



Centre de recherches routières
Ensemble pour des routes durables



19 | Instruments pour les gestionnaires routiers

Fast-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 19 Fast-FWD – Mesure des caractéristiques structurelles des chaussées / Centre de recherches routières. Bruxelles : CRR, 2023, 14 p. (Synthèse ; SF 48-Fiche 19 – 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 19 – **Fast-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



19 | Fast-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 relâchée, le revêtement reprend sa forme initiale (déformation élastique). Le déflectomètre à masse tombante (*Falling Weight Deflectometer* – FWD) permet de mesurer la forme (bassin de déflexion) et l'amplitude (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. La force d'impact peut être ajustée entre 4 et 120 kN. 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'un demi-bassin 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.

Dans le cas du Fast-FWD et contrairement à notre FWD, seule la hauteur de chute de la masse sera généralement ajustée afin d'obtenir la force d'impact souhaitée. Ce processus peut être réalisé automatiquement par le système de contrôle du Fast-FWD.

La figure 4 illustre les différentes gammes de force d'impact que l'on peut atteindre en fonction de la valeur de la masse de chute. Ensuite, pour une même valeur de masse de chute, la force exacte sera atteinte en ajustant la hauteur de chute.

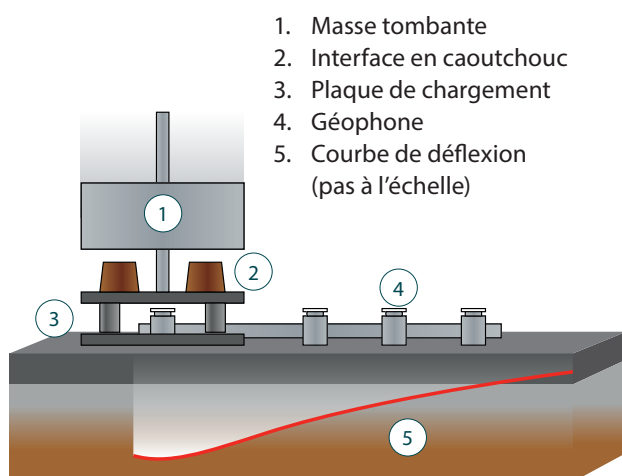


Figure 1 – Illustration schématique du fonctionnement d'un FWD avec quatre géophones

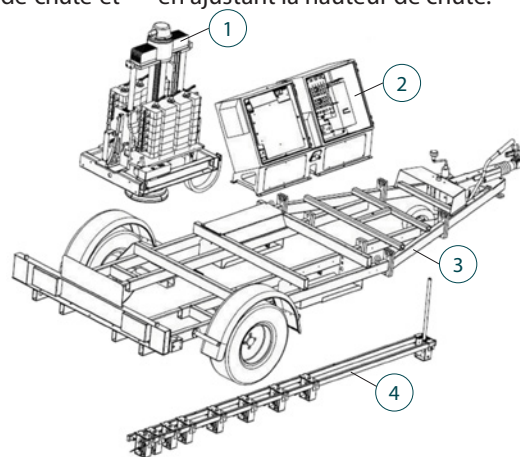


Figure 2 – Dispositif du Fast-FWD du CRR, d'après Dynatest, 2019, p. 1-20

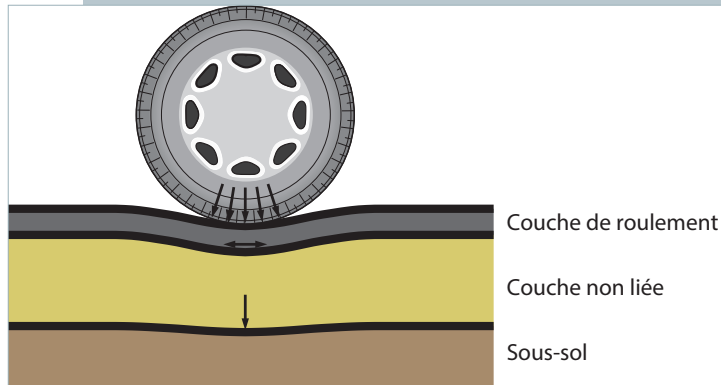


Figure 3 – Simulation FWD

| Mass of Drop Weight | | Approx. (Peak) Load Ranges | | |
|---------------------|-------|----------------------------|--------|---------------|
| kg | (lbs) | kPa/300 | kN | lbf |
| 350 | (770) | 510-1700 | 36-120 | 8,000 -27,000 |
| 250 | (550) | 340-1200 | 24-85 | 5,300-19,000 |
| 150 | (330) | 170-640 | 12-45 | 2,600-10,000 |
| 50 | (110) | 60-170 | 4-12 | 1,000-2600 |

Figure 4 – Tableau faisant correspondre les différentes gammes de force d'impact que l'on peut obtenir pour quatre valeurs différentes de poids de la masse tombante. (Dynatest, 2019, p. 5-56)

| Action [F2] | Distance [F3] | Bearings [F4] | X [F5] | Y [F6] | Beacon | | | | | | |
|-------------|---------------|---------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| kPa | mm | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 | D6 | D7 | D8 | D9 | |
| 1 | 1201 | 84.91 | 926.9 | 827.5 | 781.2 | 718.2 | 638.0 | 606.8 | 368.4 | 226.0 | 83.3 |
| 2 | 1673 | 118.29 | 1300.1 | 1167.1 | 1092.4 | 1006.6 | 906.3 | 697.8 | 513.0 | 312.1 | 117.4 |

Figure 5 – Interface logicielle pour la gestion du Fast-FWD pendant les mesures (Dynatest, 2019, p. 9-73)

Résultats

Bassin de déflexion

Les résultats sont enregistrés dans un fichier ACCESS mais sont également exportables en fichiers textes tel qu'illustré à la figure 7 et peuvent être mis en graphique sous la forme d'un demi-bassin de déflexion. Chaque courbe est déterminée par autant de points qu'il y a de géophones équipant le Fast-FWD (neuf dans le cas de l'appareil du CRR).

Dans l'exemple présenté à la figure 6, le revêtement a été chargé avec une valeur maximale de 1688 kPa soit 120 kN durant un temps (*pulse time*) de moins de 30 ms et la valeur de déflexion maximale, c.-à-d. au centre d'impact, à atteint 1298 μm .

Time history des signaux du géophone

Lors de la mesure, le Fast-FWD enregistre durant 60 ms l'ensemble du signal provenant de chacun des neuf capteurs (géophones) de même que celui provenant de la cellule de force. L'ensemble de ces données représente le *Time history*. 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

Sur réseau structurant, le Fast-FWD procède à un relevé de mesure typiquement tous les 50 ou 100 m. 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.

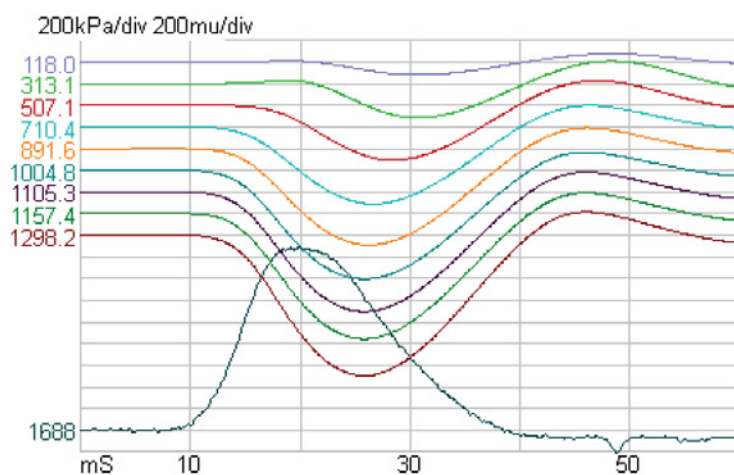


Figure 6 – Exemple de time history (Dynatest, 2019, p. 9-78)

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

<https://docplayer.fr/52183939-Diagnostic-et-conception-des-renforcements-de-chaussees.html>

Figure 10 – Exemple pour une chaussée souple

Performances

Généralités

Le Fast-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 sur la chaussée.

Vitesse d'auscultation

Comparé à son prédécesseur, le Fast-FWD est près de deux fois plus rapide et nécessite 45 secondes par point de mesure, en ce inclus le déplacement vers le point suivant.

Rendement journalier moyen

- Autoroutes: 30 à 60 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.
- Lorsque utilisé au niveau "projet" un Fast-FWD peut significativement réduire l'intervalle de ses stations de mesure (tous les mètres par exemple). Bien entendu, cela affectera fortement son rendement journalier.

Portée de mesure et résolution

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

Résolution du géophone: 1 μm .

Ces caractéristiques permettent au Fast-FWD de réaliser des mesures tant sur des revêtements souples (ex. certains revêtements bitumineux) que sur des revêtements rigides (ex. béton de ciment).

Conditions climatiques

D'un point de vue technique, le Fast-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 Fast-FWD ne fournira pas de calcul direct du rayon de courbure.

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 | ✓ | ✓ |

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;
- détection de fissures (inspection visuelle) en surface de revêtement pouvant indiquer une faiblesse structurelle de la chaussée.

Techniques et méthodes apparentées

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

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 Fast-FWD par deux absorbeurs de chocs, à une distance de respectivement quelques dizaines de mètres et 100 mètres.



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.

Dynatest. (2019).

Dynatest FastFWD tst systems: Owner's manual (version 2.0.1.1).

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 macrotexture et de la mégatexture 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