

EVALUATION A L' AIDE DU FWD ET DU FAULTIMETRE DES STABILISATIONS DE DALLES EN BÉTON

SERGIO PEREZ, ANNE BEELDENS, JOHAN MAECK, CARL VAN GEEM,
ANN VANÉLSTRAETE,
Centre de recherches routières
GEERT DEGRANDE, GEERT LOMBAERT
K.U.Leuven, Afdeling Bouwmechanica
PIETER DE WINNE,
Agentschap Wegen en Verkeer, AWV Oost-Vlaanderen

Résumé

Dans le domaine des méthodes de recouvrement anti-fissures, le Centre de Recherches Routières suit un chantier sur la route N9 afin de mettre à l'épreuve différentes méthodes d'intervention. L'étude fait partie du projet de recherche IWT «Stabilisation de dalles en béton pour des recouvrements bitumineux à interfaces anti-fissures durables». La route N9 présente des problèmes, tels que le mouvement vertical et la mise en escalier de dalles de béton, qui ont comme conséquence des nuisances sonores et une perte de confort. Outre une description du chantier et des travaux réalisés, cet article présente une première évaluation des méthodes de mesure, des premiers résultats obtenus et des techniques de stabilisation de dalles étudiées dans le cadre de cette recherche.

Samenvatting

In het kader van het door IWT-Vlaanderen gesubsidieerde project Trillingsgecontroleerd stabiliseren van betonplaten voor duurzame asfaltoverlagingen met scheurremmende lagen verricht het Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW) op de N9 onderzoek naar de doeltreffendheid van verschillende herstellingswijzen voor betonwegen met scheurremmende lagen en asfaltoverlagingen. Opwippende betonplaten en trapjesvorming veroorzaken daar immers geluidhinder en verminderd rijcomfort. Dit artikel beschrijft de werkzaamheden en de toegepaste technieken op de N9. Het geeft tevens een eerste evaluatie van de meetmethoden en van de bereikte resultaten.

1. Introduction

Lorsque les routes en béton se dégradent après plusieurs années de service, différentes solutions peuvent être appliquées afin de les remettre en état. Le choix des méthodes de réparation dépend en première mesure de l'origine des dégradations. Lorsque les défauts ont pour origine une perte de portance du sol support ou une dégradation des couches d'assise, les réparations doivent prendre en compte l'ensemble de la structure de la chaussée. Lorsque les défauts concernent uniquement la couche supérieure de la chaussée et le contact avec la couche sur laquelle elle s'appuie, il est possible d'intervenir uniquement au niveau de la couche de surface. Dans le cas des chaussées en dalles de béton, par exemple, il est fréquent de retrouver des défauts tels que des mouvements de dalles et de mise en escalier, qui dépendent du contact entre la couche de surface et la couche d'assise. Souvent dans ces cas, il suffit de stabiliser les dalles existantes sans intervenir sur l'ensemble de la structure pour récupérer des conditions optimales de service. Lorsqu'il s'agit de stabiliser une route en dalles de béton, le choix de la méthode dépend en deuxième mesure de l'importance des défauts et des caractéristiques géométriques de la voie à réparer. Les deux solutions utilisées principalement sont les injections et le fractionnement.

Afin d'étudier l'efficacité des méthodes d'entretien, le Centre de Recherches Routières (CRR) travaille sur l'évaluation de méthodes de recouvrement anti-fissures dans le cadre du projet financé par l'IWT : «Stabilisation de dalles en béton pour des recouvrements bitumineux à interfaces anti-fissures durables» [ref. 5]. En complément de l'étude théorique sur les différentes méthodes de stabilisation des dalles béton et des matériaux de recouvrement bitumineux, un chantier est réalisé sur la route N9 afin de tester la méthode du fractionnement et les couches anti-fissure de recouvrement.

2. Objectifs des recherches concernant la stabilisation de dalles en béton

Les recherches sur les méthodes de stabilisation des dalles en béton font partie du projet de l'IWT dont le déroulement s'étale sur quatre ans. La présentation des objectifs et de l'état d'avancement du projet, ainsi que des résultats des recherches particulières dans le domaine des vibrations, est réalisée dans deux publications supplémentaires liées à ce projet [ref. 4 et 5]

Les recherches liées plus particulièrement aux méthodes de stabilisation des dalles, visent, dans un premier temps, l'amélioration des méthodes de mesure afin de mieux déterminer les phénomènes prédominants dans le processus de dégradation de la chaussée. Une information complète est indispensable pour mieux définir l'intervention que nécessite une chaussée endommagée. Le but est de mieux comprendre les liens entre la mise en escalier et les mouvements verticaux des dalles, avec la diminution du transfert de charge et la perte de portance de la structure. Dans un deuxième temps, ces recherches doivent permettre de mieux évaluer l'efficacité et le domaine d'application des méthodes de stabilisation des

dalles en béton. Le choix de la méthode de fractionnement pour stabiliser les dalles en béton dans le chantier en cours sur la route N9, a été réalisé afin d'optimiser cette méthode. Le but est d'une part de pouvoir mieux définir son application optimale et d'autre part de mieux déterminer le rôle de la couche fractionnée dans les mécanismes de remonté de fissures.

Dans cet article sont présentés les premiers résultats de cette recherche concernant uniquement la stabilisation des dalles béton. Les éléments pris en compte ici sont les suivants :

- méthode de mesure pour la détermination du mouvement des dalles: faultimètre comparé au FWD (Falling Weight Deflectometer, déflectomètre à masse tombante) ;
- étude des deux principales méthodes de stabilisation de dalles en béton ;
- analyse sur l'efficacité de la technique de fractionnement.

3. Méthodes de stabilisation des dalles

Plusieurs méthodes de stabilisation de dalles en béton sont utilisées dans la pratique (injections de coulis de ciment ou de résine, fractionnement des dalles, entre autres). L'ensemble de procédés de stabilisation doit être pris en compte au cours des recherches afin d'optimiser leur application en fonction des caractéristiques des routes endommagées.

3.1 Injections

La stabilisation de dalles béton peut s'effectuer par le moyen d'injections de coulis de ciment ou de résines lorsque les problèmes de stabilité des matériaux de fondation sur lesquels elles s'appuient ne sont pas structurels. Si la résistance du support en elle-même est remise en cause ou lorsque des discontinuités du terrain importantes se sont formées, les injections ne seront pas en mesure de résoudre les défauts de la chaussée. Le matériau le plus utilisé pour réaliser des injections dans le milieu routier est le coulis de ciment. Ce matériau est celui dont le rapport qualité/prix est le plus avantageux. Son utilisation ne constitue aucun danger, et sa résistance et sa fluidité permettent de l'utiliser dans un grand nombre de situations. Sa viscosité peut être modifiée de façon importante par un changement du rapport eau/ciment du mélange, mais cela a une influence directe sur la force verticale disponible pour repositionner les dalles (voir figure 1). Le temps de prise du coulis de ciment est de l'ordre de 5 heures.

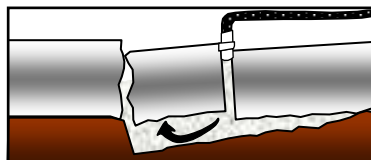


Figure 1 – Injection de coulis de ciment permettant de repositionner les dalles

Les coulis de ciment sont des mélanges de consistance fluide, faits de ciment, d'eau, d'adjuvants et éventuellement d'autres ajouts. Les différents adjuvants (moins de 5% de la masse de ciment) permettent d'adapter le coulis de ciment aux différentes applications. Bien que le coulis de ciment puisse être adapté à différentes dimensions de vides, il ne peut pas

être appliqué lorsque les vides entre les dalles et leur support sont de l'ordre de quelques millimètres. Dans ces cas là, l'application de résines est nécessaire. Les résines époxy ont une viscosité et une fluidité proche de celle des huiles leur permettant une pénétration profonde malgré l'existence d'espacements très réduits. Les résines présentent l'avantage d'une prise beaucoup plus rapide que celle des coulis de ciment, ce qui permet de rétablir le trafic 45 minutes après son application. Leur principal désavantage est leur coût. Les matériaux bitumineux sont considérés dangereux et peu efficaces. Ces matériaux ont la particularité de refroidir rapidement après avoir parcouru quelques centimètres (de l'ordre de 5 à 10 cm) et de créer des points durs autour de cavités. Les trous ainsi formés vont être à l'origine de nouvelles fractures du béton. De façon générale, la mise en œuvre des injections de stabilisation de dalles en béton peut être représentée en quatre étapes : 1) Observations préalables avant les travaux d'injection, 2) Perforation des dalles, 3) Injection jusqu'à la stabilisation de dalles, 4) Finitions : remplissage des trous et scellement du joint.

De cette étude, sur les deux types d'injections utilisées pour la stabilisation des dalles en béton, on conclut principalement qu'ils peuvent être appliqués lorsque les mouvements de dalles sont limités par un support plus ou moins stable, et que le choix du produit (coulis de ciment/résines époxy) est fonction de la taille des vides. Enfin, par rapport au fractionnement, les injections présentent deux avantages majeurs. Le premier est qu'il s'agit d'une solution qui peut être appliquée lorsque la cote du tracé ne peut pas être surélevée. Le deuxième est que les moyens mis en œuvre sont plus simples et présentent moins de gêne pour les riverains. Leur utilisation présente cependant un certain nombre de restrictions et de recommandations à prendre en compte. Celles-ci seront présentées plus en détail dans les rapports en cours d'élaboration réalisés dans le cadre de cette recherche.

3.2 Fractionnement des dalles

L'équipement utilisé pour effectuer le fractionnement des dalles de la route N9 est constitué de quatre cylindres de béton d'environ 600 kg. Pour fractionner les dalles en béton, les cylindres tombent successivement d'une hauteur de 3 mètres au fur et à mesure qu'ils sont déplacés le long de la route. La fréquence avec laquelle les chocs sont effectués est déterminée par la vitesse d'avancement du camion et par le temps nécessaire pour faire remonter les cylindres. La stabilisation des dalles de béton par fractionnement permet, d'une part, d'améliorer le contact avec leur support par la diminution des longueurs entre appuis. D'autre part, le fractionnement permet de désamorcer l'engrenage entre les dalles au niveau des joints afin d'éviter la continuité du transfert de charge entre celles-ci.

Le principal désavantage de cette méthode est qu'elle crée des fortes nuisances pour les riverains des voies fractionnées suite aux vibrations dues aux chocs des masses tombantes. Ces vibrations font l'objet d'une publication particulière de la KU Leuven dans laquelle on montre leur influence sur leur entourage [réf. 4]. Une fois les dalles en béton fractionnées, on fait circuler un rouleau compacteur afin d'homogénéiser le contact de chaque section de dalle avec son support tout en les désolidarisant entre elles. Après le passage du rouleau

compacteur, les dalles en béton doivent nécessairement être recouvertes par une couche de surface afin d'assurer les caractéristiques de confort et de sécurité optimales. Cette mesure peut constituer un désavantage lorsque la cote de la chaussée ancienne ne peut pas être relevée. Dans le cas des recherches menées au cours de ce projet, cette méthode a été mise en œuvre sur le chantier expérimental afin d'optimiser son application.

4. Description du chantier

Les travaux de stabilisation des dalles en béton et de recouvrement avec une couche bitumineuse ont été effectués sur la route N9 près de Lovendegem entre Gent et Eeklo. Il s'agit d'une route nationale en dalles en béton non goujonnées (5 et 15 mètres), constituée de trois voies. Les différentes voies présentent des problèmes de battements et de hauteur de marche entre les dalles ayant un effet négatif sur le confort et la sécurité des usagers. La chaussée a été stabilisée sur un trajet d'environ 500 mètres. Des mesures ont été réalisées avant et après stabilisation, et après recouvrement avec une couche asphaltique. Les mesures sont réalisées dans les deux directions.

Les travaux d'entretien ont été réalisés en trois étapes. La première constituée par les travaux de fractionnement (réalisée le 02/04/2008), la deuxième par le passage du rouleau compacteur (réalisé le 03/04/2008) et, la troisième, par le recouvrement de la route avec une couche anti-fissure avec une grille métallique (réalisée le 10/04/2008).

Tableau n°1 – Mesures réalisées sur la route N9 à Lovendegem

Série	Date	Température moyenne (°C)	Etat d'avancement des travaux	Types de mesures *
1	30/11/2007	18.3	Avant toute intervention	1, 2
2	01/04/2008	8.7	Avant toute intervention	1, 2, 3, 4, 5, 6
3	02/04/2008	10.1	Après fractionnement	1, 2, 3
4	03/04/2008	11.1	Après passage du rouleau	1, 2, 3
5	10/04/2008	14.3	Après recouvrement	1, 2

* 1) Faultimètre. 2) FWD (Falling Weight Deflectometer) adapté pour les mesures sur dalles. 3) Hauteur de Marche par méthode topographique.

4) Carottage pour essais de compression. 5) Absorption d'eau. 6) Masse Volumique (béton durci) .

Cinq séries de mesures ont été réalisées lors de l'exécution des travaux. En particulier, après chaque intervention, une série de mesures a été réalisée. Les cinq séries de mesures réalisées avant et pendant les travaux sont répertoriées dans le tableau n° 1. Les mesures avec le faultimètre et le FWD ont été privilégiées lors des différentes étapes du chantier, étant donnée qu'elles permettent de mieux suivre l'évolution de la route.

5. Premiers résultats des mesures avec le faultimètre et le FWD

5.1 Mesures au faultimètre

La mesure réalisée avec le faultimètre (de l'expression anglaise «slab faulting» qui signifie battement des dalles) permet d'obtenir l'amplitude des mouvements verticaux relatifs des extrémités contiguës de dalles successives lors du passage d'un camion à hauteur du joint examiné. Le faultimètre (voir figure 2) est composé d'un statif reposant sur trois points

d'appui fixes (1) et d'une tige mobile (2) qui forme le quatrième point d'appui. La tige mobile est reliée par un système de transmission à un comparateur (3), qui indique l'amplitude du mouvement en millièmes de mm. Le principe de fonctionnement consiste à établir deux mesures de déplacement relatif au passage de la charge, B1 et B2, avant et après le joint (ou la fissure) respectivement (voir figure 3.A). L'addition des valeurs absolues de B1 et B2 constitue la mesure finale obtenue avec le faultimètre. Cette valeur est en fait l'amplitude de la courbe du battement qui pourrait aussi être établie à partir de la connaissance complète des déflexions au passage de la charge tel qu'il est montré dans la figure 3.A.

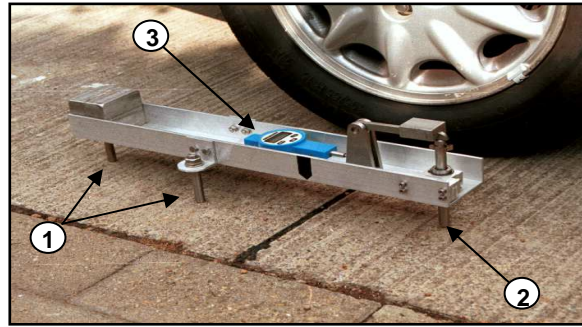


Figure 2 – Faultimètre (1- points d'appui fixes, 2- tige mobile, 3- comparateur)

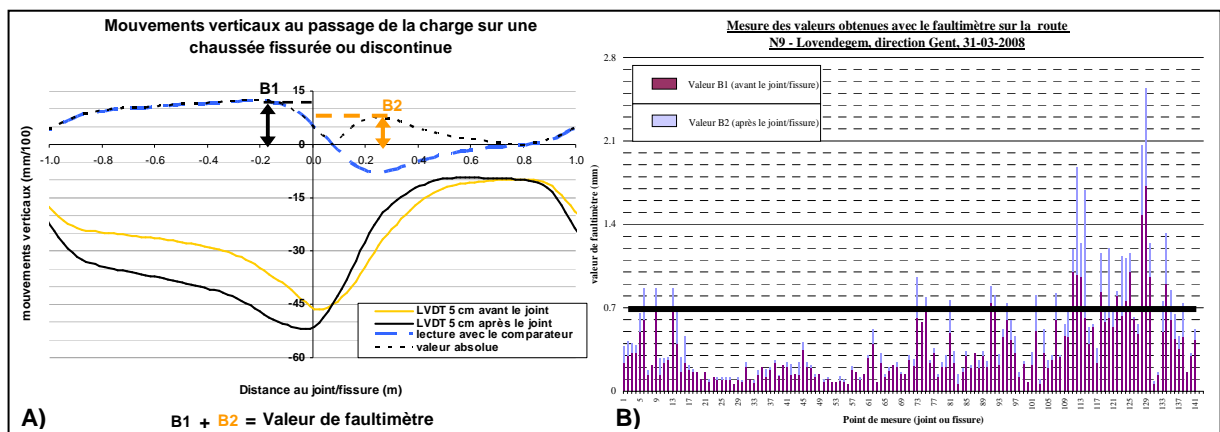


Figure 3 – Mesure au faultimètre. A) Principe associé aux déflexions existantes au passage d'une charge roulante. B) Résultats avant fractionnement des dalles en béton (31/03/08) Lorsque la valeur de cet indicateur d'amplitude de battement est égale ou supérieure à 0.7 mm, le mouvement vertical entre les dalles en béton est considéré comme étant critique et la chaussée doit être réhabilitée (voir figure 3.B). Lorsque la valeur est égale ou supérieure à 0.5, une intervention peut être envisagée si des dégradations complémentaires au mouvement des dalles sont répertoriées. La figure 4 montre les premiers résultats bruts obtenus avec le faultimètre sur la route N9. On observe l'hétérogénéité des mouvements relatifs entre les dalles relevée à l'aide du faultimètre sur une distance de 500 mètres.

5.2 Evolutions des déplacements verticaux relatifs

Les différentes séries de mesures ont permis d'évaluer d'une part, l'évolution des mouvements verticaux et le transfert de charge, et d'autre part, l'influence de la température. Le comportement théorique prévu est confirmé par les mesures réalisées avec le faultimètre puisque globalement les valeurs sont supérieures lorsque la température est plus basse (voir

figure 4). Cela correspond bien aux phénomènes de dilatation et de contraction des dalles dus aux changements de températures. Les valeurs de faultimètre répertoriées permettent de quantifier ce comportement dans le cadre du projet en cours. On observe que lorsque la température ambiante est proche de 18°C, les mesures du faultimètre ne permettent pas de repérer un nombre important de cas dont le mouvement vertical relatif entre les dalles constitue un problème majeur sous des conditions de température légèrement plus basses (voir zone hachurée figure 4).

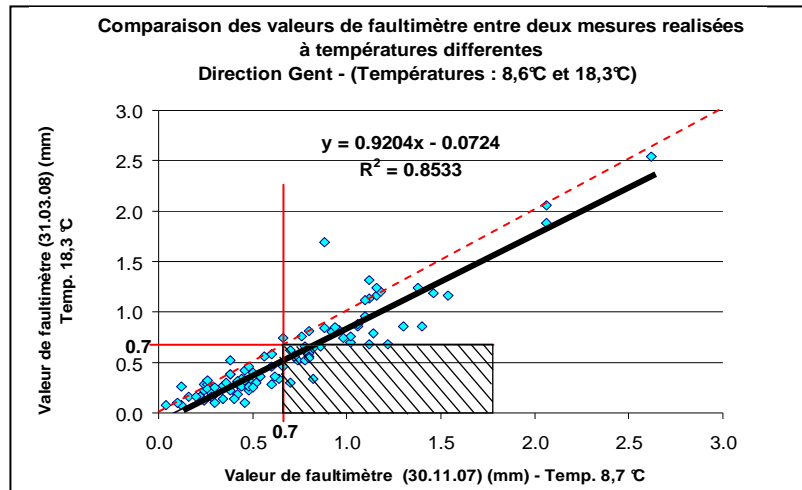


Figure 4 – Sensibilité des mesures de faultimètre à la température

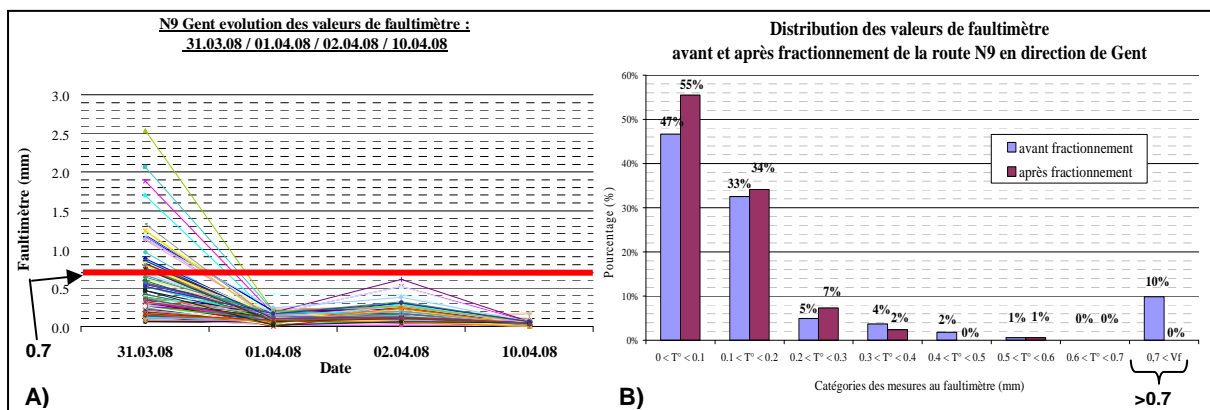


Figure 5 – Évolution des valeurs de faultimètre. A) Valeurs obtenues pendant les différentes étapes du chantier. B) Distribution avant et après le fractionnement des dalles.

L'évolution des valeurs du faultimètre montre l'effet du fractionnement sur les mouvements relatifs entre les dalles. Sur la figure 5.A on observe une diminution très significative de l'ensemble des valeurs. En particulier, après le fractionnement, l'ensemble de valeurs du faultimètre se trouvent en dessous de 0.4 mm. La figure 5.B confirme cette observation et montre aussi la redistribution globale des valeurs du faultimètre. On observe en effet que les valeurs supérieures à 0.7 mm avant le fractionnement (10% de toutes les mesures) ont été toutes corrigées. La figure 5.A permet aussi de confirmer que les valeurs du faultimètre restent, par la suite, toujours en dessous de la limite de 0.7 mm.

5.3 Mesures de type FWD dans le cadre des chaussées rigides fissurées

Dans différentes recherches réalisées aujourd'hui à l'aide du FWD, on trouve dans la littérature un nombre important de documents dédiés à ses applications dans le domaine des routes [réf. 1 et 2]. Dans le cas particulier des routes fissurées, différentes configurations des géophones peuvent être prévues. La configuration des géophones est étroitement liée aux indicateurs que l'on veut établir et elle est liée aussi aux caractéristiques du comportement auxquels on s'intéresse [réf. 3]. Les configurations traditionnelles des géophones utilisées dans le cas de chaussées rigides avec des discontinuités sont illustrées dans la Figure 6. Les configurations a et b ont été choisies pour réaliser les mesures sur la N9. Dans ces deux cas, la position de la charge du FWD peut être associée aux positions de la charge roulante pour lesquelles B1 et B2 sont maximales. A l'aide de ces configurations, deux comparaisons peuvent être réalisées entre le FWD et le faultimètre. Il est possible, d'une part, de comparer les valeurs du faultimètre avec les valeurs de transfert de charge ($LTE = D(300)/D(-300)$) et, d'autre part, de les comparer avec les mouvements verticaux relatifs obtenus avec le FWD ($DIF^a = |D^a(300) - D^a(0)|$ avec B1 et $DIF^b = |D^b(-300) - D^b(0)|$ avec B2).

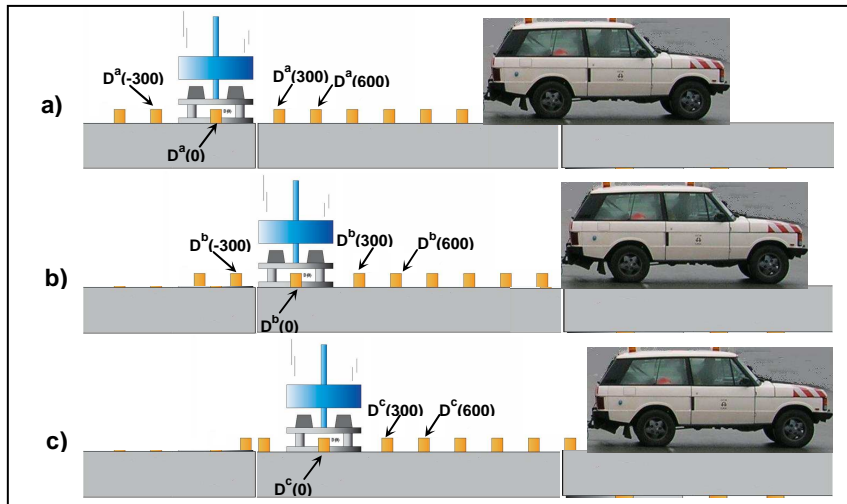


Figure 6 – Configurations du FWD. a) charge avant la discontinuité, b) charge après la discontinuité, c) géophones de part et d'autre de la discontinuité

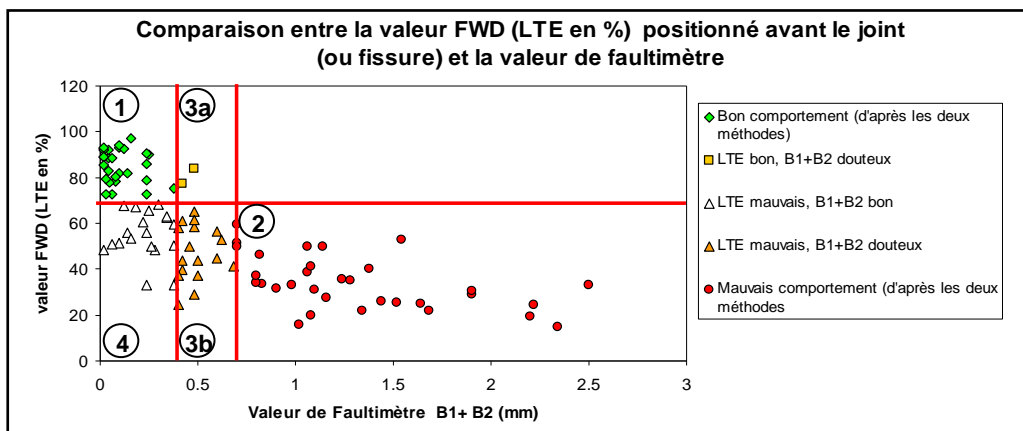


Figure 7 – Comparaison entre les valeurs du faultimètre et les valeurs LTE du FWD

La première de ces comparaisons est montrée dans la figure 7, dans laquelle quatre zones différentes délimitent le type de relation existante entre une méthode et l'autre. Les zones 1

et 2 de cette figure répertorient les points de mesure dont le résultat est cohérent entre les deux méthodes. Dans les deux cas, la zone 1 correspond aux valeurs associées à un bon état de la chaussée et la zone 2 à celles associées à un mauvais état de chaussée. Les zones 3a et 3b correspondent aux zones dont la valeur de faultimètre est entre 0.5 et 0.7 mm. Le comportement de la chaussée peut être remis en cause et dépend toujours des remarques complémentaires sur l'état de la chaussée. Par contre, pour ces mêmes points de mesure, la valeur de LTE semble donner des résultats permettant de différencier une chaussée en mauvais état (zone 3b) d'une chaussée en bon état (zone 3a). Enfin, la zone 4 permet de conclure que le FWD est en capacité de repérer des défauts structurels qui n'ont aucun lien avec le battement, étant donné que le faultimètre ne repère que de très légers signes de battements des dalles pour ces mêmes points de mesure. La deuxième comparaison, celle qui concerne les mouvements verticaux relatifs obtenus avec les deux systèmes de mesure, montre qu'il existe une forte corrélation entre les résultats obtenus avec le FWD et le faultimètre (voir figure 8). Cette conclusion est vérifiée dans le cas des mouvements verticaux existant lorsque la charge se trouve avant la discontinuité (voir figure 8.A) et lorsqu'elle se trouve après la discontinuité (voir figure 8.B).

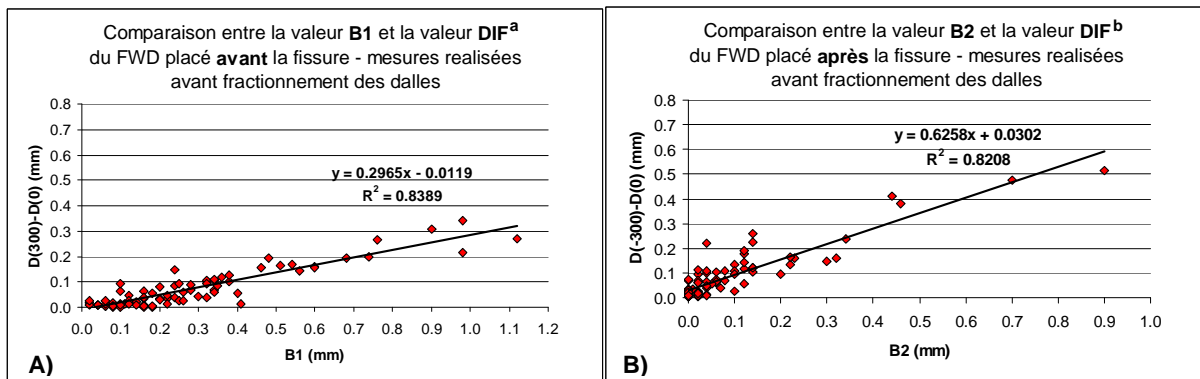


Figure 8 – Comparaison entre les valeurs du mouvement vertical relatif obtenues avec le faultimètre et le FWD pour deux positions de charge (avant et après la discontinuité)

5.4 Evolution des valeurs de transfert de charge entre les dalles avec le FWD

Les résultats des deux types de mesures réalisées avec le FWD, autant celles liées directement avec l'état structurel de la chaussée que celles liées aux mouvements verticaux en surface de la dalle en béton, confirment l'évolution observée avec le faultimètre. La figure 9.A montre l'évolution du transfert de la charge après le fractionnement. Pour la plupart des points de mesure, on constate des diminutions de la valeur LTE.

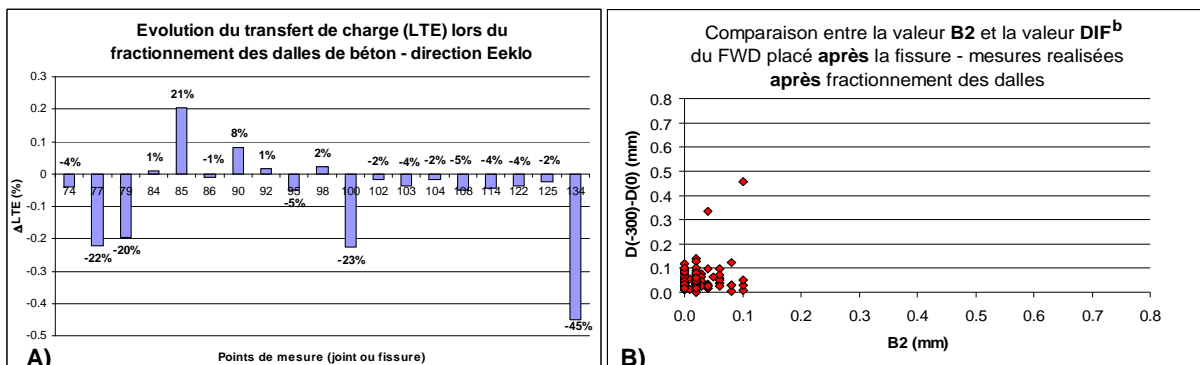


Figure 9 – Résultats obtenus avec le FWD après fractionnement. A) Évolution des valeurs de transfert de charge (LTE). B) Valeurs de DIFb après fractionnement

Dans la figure 9.B. on observe les valeurs de déplacement vertical relatif des dalles auprès d'une discontinuité (joint ou fissure) après les travaux de fractionnement. Sur cette figure, toutes les valeurs (mises à part deux mesures) peuvent être regroupées dans une zone se trouvant en dessous de 0.2 mm. Lorsqu'on compare ces résultats (figure 9.B.) avec les résultats de la figure 8.B, on confirme que l'effet de stabilisation des dalles est bien repéré par les deux types de mesure.

6. Conclusions et perspectives

L'évolution des paramètres mesurés (LTE, DIF et faultimètre) confirme dans tous les cas que la méthode du fractionnement est efficace pour stabiliser les dalles et donner ainsi une assise homogène aux couches de recouvrement. Les différents résultats apportés dans ce document permettent de conclure que l'évolution des mouvements verticaux relatifs des dalles après un fractionnement, peut être mise en évidence avec les deux types de mesure. Les résultats du FWD sont cependant plus complets puisqu'une information structurelle supplémentaire peut être obtenue. Le problème que présente ce système, est que son utilisation est limitée par son faible rendement. L'information supplémentaire sur l'état structurel de la chaussée semble être très utile pour la prise de décision lorsque les valeurs du faultimètre se trouvent entre 0.5 et 0.7 mm. Actuellement, le CRR étudie la possibilité de rendre plus complète l'information fournie par le faultimètre en le modifiant. Des recherches concernant l'état d'endommagement des chaussées en dalles béton et les paramètres pouvant être mesurés sont aussi nécessaires afin d'optimiser l'exploitation de ces informations supplémentaires.

Remerciements

Les auteurs remercient Monsieur P. De Winne du MOW et ses collaborateurs pour leur soutien et l'aide indispensable au bon déroulement des expériences réalisées sur la route nationale N9. Ils remercient le personnel des unités techniques du CRR pour la réalisation des essais sur site et en laboratoire. Ils remercient également l'IWT pour son soutien.

Références

- [1] Crovetto J.A. & Darter M.I. 1985. Void Detection for Jointed Concrete Pavements. Transportation Research Record 1041, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
- [2] Khazanovich L. & Gotlif A. 2003. Evaluation of Joint and Crack Load Transfer – Final Report. FHWA-RD-02-088.
- [3] Korsgaard H.C. & Pedersen J.P. & Rasmussen M. & Königsfeldt S. 2005. Rehabilitation by Cracking and Sealing of Concrete Pavement Optimized by FWD Analysis, BCRA 2005.
- [4] Lombaert G., Lak m.a., François S. & Degrande G., 2009. Trillingen in de omgeving ten gevolge van wegverkeer. 21^e Congrès belge de la Route, Gent, 2009.

[5] Vanelstraete A., Maeck J., Beeldens A., Perez S., De visscher J., Vervaecke F., Van Geem C., Lombaert G., Lak m.a., Degrande G., 2009. Trillingsgecontroleerd stabiliseren van betonplaten voor duurzame asfalterlagen met scheurremmende lagen. 21^e Congrès belge de la Route, Gent, 2009.