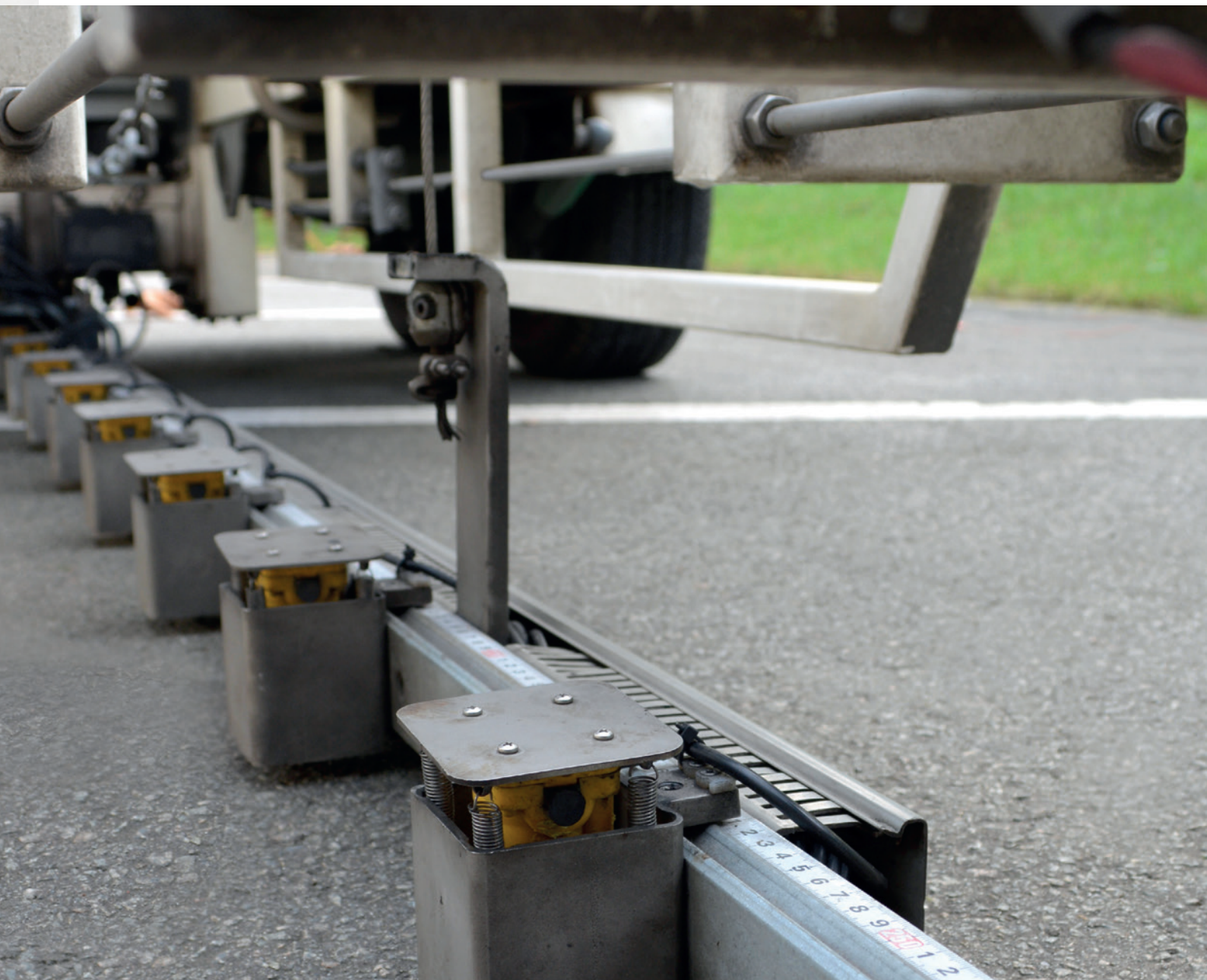




Centre de recherches routières
Ensemble pour des routes durables



4

Instrument pour les gestionnaires routiers

FWD

Mesure des caractéristiques structurelles des chaussées

Le Centre de recherches routières (CRR) est un institut de recherche impartial fondé en 1952. Il exerce son activité au bénéfice de tous les partenaires du secteur routier belge. Le développement durable par l'innovation est le fil conducteur de toutes les activités du CRR. Le CRR partage ses connaissances avec les professionnels du secteur routier entre autres par le biais de ses publications (codes de bonne pratique, synthèses, comptes rendus de recherche, méthodes de mesure, fiches d'information, Newsletter CRR, Dossiers, rapports d'activités). Nos publications sont largement diffusées en Belgique et à l'étranger auprès de centres de recherche scientifique, d'universités, d'institutions publiques et d'instituts internationaux. Plus d'informations sur nos publications et activités: www.crr.be

Avis au lecteur

Bien que cette publication ait été rédigée avec le plus grand soin possible, des imperfections ne sont pas exclues. Ni le CRR, ni ceux qui y ont collaboré ne peuvent être tenus pour responsables des informations fournies qui le sont à titre purement documentaire et non contractuel. Cette publication consiste en une série de fiches, fournissant aux gestionnaires routiers des informations détaillées sur différents outils et méthodes de diagnostic pouvant mener à des mesures d'entretien et/ou de renforcement rationnelles et objectives.

Instruments pour les gestionnaires routiers (pour une approche globale, objective et rationnelle de la gestion des voiries). Fiche 4 FWD – Mesure des caractéristiques structurelles des chaussées / Centre de recherches routières. Bruxelles : CRR, 2023, 14 p. (Synthèse ; SF 48-Fiche 4 – rév. 2).

Dépôt légal: D/2019/0690/3

© CRR – Tous droits réservés.

Editeur responsable: Annick De Swaef, Boulevard de la Woluwe 42, 1200 Bruxelles.

Fiche 4 – **FWD**
Mesure des caractéristiques structurelles
des chaussées

Centre de recherches routières

Etablissement reconnu par application de l'arrêté-loi du 30 janvier 1947

Bruxelles

2023



✓ OUTIL

✓ AU NIVEAU DU PROJET

✓ AU NIVEAU DU RÉSEAU

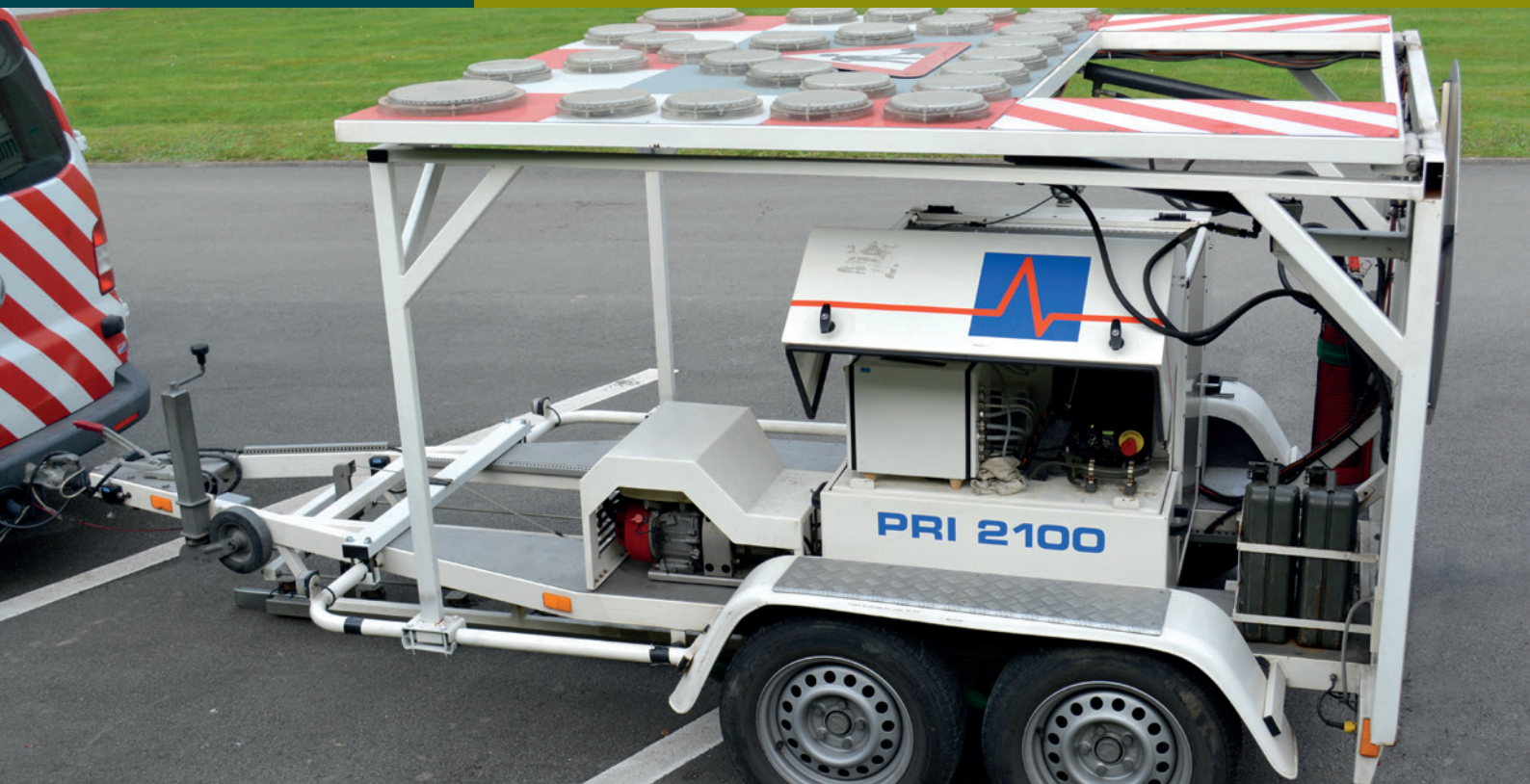
SURFACE DE LA CHAUSSÉE

✓ STRUCTURE DE LA CHAUSSÉE

DO-IT-YOURSELF

Contact

Alain Van Buylaere: +32 10 23 65 42;
a.vanbuylaere@brrc.be



4 | FWD

Mesure des caractéristiques structurelles des chaussées

Objectif

Lorsqu'il est soumis à une pression, un bloc de mousse se déforme. Lorsque la pression est relâchée, il reprend sa forme. La déformation du bloc de mousse sera proportionnelle à la pression exercée. Ceci en définit la rigidité. Cette rigidité peut être mesurée, tout comme peut l'être celle des routes.

Sous l'influence du trafic (lourd), un revêtement routier fléchit légèrement. Ce fléchissement (déflexion) n'est que de quelques centièmes ou millièmes de mm et est invisible à l'oeil nu. Lorsque la pression est retirée, le revêtement reprend sa forme initiale (déformation élastique). Le deflectomètre à masse tombante (*Falling Weight Deflectometer* – FWD) permet de mesurer la forme (bassin de déflexion) et l'ampleur (déflexion maximale) de cette déformation temporaire.

La déflexion donne une image de la portance d'une route, ce qui revient à déterminer si la route est suffisamment résistante pour supporter sans dégradation précoce le nombre de véhicules estimé au cours de sa durée de vie prévue. Sur base de ces mesures, on peut alors estimer la durée de vie résiduelle d'une route et détecter des zones homogènes (dont le comportement structurel est identique).

Principe de fonctionnement – Méthodologie

Les matériaux se déforment lorsqu'ils sont mis sous pression. En associant la pression à la déformation résultante, un matériau peut ainsi être caractérisé.

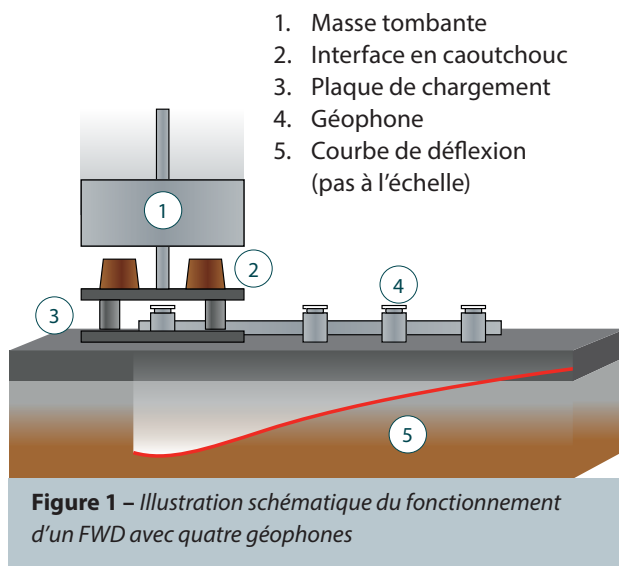
A partir d'un véhicule à l'arrêt (la plupart du temps dans la frayée droite ou au milieu d'une voie de circulation), on laisse tomber une masse sur un disque métallique d'un diamètre de 30 cm posé sur le revêtement. Aussi bien le poids (plusieurs dizaines de kg) que la hauteur de chute sont réglables. Des interfaces en caoutchouc calibrées au-dessus du disque métallique amortissent le coup pour simuler la mise en charge progressive du revêtement au passage d'un poids lourd à une vitesse approximative de 60 km/h. Les interfaces contribuent également à éviter

des dégradations à la surface du revêtement dues à l'impact. Sur l'appareil du CRR, neuf capteurs, appelés géophones, enregistrent le fléchissement temporaire du revêtement. Le premier géophone se trouve au centre d'impact. Les huit autres sont disposés à distances fixes et de plus en plus éloignées du centre d'impact. La distance maximale jusqu'au centre d'impact s'élève à 2,4 m. Une cellule de force au-dessus du disque métallique mesure la force d'impact réelle sur la surface. Ces données permettent de caractériser le bassin de déflexion (comparable à une zone de dépression) de la chaussée. Pour les mesures au FWD, il s'agit en fait d'une demi-courbe de déflexion.

La déformation de la chaussée dépend des caractéristiques de

la structure routière, de la masse tombante, de la hauteur de chute et des caractéristiques des interfaces en caoutchouc. L'opérateur peut faire varier ces paramètres pour soumettre pendant une durée déterminée le revêtement à une pression contrôlée, par exemple une force de 65 kN et une durée de 25 ms.

La figure 4 illustre un tableau reprenant la force et la durée de la charge pour différentes combinaisons de masse tombante et hauteur de chute, avec les mêmes interfaces en caoutchouc.



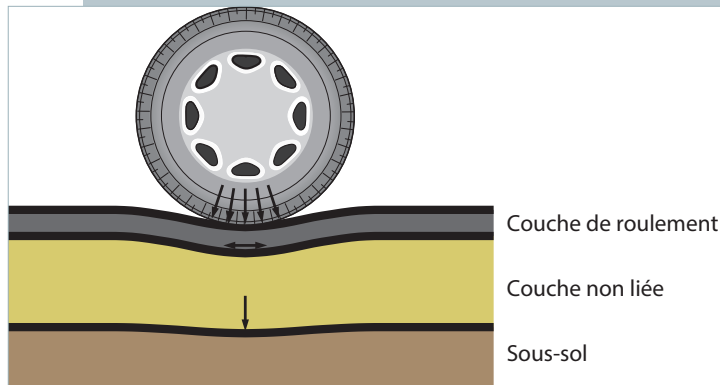


Figure 3 – Simulation FWD

2 Soft and 2 Hard Buffer.

Falling Height.

Weight layer	100	200	300	400	Max.
15	86/35	130/34	172/33	211/30	
13	79/33	121/32	156/30	190/29	
11	73/30	109/30	142/29	168/28	
9	71/28	101/27	126/27	149/27	
7	68/25	98/25	118/24	137/24	
5	65/22	93/22	114/22	128/21	
3	60/19	87/19	104/18	120/18	
2					

kN/mSek.

Figure 4 – Tableau reprenant la force et la durée de la charge pour différentes combinaisons de masse tombante et hauteur de chute, avec les mêmes interfaces en caoutchouc

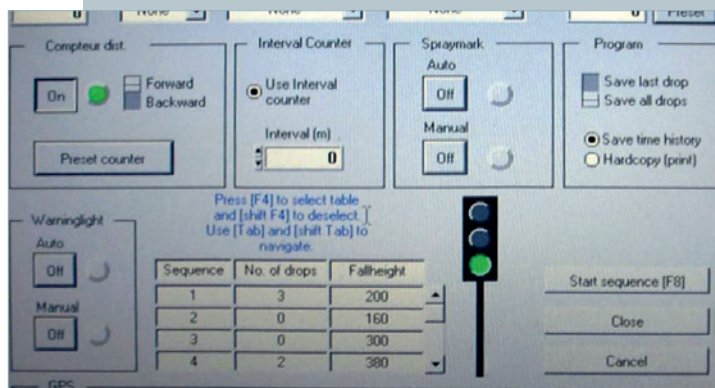


Figure 5 – Interface logicielle pour la gestion du FWD pendant les mesures

Résultats

Bassin de déflexion

Les valeurs mesurées sont présentées sous forme de tableau dans un fichier texte (figure 7) et peuvent être mise en graphique sous la forme d'une demi-bassin de déflexion. Chaque courbe est déterminée par autant de points qu'il y a de géophones équipant le FWD (neuf dans le cas de l'appareil du CRR).

Dans cet exemple, la mesure a été réalisée à 487 m du début de la section de route, avec deux impacts successifs (drops) au même endroit. La déflexion maximale s'élève à 116 μm . Le géophone le plus éloigné du centre d'impact (D(9)) a enregistré une déflexion de 24 μm . La pression exercée à une force de 65,32 kN a atteint 924 kPa. La charge exercée sur la chaussée a duré 26,24 ms (*pulse time*).

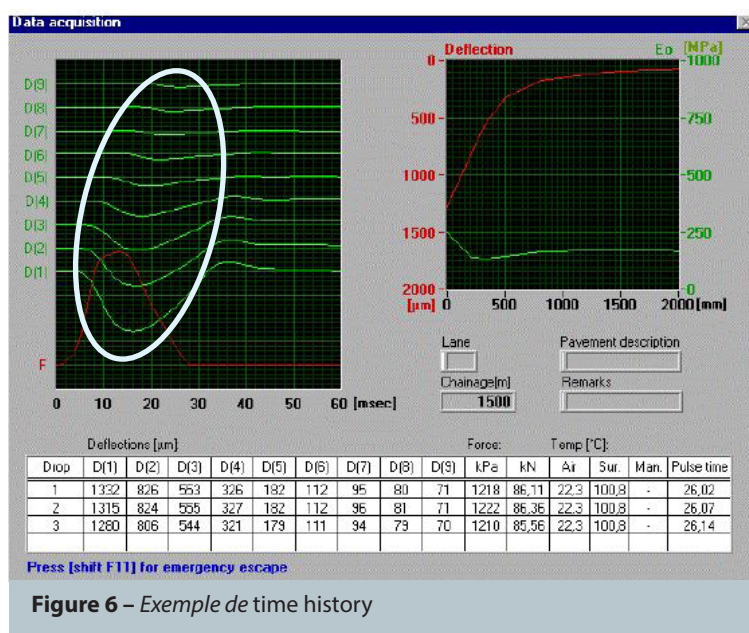
Time history des signaux du géophone

La *time history* est un fichier binaire avec pour chaque point de mesure tous les signaux enregistrés par le géophone pendant 60 ou 120 ms (au choix). Ces valeurs peuvent être replacées dans un graphique (figure 6). Elles sont aussi très utiles pour une étude plus approfondie, par exemple sur la diffusion de l'énergie dans le revêtement, le détachement des couches, etc.

Déflexion maximale et zones homogènes

A l'aide de géophones, le FWD mesure la déflexion maximale en différents points d'impact (généralement tous les 50 m ou 100 m) d'une (section de) route à étudier. Sur base de ces déflexions maximales (figure 8), la route est subdivisée en zones homogènes. Il s'agit de sections de route avec des valeurs de déflexion maximales très semblables et/ou présentant un comportement statistique «monotone».

La méthode de subdivision en zones homogènes repose sur des écarts cumulés (figure 9). Elle est recommandée et décrite dans le rapport final de l'Action COST 336.



\$2
Chainage[m]..... 487
Voie..... None
Revêtement..... None
Remarque..... None
Position of Drop: Longitude: Not Available, Latitude: Not Available, Altitude: Not Available

\$3
Sequence: 1/1 No. of drops: 2 Fallheight: 110 Time: 10:58

Drop	D(1)	D(2)	D(3)	D(4)	D(5)	D(6)	D(7)	D(8)	D(9)	kPa	kN	Air	Sur.	Man.	Pulse time
1	115	98	81	66	54	43	36	28	24	923	65,22	14,0	15,3	17,6	26,24
2	116	98	81	66	54	43	36	28	23	924	65,32	14,0	15,4	17,6	26,19

Figure 7 – Exemple de tableau avec valeurs enregistrées

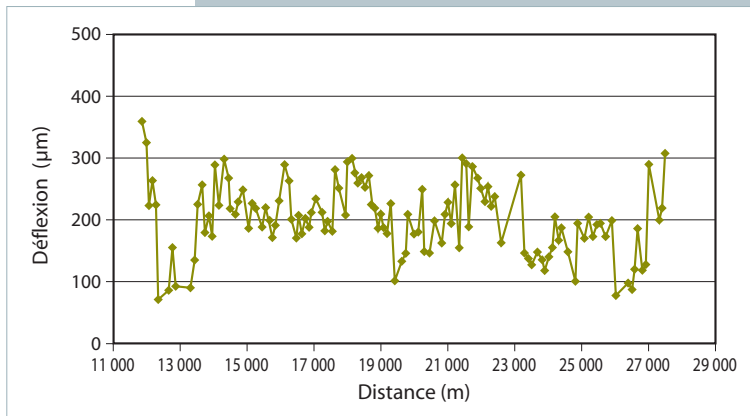


Figure 8 – Déflexion maximale sous une charge de 65 kN

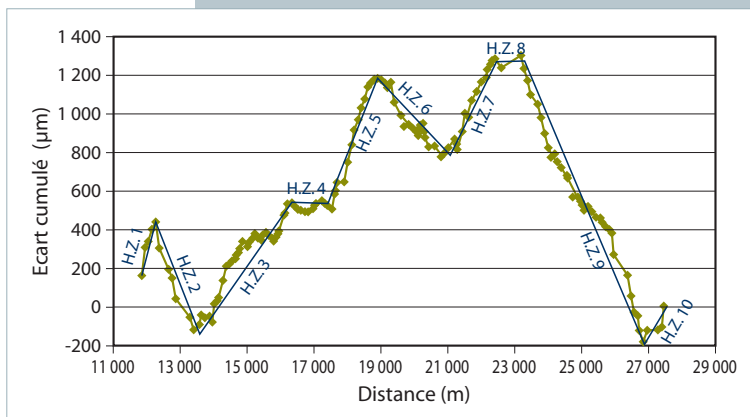


Figure 9 – Définition de zones homogènes sur base du principe écart vs. distance

Limites d'acceptation

Belgique

En Belgique, aucune limite d'acceptation à proprement parler n'est fixée. Les résultats de mesure doivent être lus à la lumière des performances visées, par exemple par rapport au nombre total de poids lourds sur la route tout au long de sa durée de vie. Ci-après sont données quelques valeurs indicatives.

	Déflexion (1/100 mm)
Autoroutes	< 10
Routes nationales à 1 et 2 chiffres	< 20
Autres routes	< 40

A titre d'exemple et exception faite des cas particuliers, le tableau ci-dessus permet de déduire qu'une autoroute affichera un bon score lorsque la déflexion maximale est inférieure à dix centièmes de mm. Ce score repose uniquement sur la rigidité de la structure et ne tient pas compte d'autres données d'analyse.

France

En France, des tableaux ont été dressés pour chaque type de chaussée (souple, semi-rigide, rigide) dans lesquels les seuils de déflexion et les classes de trafic (D) sont liés à un score BON, MOYEN ou MAUVAIS.

Classes	≤ D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
Seuils de déflexion caractéristiques (1/100 mm)	0 - 44	45 - 74	75 - 99	100 - 149	150 - 199	200 - 299	≥ 300
Niveau général de performance en fonction de la classe de trafic							
T1 - T0	Bon	Moyen	Mauvais				
T3 - T2	BON		MOYEN		MAUVAIS		

Source: **R. Kobisch**

Durabilité structurelle des chaussées: pathologie et entretien

Séminaire Sétra, LCPC, CFTR, 9 septembre 2008

http://media.lcpc.fr/ext/pdf/sem/2008_dscpe/2008_dscpe_kobisch_guide_renforcement_chaussees.pdf

Figure 10 – Exemple pour une chaussée souple

Performances

Généralités

Le FWD peut être utilisé sur tout type de structure routière (souple, semi-rigide et rigide) et de route.

L'appareil peut aussi être installé très précisément au droit d'un point en particulier.

Vitesse d'auscultation

Environ 1,30 min par point de mesure, y compris le déplacement vers le point de mesure suivant.

Rendement journalier moyen

- Autoroutes: 15 à 20 km, avec un point de mesure tous les 100 m.
- Autres routes: dépend du nombre, de la longueur et de la répartition des sections de route à étudier, ainsi que du nombre de points de mesure pour chaque section de route.

Portée de mesure et résolution

Portée de mesure du géophone: 0 à 2 200 μm .

Résolution du géophone: 1 μm .

Conditions climatiques

D'un point de vue technique, le FWD peut être utilisé quelles que soient les conditions climatiques.

Toutefois, le CRR recommande que, durant les quelques jours qui précèdent la mesure, la température moyenne journalière (de l'air), ne soit pas inférieure à 5 °C ni supérieure à 25 °C.

Restrictions

- Par défaut, un FWD ne fournira pas de calcul direct du rayon de courbure.
- Lorsque utilisé au niveau «projet», un FWD peut significativement réduire l'intervalle de ses stations de mesure (tous les mètres par exemple). Bien entendu, cela affectera fortement son rendement journalier.



Complémentarité des résultats de mesure

Tout comme un diagnostic médical, un diagnostic de l'auscultation d'une route repose de préférence sur plusieurs facteurs d'analyse.

Après un rapide traitement des données, les mesures au FWD fournissent des informations interprétables, concrètes et exploitables (déflexion maximale et zones homogènes).

Tout comme pour la plupart des appareils d'auscultation routière, il peut être utile de comparer les résultats obtenus à ceux des autres techniques ou méthodes:

- mesures au géoradar;
- carottages dans chaque zone homogène détectée par le FWD;
- calculs inverses pour évaluer le module d'élasticité des couches de la chaussée;
- calcul de la durée de vie résiduelle de la chaussée sur base de la déflexion caractéristique de chaque zone homogène.

Techniques et méthodes apparentées

- Poutre Benkelman.
- Défectographe Lacroix.
- TSD (*Traffic Speed Deflectometer*).
- Dynaplaque.
- Défectomètre à masse tombante légère (*Light Falling Weight Deflectometer* – LFWD).
- RAPTOR.

Sécurité – Signalisation

En Belgique, ce sont les mesures régionales minimales pour la signalisation d'un chantier mobile de catégorie 6 qui sont d'application.

Sur les autoroutes et routes à deux fois deux bandes, le CRR recommande de faire suivre le FWD par deux absorbeurs de chocs, à une distance de respectivement quelques dizaines de mètres et 100 mètres.

Application

Type de route	Niveau du projet	Niveau du réseau
Autoroutes et routes principales	✓	✓
Voiries communales et urbaines	✓	✓
Trottoirs		
Pistes cyclables		
Parkings	✓	✓
Routes privées	✓	✓
Zones portuaires	✓	✓
Pistes aéroportuaires	✓	✓

Bibliographie

Van Geem, C. (2017)

Influences of measurement conditions on structural indicators obtained from FWD data.

In : Proceedings of the 10th international conference on the bearing capacity of roads, railways and airfields (BRRCA 2017), Athens, June 28-30, 2017. p. 573-578. Boca Raton (USA) : CRC Press. ISBN 978-1-13-829595-7.

Van Geem, C. & Grégoire, C. (2013)

Rehabilitation of roads containing cobblestone pavements covered with a bituminous layer.

In : Proceedings of the 9th international conference on the bearing capacity of roads, railways and airfields; Trondheim, Norway, June 25-27, 2013. 10p. S.l. : Akademinska Publishing.

Van Geem, C., Nigro, P. & Berlémont, B. (2015)

The use of deflection measurements in pavement management of the primary road network of Wallonia, Belgium.

In : Proceedings of the 9th international conference on managing pavement assets (ICMPA9), Alexandria, USA, May 18-21, 2015. 13p. Blacksburg (USA) : Virginia Polytechnic Institute and State University – Transportation Institute.

Perez, S. & Van Geem, C. (2010)

Evaluation by FWD and faultimeter of concrete slabs stability.

In : The answer to new challenges : abstracts of the 11th international symposium on concrete roads, Sevilla, October 13-15, 2010. 11p. Brussels : EUPave.

Perez, S. & Van Geem, C. (2010)

FWD on concrete roads : load transfer efficiency, faulting and bearing capacity.

In : Structural condition assessment : papers & presentations of the 6th European FWD User Group meeting, Sterrebeek, June 10-11, 2010. 4p. Brussels : Belgian Road Research Centre (BRRC).

Perez, S., Beeldens, A., Maeck, J., Van Geem, C., Vanelstraete, A., Degrande, G. Lombaert, G. & De Winne, P. (2009)

Evaluation à l'aide du FWD et du faultimètre des stabilisations de dalles en béton.

In : 21ième congrès belge de la route 2009, Gent, septembre 22-25, 2009. 10p. Bruxelles : Association Belge de la Route (ABR).

Van Geem, C., Pilate, O. & David, O. (2009)

Un cas pratique : l'évaluation en fonction des performances attendues, d'un projet de réhabilitation d'un parking et de la voirie d'une station service autoroutière.

In : 21ième congrès belge de la route 2009, Gent, septembre 22-25, 2009. 10p. Bruxelles : Association Belge de la Route (ABR).

Van Geem, C. & De Myttenaere, O. (2009)

The premature failure of slab pavements at heavily trafficked industrial sites.

In : Proceedings of the 8th international conference on the bearing capacity of roads, railways and airfields (BCR2A'09), Urbana-Champaign, USA, June 29-July 2, 2009. p. 963-972. Abingdon (UK) : Taylor & Francis.

Kobisch, R. (2008)

Durabilité structurelle des chaussées : pathologies et entretien : guide technique diagnostic et conception des renforcements de chaussées.

In : Séminaire Sétra, LCPC, CFTR, septembre 9, 2008.

European Commission – Directorate General Transport (1997)

COST 325 : new road monitoring equipment and methods : final report of the action.

Brussels : EC. ISBN 978-92-8280-307-3.

European Commission – Directorate General Transport (2005)

COST 336 : use of falling weight deflectometers in pavement evaluation : final report of the action.

Brussels : EC. second edition.

Liste des fiches descriptives

1. **APL** – Mesure de l'uni longitudinal des chaussées
2. **Cartographie** – Pour un diagnostic clair
3. **FPP** – Mesure de l'uni longitudinal des pistes cyclables
4. **FWD** – Mesure des caractéristiques structurelles des chaussées
5. **GPR** – Radiographie des structures routières
6. **SKM** – Mesure de l'adhérence des chaussées
7. **Qualidim** – Calcul de la durée de vie résiduelle des chaussées
8. **Inspection visuelle pour la gestion des réseaux de voirie des villes et des communes**
9. **Indicateurs de performances structurelles pour la gestion des chaussées**
10. **ViaBEL** – Logiciel pour la gestion des chaussées
11. **CPX** – Mesures du bruit selon la méthode *Close ProXimity*
12. **Mesure de la macrotecture et de la mégatecture des revêtements à l'aide du profilomètre laser**
13. **Observation du trafic et de conflits à l'aide de caméras**
14. **Analyse du trafic par tubes pneumatiques**
15. **Contrôle géométrique des dispositifs surélevés sur la voie publique: ralentisseurs de trafic et plateaux**
16. **Analyse du trafic par radar Doppler**
17. **Mesure de la rugosité à l'aide du *Skid Resistance Tester* (pendule SRT)**
18. **Chaise de mesure** – Outil pour l'évaluation du confort des revêtements piétons
19. **Fast-FWD** – Mesure des caractéristiques structurelles des chaussées