

Le CRR mesure la déflexion des routes

Portance d'une route: attentes d'un usager de la route et d'un gestionnaire routier

Une route doit permettre aux personnes de se déplacer et aux marchandises d'être transportées confortablement et en toute sécurité pendant des décennies dans un grand nombre de véhicules. La portance de la structure routière doit être suffisante pour supporter les lourdes charges du trafic. Par conséquent, dans la phase de conception, la structure routière est dimensionnée pour le nombre prévu de véhicules pendant la durée de vie souhaitée de la route. La durée de vie théorique d'une route est généralement de vingt, trente ou quarante ans. Le trafic qui empruntera la route pendant cette période doit être prévu, généralement sur la base de comptages récents du trafic et d'une hypothèse de croissance annuelle du trafic au cours des décennies suivantes.

Les routes s'usent et les deux facteurs principaux de cette usure sont les conditions météorologiques et la charge du trafic. Lorsque le trafic réel correspond au trafic prévu dans la phase de conception, la structure de la route sera suffisamment solide pour supporter le trafic. Cependant, les matériaux utilisés dans la structure routière s'useront sous les charges imposées par les véhicules: les revêtements bitumineux peuvent se fissurer, des ornières peuvent se former, des fondations liées au ciment peuvent aussi se fissurer. La présence d'eau dans une fondation routière réduira la portance. Une mauvaise adhérence entre les différentes couches de la structure réduit la transition de la charge du trafic vers les parties inférieures de la structure routière et provoque un vieillissement accéléré des couches supérieures. Les calculs effectués lors de la phase de conception tiennent donc compte des déformations et des contraintes dues à la charge du trafic à différentes profondeurs, estimées critiques, de la structure routière, sur la face inférieure ou supérieure des différentes couches.

Le chargement de la route par un essieu provoque une petite déflexion temporaire de la route. Les mesures de déflexion mesurent la déflexion de la surface de la route causée par une charge contrôlée de la route. L'interprétation de

la courbe de déflexion fournit des informations intéressantes sur la portance d'une route existante.

Appareils traditionnels pour les mesures de déflexion

Pour les mesures de déflexion d'une route, il existe un grand nombre d'appareils différents.

- La «poutre de Benkelman» est une ancienne valeur parmi les appareils: une poutre avec un détecteur mobile est placée sur la route, un camion roule lentement en marche arrière à côté de la poutre, ce qui provoque le fléchissement de la surface de la route. Le détecteur mesure la déflexion. Cette mesure est très contrôlée mais aussi très lente. Le camion roule si lentement que la charge est presque statique.
- En bref, le deflectographe Lacroix français et sa version britannique utilisent la technique de mesure de la poutre de Benkelman montée sur un camion. Ces appareils peuvent prendre des mesures à une vitesse de 4 à 8 km/h tous les 5 à 10 m.
- Le Curviamètre aborde la question différemment avec trois géophones montés sur une chaîne: le mouvement contrôlé de la chaîne place un géophone à un endroit fixe sur la chaussée tandis que le camion assure une charge de passage sur la route. Les trois géophones mesurent à tour de rôle un point. Ainsi, la route est échantillonnée à 18 km/h tous les 5 m. Le Curviamètre a longtemps été le véhicule le plus rapide pour les mesures de déflexion, une dizaine ont été construits et sont toujours utilisés en Espagne, en France et en Amérique du Sud. L'inconvénient de toutes ces techniques est qu'elles ne permettent pas de mesurer avec suffisamment de précision les très petites déflexions des routes en béton.
- Le deflectomètre à masse tombante (FWD) est un appareil de mesure qui existe aussi depuis très longtemps. Il est maintenant utilisé dans le monde entier sur les routes et les aéroports et est considéré comme une nouvelle référence. Plusieurs centaines sont utilisés, dispersés sur toute la planète. La mesure avec un FWD se fait à l'arrêt: un

poids qui tombe transmet une force à la route pour simuler le passage d'un véhicule tandis que sept géophones ou plus, à différentes distances du lieu de l'impact, mesurent simultanément la déflexion de la route dans un court intervalle de temps.

- Le *Heavy Weight Deflectometer* (HWD) est une variante qui peut exercer des forces plus importantes et qui est utilisée sur les aéroports. Les géophones du FWD sont dix fois plus sensibles que ceux du Curviamètre et peuvent donc être utilisés sur des routes en béton. Vu que les mesures sont effectuées à l'arrêt, le FWD est un appareil de mesure idéal pour effectuer des mesures très spécifiques au niveau du projet. Outre l'évaluation de la portance, le FWD et le HWD sont également utilisés pour l'évaluation du transfert de force aux joints entre deux dalles de béton. Une fois de plus, l'inconvénient est que l'échantillonnage d'un point de mesure prend vite plusieurs minutes.
- Le *Fast FWD* est une adaptation moderne du FWD classique, qui permet de travailler deux à trois fois plus vite.

Mesures de déflexion à la vitesse du trafic

Tous ces appareils de mesure gênent le trafic. Cependant, pour pouvoir effectuer des mesures de déflexion avec un véhicule circulant dans le trafic, il faut utiliser des capteurs sans contact. Depuis les années 1990, des lasers ont été testés à cet effet avec un succès variable: un prototype du *Rolling Wheel Deflectometer* (RWD) est opérationnel aux États-Unis. Au début de ce siècle, le *Traffic Speed Deflectometer* (TSD) a été introduit sur le marché par la société danoise Greenwood. Le TSD utilise une série de lasers Doppler qui mesurent la vitesse à laquelle la route fléchit sous la charge du camion.

Actuellement 16 TSD ont été mis en service dans le monde, notamment en Allemagne, en Italie, en Pologne, au Danemark et en Angleterre, ainsi qu'en Australie et en Nouvelle-Zélande, en Afrique du Sud, aux États-Unis et en Chine. Ils font un rapport tous les 10 m et roulent à des vitesses allant jusqu'à 80 km/h. La version la plus récente des lasers Doppler devrait

permettre de mesurer et de signaler de plus petites déflexions à des distances plus courtes que tous les 10 m, mais cela est encore à l'étude et en phase expérimentale. Il y a quelques années, la société Dynatest a développé le Raptor, avec un type de laser différent: les mesures de trois lasers ligne consécutifs se superposent et une méthode de calcul ingénieuse permet d'obtenir des déflexions. Le Raptor a maintenant été repris par la société Ramböhl et il reste à voir si cette technologie sera utilisée plus souvent.

Mesures de déflexion par le CRR

Équipement

Le CRR réalise déjà depuis longtemps des mesures de déflexion: dans un premier temps avec une poutre de Benkelman, plus tard avec un déflectographe Lacroix de type long, qui a à son tour été remplacé en 1994 par le Curviamètre, mis hors service en 2019. En 2004, on a investi dans un déflectomètre à masse tombante (FWD) avec neuf géophones. Récemment, le CRR a fait l'acquisition d'un *Fast Falling Weight Deflectometer* (Fast-FWD, ci-dessous), également avec neuf géophones, qui remplacera prochainement le FWD vieux de 16 ans.

Le nouveau Fast-FWD est équipé d'un GPS intégré, qui permet de référencer plus facilement les résultats de mesure sur une carte s'il n'y a aucun point de réf-

rence (poteaux hectométriques, numéros de maison, poteaux d'éclairage, etc.) dans les environs. Cela se produit dans les espaces ouverts tels que les parkings et les zones industrielles. Une autre application du GPS est de pouvoir trouver rétrospectivement une position où une mesure FWD a été effectuée afin de procéder à un carottage.

Afin d'interpréter correctement les déflexions mesurées, il faut connaître la structure de la route: les épaisseurs de couches et les matériaux utilisés. Ces informations font souvent défaut pour les routes plus anciennes et il est utile de pouvoir mesurer les épaisseurs de couches. En combinant des mesures continues à l'aide d'un géoradar (*Ground Penetrating Radar*, GPR) avec quelques carottages bien ciblés, il est possible de se faire une bonne idée de la structure de la route. Nous constatons que les utilisateurs d'appareils de mesure des déflexions utilisent également le GPR. C'est également le cas du CRR, qui a investi dans son propre GPR depuis 2010 et s'est équipé d'antennes de différentes fréquences, adaptées à diverses situations et applications.

Qualité des mesures

Afin de pouvoir fournir des résultats de mesure de haute qualité, il est important de maîtriser entièrement l'appareil de mesure, de surveiller régulièrement la qualité de ses propres mesures, d'échanger des expériences avec d'autres utili-



sateurs d'un tel appareil de mesure et de participer à des mesures comparatives.

Les appareils de mesure étant plutôt rares, les utilisateurs cherchent à établir des contacts par-delà les frontières. Pour garantir la qualité des FWD, des campagnes de mesures comparatives sont organisées aux Pays-Bas (par le CROW, tous les deux ans), en Allemagne (par le BAST, chaque année) et en Angleterre (par TRL, tous les deux ans). En France, le STAC organise régulièrement des mesures comparatives pour les HWD et les FWD qui font des mesures dans les aéroports. Le CRR et l'AWV participent souvent aux mesures comparatives aux Pays-Bas. Le CRR a également participé à deux reprises à celles qui ont eu lieu en Allemagne et une fois en



France.

Echange d'expériences

Aux États-Unis, une réunion annuelle est organisée pour les utilisateurs de FWD. En Europe, neuf rencontres de ce type ont déjà été organisées par des utilisateurs européens au cours des vingt dernières années et le CRR a organisé l'une d'entre elles à Sterrebeek en 2010. Le site web du *European Users' Group* est hébergé par le CRR.

L'action COST 336, l'un des projets soutenus par l'UE qui rassemble les utilisateurs de FWD, a publié un document important contenant des recommandations détaillées pour l'utilisation du FWD. Le rapport est presque prénormatif et constitue la principale référence européenne pour les utilisateurs de FWD. Le CRR a également contribué à ce document.

Le DaRTS group (*Deflections at near Road Traffic Speed*) a été mis sur pied à l'initiative de TRL et *Highways England* en 2012 et a pour but de pouvoir suivre de près les développements les plus récents sur les mesures de déflexion. Le groupe s'est déjà réuni treize fois depuis sa création. Il s'agit d'un cercle sélectif composé de chercheurs, de prestataires de services et de gestionnaires routiers du monde entier, dont la plupart utilisent le TSD. Le groupe a été complété par des utilisateurs du Curviamètre et par le fabricant du Raptor. Le CRR a été invité dès la toute première réunion du DaRTS group, en raison de notre longue expérience avec le Curviamètre. Le DaRTS group se réunit souvent en marge de conférences ou d'ateliers auxquels les membres contribuent régulièrement par des présentations et des articles. L'intérêt des utilisateurs du TSD du DaRTS group pour les expériences avec le Curviamètre a incité le CRR à organiser un atelier sur le Curviamètre en 2015, comme déjà mentionné dans le Bulletin CRR 102. Notre présence au sein du DaRTS group nous permet de suivre les derniers développements dans le domaine des appareils pour les mesures de déflexion. Grâce à notre participation active au DaRTS group et au groupe d'utilisateurs européens de FWD, nous sommes connus dans le monde entier et sommes un interlocuteur privilégié.

Le FeHRL a lancé le groupe de travail *Bea- ring Capacity at Traffic Speed* (BeCaTS), qui

travaillera sur des documents standard sur l'utilisation d'appareils tels que le TSD et le Raptor et l'interprétation de leurs résultats de mesure. Une initiative semblable a également été lancée aux États-Unis avec le projet NCHRP 10-105 *Verification of Traffic Speed Deflection Devices' (TSDDs) Measurements*, principalement destiné aux TSD et RWD. La dernière réunion du DaRTS group a abouti à des échanges fructueux. Il existe également un groupe d'utilisateurs du TSD, qui échange des expériences directement liées à cet appareil de mesure spécifique.

Services au secteur

Chaque année, les gestionnaires routiers font appel au CRR pour évaluer la portance des routes. Les applications sont de nature diverse: tronçons de route dans des zones industrielles, gérées par des communes, des intercommunales ou *Brussels Airport Company*, routes autour des bâtiments d'une société de distribution, mesures dans les nouvelles installations WIM du SPW, sur les quais d'un terminal à conteneurs. Dans le passé, le SPW a également fait appel au CRR pour des mesures en vue de l'élaboration d'un cahier des charges pour des projets spécifiques.

Dans le cadre d'un projet PPP aussi, il a été demandé au CRR d'effectuer des mesures de déflexion et de les interpréter, afin de rendre compte de l'état *as-built* à l'AWV. Juste après la construction d'une nouvelle route, il est intéressant d'effectuer une première mesure qui fournit des données sur l'état initial de la route. Les mesures ultérieures, lorsque la structure routière est fatiguée, peuvent alors être comparées à l'état initial.

Au niveau du projet, les mesures de déflexion peuvent donner une indication des faiblesses locales dans la structure routière d'une route existante. De cette façon, le gestionnaire routier peut le cas échéant renforcer la fondation de manière ciblée. La possibilité de telles interprétations dépend fortement de la nature de la structure routière et nécessite une expertise.

Dans le passé, nous avons formé les futurs utilisateurs du FWD et aidé des étudiants en leur fournissant des informations et de la documentation. Le FWD a également été utilisé dans certains projets de recherche subventionnés. Le Fast-FWD

continuera à être utilisé à des fins de recherche à l'avenir.

Comme son prédécesseur, le Fast-FWD sera déployé au niveau du projet pour permettre aux gestionnaires routiers d'évaluer la portance restante de la structure routière existante. Le Fast-FWD peut être utilisé en combinaison avec un géoradar sur les petits réseaux routiers, tels que les zones industrielles, où circulent de nombreux poids lourds, afin d'évaluer rapidement l'ensemble du réseau routier et de fixer des priorités pour améliorer la portance. Dans le passé, nous avons également utilisé le FWD pour évaluer le transfert de charge au niveau des joints de routes en dalles de béton. Cette caractéristique des dalles de béton ne peut être confondue avec le battement des dalles, qui peut être mesuré à l'aide du Faultmètre. Les recherches menées par le CRR ont précédemment montré une conformité entre les deux mesures, mais pas une relation de 1 à 1, le transfert de charge et le battement étant deux phénomènes différents.

Le CRR est toujours disponible pour réaliser des mesures à l'aide du Fast-FWD pour le compte d'entrepreneurs, de gestionnaires routiers ou d'autres parties comme dans le cadre d'un contrat PPP.

Personne de contact pour commander les mesures

Tim Massart
010 23 65 43
t.massart@brrc.be



Plus d'informations sur le Fast-FWD et d'autres appareils pour les mesures de déflexion

Carl Van Geem
010 23 65 22
c.vangeem@brrc.be

