
Bruxelles, 1950 (*)
- [5] LUCAS L. (rapporteur)
Thème A – La conception de la voirie urbaine
IVe Congrès International – Technique et esthétique de la voirie urbaine
Bruxelles, 1970
- [6] JASIENSKI A.
Les Overlays et les Inlays en béton de ciment
Dossier Ciment, bulletin n°14, janvier 1998
Bruxelles : FEBELCEM
- [7] HENDRIKX L.
Revêtements en béton silencieux
Dossier Ciment, bulletin n°18, novembre 1998
Bruxelles : FEBELCEM

(*) date présumée

*Ce bulletin a été réalisé avec la participation de
M. V. Reeners, Ingénieur à l’A.E.D. de Bruxelles Capitale*



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

auteurs:
Ir P. Gilles
Ir A. Jasienski

photos:
Foto Coolens & Deleuil
sauf mention contraire

éditeur responsable:
J.P. Jacobs

dépot légal:
D/2004/0280/02