UN CAS PRATIQUE : L'EVALUATION EN FONCTION DES PERFORMANCES ATTENDUES, D'UN PROJET DE REHABILITATION D'UN PARKING ET DE LA VOIRIE D'UNE STATION SERVICE AUTOROUTIERE.

Dr. Carl VAN GEEM[1], Ir. Olivier PILATE[2], Ir. Olivier DAVID[3],

[1]Centre de Recherches Routières, [2]SAGREX, [3]FRANKI-GEOTECHNICS.

Les stations service autoroutières font souvent l'objet d'une concession. Un nouveau concessionnaire a demandé à la société Galère d'investiguer les causes des désordres importants visibles en surface et d'évaluer la situation pour l'ensemble des voiries réutilisées dans le nouvel aménagement. Il était du devoir de l'entrepreneur de donner une image objective des risques à vouloir appliquer le Cahier Spécial des Charges de façon rigoureuse. La société Galère a alors demandé au CRR d'évaluer les performances de la voirie, de déterminer la qualité résiduelle des différentes couches de la structure et d'évaluer la durabilité de la solution proposée. Le CRR a effectué des mesures au FWD, et a élaboré une proposition de renforcement à l'aide du logiciel DimMET©.

De servicestations langs autosnelwegen zijn vaak deel van een concessie. Een nieuwe concessiehouder heeft de onderneming Galère gevraagd om de oorzaken te onderzoeken van belangrijke oppervlakteschade en de situatie te evalueren voor alle in de nieuwe inrichting hergebruikte wegen. Het was de taak van de aannemer om een objectief beeld te geven van de risico's bij het rigoureus willen toepassen van het bijzondere bestek. De onderneming Galère heeft het OCW dan gevraagd de prestaties van de weg te evalueren, de resterende kwaliteit van de verschillende lagen te bepalen en de duurzaamheid van de voorgestelde oplossing te evalueren. Het OCW heeft gemeten met de FWD en dan met behulp van het computerprogramma DimMET© een voorstel voor versterking uitgewerkt.

1. Introduction

Les aires circulées (parkings et voiries) de stations service autoroutières font souvent l'objet d'un contrat de concession d'une durée d'environ 20 ans. Après cette période ce contrat est révisé, éventuellement même adjugé à un nouveau concessionnaire et les aires circulées font alors souvent l'objet d'une réhabilitation. Récemment certains contrats avaient atteint la date de renouvellement.

Pour l'une de ces stations service, le nouveau concessionnaire souhaitait une réhabilitation complète des aires circulées et proposait un mode de réparation, limité principalement au revêtement, dans le Cahier Spécial des Charges. L'entrepreneur devait garantir une durée de vie minimale de 20 ans avec la solution préconisée.
Des désordres de surfaces importants étant présents sur le revêtement avant travaux, le nouveau concessionnaire a demandé à l'entreprise adjudicataire, la société Galère SA, d'investiguer les causes et d'évaluer la situation pour l'ensemble des voiries existantes. Il était nécessaire de donner une image objective des risques inhérents à la solution du Cahier Spécial des Charges.
Quelques essais géotechniques ponctuels avaient été réalisés au préalable mais étaient insuffisants pour caractériser correctement l'état de la structure en place. Une méthode d'investigation fiable, rapide, non destructive et pouvant être appliquée sur les aires circulées tout en laissant celles-ci en service pendant les mesures, s'imposait. L'entrepreneur a alors demandé au Centre de Recherches Routières (CRR) d'évaluer les performances actuelles de la voirie, de déterminer la qualité résiduelle des différentes couches de la structure et, sur base de ces données, d'évaluer la durabilité de la solution proposée.

Une campagne d'essais au déflectomètre à masse tombante (Falling Weight Deflectometer, FWD) a été réalisée par le CRR ainsi qu'une interprétation des résultats de mesure. A partir de ceux-ci, une estimation des modules d'élasticité des différentes couches en place a été réalisée par la méthode dite du calcul inverse avec le logiciel de dimensionnement DimMET©.
Les calculs montraient une différence d'état structurel des aires circulées de chaque côté de l'autoroute mais une observation beaucoup plus importante était faite : les calculs révélaient des problèmes bien plus « structurels » à certains endroits que soupçonnés par le concessionnaire. Les techniques de réhabilitation prescrites semblaient insuffisantes pour le but recherché car les modules élastiques de la fondation étaient parfois insuffisants.
A l'aide du logiciel de dimensionnement, une proposition de renforcement a été élaborée sur base de différentes contraintes dues au trafic car les poids lourds n'avaient pas accès à toutes les zones du parking. Les exigences de portance pouvaient donc être différentes en fonction de l'utilisation prévue pour chaque zone, pour assurer la durée de vie souhaitée. Selon la destination de la voirie, un choix de structure et de type d'enrobé bitumineux de couche de roulement a été proposé.

Dans cette contribution nous présentons les démarches qui ont permis à l'entrepreneur d'analyser objectivement une situation préalablement inconnue et de faire part des résultats d'analyse au nouveau concessionnaire. Le chapitre 2 décrit la station service et les sites de mesure. Le chapitre 3 présente le FWD et son mode de fonctionnement. Le chapitre 4 introduit l'interprétation de mesures. Dans le chapitre 5 les résultats des mesures sur site et l'interprétation des mesures, après calcul inverse, sont présentés. Une proposition de renforcement est présentée au chapitre 6, et les conclusions, concernant le traitement de ce type de chantier, sont données au chapitre 7.

2. Présentation du cas

La concession est composée de deux stations service qui se trouvent au même endroit, des deux côtés de la voirie autoroutière (stations service Nord et Sud). Le schéma de (Fig. 1) présente le site avant réhabilitation. On y distingue les pompes à essence, les restaurants et les sections de mesure. Une partie des aires circulées est dédiée au parking pour poids lourds.

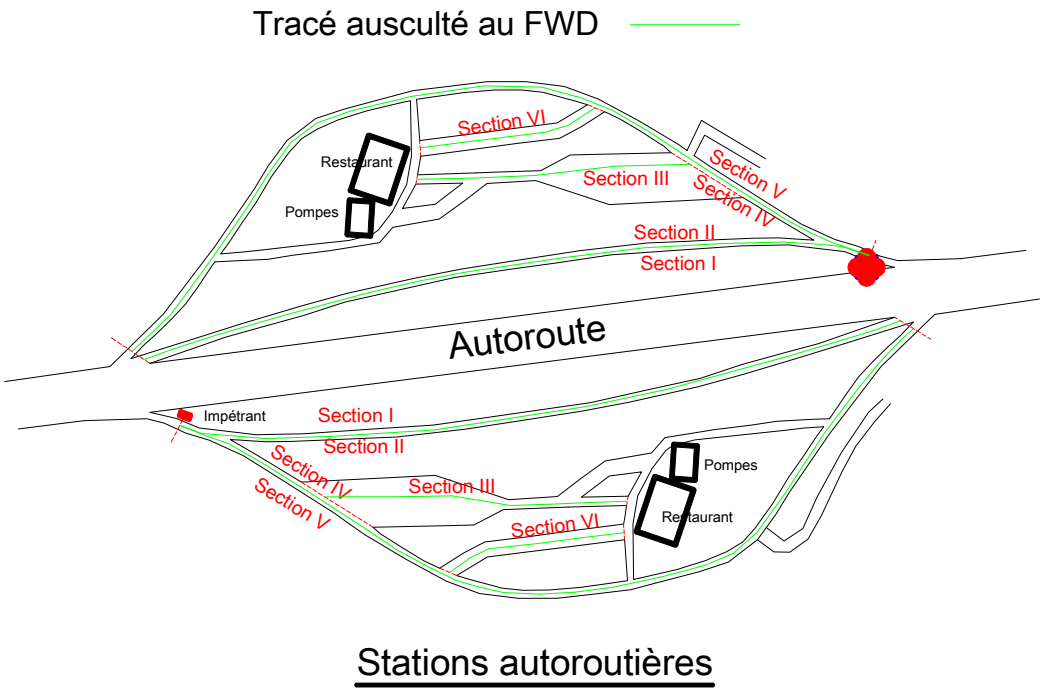


Figure 1 : Schéma du site.

Sur base des sondages réalisés avant l'établissement du Cahier Spécial des Charges, il peut être constaté que la structure de la route n'est pas identique sur l'ensemble du site. La structure de la station service Nord est composée des couches suivantes :

- Couche 1 (revêtement) : Revêtement en enrobé bitumineux, d'épaisseur de 180 mm, sauf pour une sous-section (la première partie de la section II) où l'épaisseur est de 140 mm ;
- Couche 2 (fondation) : Fondation non liée, d'épaisseur de 320 mm ;
- Couche 3 (sol) : Sol limoneux.

La structure de la station service Sud peut est composée des couches suivantes :

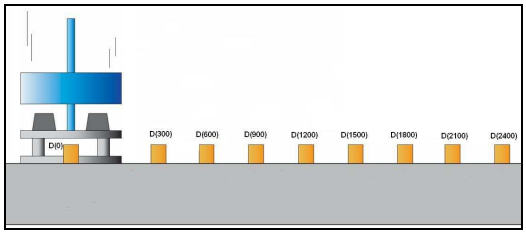
- Couche 1 (revêtement) : Revêtement en enrobé bitumineux, d'épaisseur de 170 mm pour les sections III et IV, et d'épaisseur de 220 mm pour les sections I et II ;
- Couche 2 (fondation): Fondation non liée, d'épaisseur de 230 mm pour les sections III et IV, et d'épaisseur de 130 mm pour les sections I et II ;
- Couche 3 (sol) : Sol limoneux.

3. Mesures au FWD

En fonction des caractéristiques structurelles d'une route, la déflexion du revêtement sous la charge du trafic est un indicateur technique et mesurable de la portance résiduelle de la route. Différents appareils de mesure permettent de mesurer cette déflexion, parmi les plus connus se trouvent la poutre de Benkelman (considérée comme la référence historique), le déflectographe Lacroix (encore très populaire en France – vitesse d'avancement de 5 km/h), le Curviamètre (largement utilisé en Espagne et un peu en Belgique – vitesse d'avancement de 18 km/h) et le déflectomètre à masse tombante (utilisé partout dans le monde, environ 30 mesures par heure pour une interdistance de 100m entre les mesures).

Le FWD est, sans conteste, l'appareil de mesure le plus adapté à la situation de la station service. En effet, la réalisation d'une mesure ne prend que quelques minutes par point ; dans le cas présent, le trafic n'est que très peu perturbé par la prise de mesure (réalisée à l'arrêt) et aucune signalisation de chantier ne doit être prévue. Le FWD du CRR est monté sur remorque, ce qui le rend très maniable. La chute contrôlée d'un poids provoque l'application d'une force choisie entre environ 40 et 120 kN. La déflexion du revêtement est relevée par l'intermédiaire de géophones (capteurs d'accélération) et enregistrée. Neuf géophones sont disposés sur une distance de 2400 mm à partir de l'emplacement d'application de la charge, le premier géophone étant placé au droit de la charge. La photo (Fig. 2) et le schéma (Fig. 3) ci-dessous illustrent le fonctionnement du FWD. La force est appliquée sur le revêtement par l'intermédiaire d'une plaque circulaire de rayon égal à 150 mm. Des blocs en caoutchouc ralentissent l'application de la charge afin de simuler au mieux le chargement progressif caractérisant un véhicule roulant à une vitesse d'environ 60 km/h.

[Fig.2 : photo FWD du CRR]



[Fig. 3 : schéma configuration typique d'un FWD]

Le FWD est utilisé dans le monde entier depuis plusieurs dizaines d'années. La méthode d'essai pour la mesure de la déflexion à l'aide du FWD a fait l'objet d'un projet de recherche Européen subsidié dans le cadre du programme COST. Le rapport final de l'action COST 336 (réf.1) décrit en détail les configurations recommandées pour l'exécution d'essais, ainsi que les méthodes de calibration. En 2005 et en 2007 le CRR a participé avec succès à la

journée de comparaison inter laboratoire organisé par le CROW au Pays-Bas tout les deux ans et rassemblant une quinzaine de FWD de différentes marques (réf.2).

4. Interprétation des résultats de mesures au FWD

L'importance de la déflexion d'une route sous charge dépend principalement de la rigidité de sa structure. Typiquement, les déflexions engendrées par une même charge seront plus importantes sur une route souple bitumineuse que sur une route rigide en béton.
La déflexion dépend aussi de la température : le rapport du CRR (réf.3) préconise de ne pas procéder aux mesures de portance lorsque la température moyenne journalière est inférieure à +2°C ou supérieure à +25°C pendant les 3 jours qui précèdent la mesure. L'action COST 336 mentionne une exigence similaire souvent utilisée (réf.1): les mesures de déflexion au FWD sur un revêtement en enrobé bitumineux ne peuvent être réalisées si la température à une profondeur d'au moins 40 mm en dessous de la surface est inférieure à 0°C ou supérieure à 30°C. Ajoutons que la déflexion sous une même charge sur un même revêtement (bitumineux) varie avec la température. Dans certains pays des formules empiriques sont utilisées pour « ramener » la déflexion mesurée à une déflexion « à température normale ». Dans la suite nous préfèrerons transformer les déflexions mesurées en modules élastiques, eux-mêmes fonction de température.
Si on fait abstraction des évolutions saisonnières de la déflexion maximale, des études menées pour des routes bitumineuses souples (réf.4) démontrent que pendant des longues années après construction de la route la déflexion maximale ne varie pas beaucoup. Au début, on observe parfois même une diminution légère de la déflexion maximale, pour rester quasiment constante par la suite. Mais après une longue période de service, la déflexion peut monter rapidement, signe qui annonce la fin de vie structurelle de la route.

Les déflexions relevées au moment de l'application de la charge constituent le « bassin de déflexion » de la structure. Le calcul inverse, basé sur la théorie multicouche de Burmister (module faisant partie intégrante du logiciel de dimensionnement DimMET©), permet de retrouver les modules élastiques des différentes couches en faisant coïncider le bassin de déflexion calculé par le biais du multicouche au bassin de déflexion mesuré (réf.5, réf.6, réf.7).

5. De la théorie à la pratique : mesures et calculs

Afin de réaliser les mesures au FWD, les aires circulées des stations service Nord et Sud ont été divisées en 6 sections, comme illustré sur le schéma (Fig. 1), pour tenir compte des épaisseurs et des affectations différentes (parking et voiries pour poids lourds et véhicules légers). Au total, 136 déflexions ont été mesurées pour une charge de 65±5 kN, distribuées plus ou moins uniformément sur l'ensemble des sections.

5.1. Détermination des zones homogènes

L'analyse statistique des bassins de déflexion mesurés permet de distinguer des « zones homogènes ». Une zone homogène peut être définie comme le regroupement des positions consécutives pour lesquelles les bassins de déflexion mesurés sont du même ordre de grandeur. La détermination des zones homogènes est reprise à la (réf.1).

Au niveau de la station service nord, 5 zones homogènes ont été relevées ainsi que 4 zones homogènes au niveau de la station service Sud. Pour chaque zone homogène, un bassin de déflexion moyen a été calculé. Ces bassins de déflexion déterminés par calcul statistique étant « virtuels », il était nécessaire de sélectionner un bassin mesuré le plus proche possible du bassin moyen de la zone considérée de manière à refléter au mieux la réalité. Ces derniers bassins sont dits « Bassins de déflexion approchés » et sont utilisés par la suite pour les calculs à l'aide de DimMET©. Le tableau (Fig. 4) reprend les bassins de déflexion approchés et la charge appliquée des 9 zones homogènes identifiées.

Zone	D_0	D_{300}	D_{600}	D_{900}	D_{1200}	D_{1500}	D_{1800}	D_{2100}	D_{2400}	Charge
Nord 1	187	135	87	59	43	33	28	23	21	0,971
Nord 2	341	252	172	110	55	37	29	22	20	0,960
Nord 3	194	161	111	74	51	40	33	27	25	0,883
Nord 4	519	335	190	96	46	32	32	29	28	0,928
Nord 5	316	234	147	88	54	37	28	23	21	0,894
Sud 1	273	185	109	73	52	42	36	30	27	0,960
Sud 2	148	120	91	70	55	45	38	32	28	0,814
Sud 3	258	174	138	115	94	75	62	51	43	0,943
Sud 4	199	150	110	84	65	52	42	34	29	0,873

Fig. 4 : zones homogènes et bassins de déflexion approchés (déflexions en µm, charge en MPa)

On a immédiatement pu remarquer que la zone homogène « Nord 4 » correspond parfaitement à la première partie de la section II de la station Nord, où l'épaisseur du revêtement n'est que de 140 mm.

5.2. Evaluation des modules élastiques des différentes couches

Sur base des bassins de déflexion approchés, le module élastique des différentes couches de la structure a été calculé. Pour ce faire, le calcul inverse nécessitait les paramètres d'entrée suivants : l'épaisseur des différentes couches, les conditions d'adhérence entre les couches, leur coefficient de Poisson, une valeur approchée de leur module élastique (pour lancer le calcul itératif) et les caractéristiques de la charge appliquée.

Les paramètres d'entrée utilisés pour les calculs sont les structures décrites au chapitre 2. Ils sont complétés par les hypothèses suivantes :

- Des valeurs estimés pour les modules d'élasticité : $E_{1,ini}$ = 10000 MPa (revêtement), $E_{2,ini}$ = 1000 MPa (fondation), $E_{3,ini}$ = 300 MPa (sol) ;

- Les coefficients de Poisson : v_1 = 0.35 (revêtement), v_2 = 0.50 (fondation), v_3 = 0.50 (sol)
- L'adhérence entre couches : égale à 0.1 entre le revêtement bitumineux et la fondation, et égale à 1.0 entre la fondation et le sol ;
- Les caractéristiques de la charge appliquée, comme repris dans le tableau précédent (cf. Fig. 4), en sachant que la force d'environ 65 kN était transférée par une plaque d'interface d'un rayon de 150 mm.

Il est important de préciser que le calcul inverse peut donner lieu à des modules élastiques en adéquation avec les résultats de mesures de déflexion mais totalement irréalistes. Il est donc important que l'algorithme du « calcul inverse » parte d'hypothèses raisonnables. De même, l'expertise de l'utilisateur du logiciel est indispensable pour déceler les éventuelles anomalies. Les résultats sont donc à considérer avec circonspection : ils ne donnent qu'un ordre d'idée de la situation réelle.

Le tableau suivant (Fig. 5) présente les modules d'élasticité obtenus pour chaque zone homogène.

Zone	E_1	E_2	E_3
Nord 1	9826	750	350
Nord 2	10382	18	248
Nord 3	17436	95	267
Nord 4	6761	31	213
Nord 5	8454	32	245
Sud 1	3899	753	277
Sud 2	10420	9200	233
Sud 3	2136	9102	166
Sud 4	7108	3856	216

[Fig. 5: résultats du calcul inverse (modules en MPa)]

Les zones Nord 3 et Sud 2 représentent les aires de parking pour les poids lourds.

On observe que seul E_1 varie entre les zones homogènes Nord 4 et Nord 5, les deux tronçons de la section II présentant des épaisseurs de revêtement différentes. On remarque également une grande différence entre les situations Nord et Sud du point de vue du module élastique de la fondation (E_2).

5.3. Evaluation de la proposition de réhabilitation initiale

L'étape suivante de l'analyse consistait à vérifier la durabilité des différentes approches de renforcement. Dans les différentes propositions, certaines parties de la structure restaient en place. Ainsi, sur base des modules élastiques retrouvés par calcul inverse, des épaisseurs de la structure existante, du type et de l'épaisseur des nouveaux matériaux et d'un spectre de trafic caractéristique du tronçon de voirie considéré, la vérification du dimensionnement a

pu être réalisée à l'aide du logiciel DimMET©, celui-ci permettant aussi d'évaluer la durée de vie résiduelle de la structure en place.

Les vérifications ont été réalisées en considérant l'histogramme de trafic simple donné dans la figure (Fig. 6).

Histogramme simple

Nombre journalier de poids lourds : 300

Nombre de jours ouvrables : 365

Taux de croissance annuel (%) : 2,00

Durée de service en années : 20

Nombre moyen d'essieux par poids lourd : 3,60

Classe	Charge par essieu (kN)	Fréquence
1	55	17,10
2	65	16,40
3	75	6,90
4	85	8,70
5	95	5,70
6	105	3,20
7	115	3,20
8	125	1,40
9	135	1,10
10	145	0,00
11	155	0,00
12	165	0,00
13	5	0,00
14	15	0,23
15	25	11,40
16	35	12,80
17	45	11,90

[Fig. 6 : trafic considéré]

Il s'est avéré que le projet de réhabilitation initialement prévu (Fig. 7) ne répondait pas aux exigences : une durée de vie de 20 ans était souhaitée, mais les calculs montraient qu'elle se limitait à 14, 16 ou 18 ans seulement pour une grande partie des aires circulées.

Station Nord		
	RMD-C2	30 mm
	BB-3A	120 mm
	Empierrement Type IA	200 mm
Station Sud		
Voirie parallèle à l'autoroute :	Enrobé	220 mm
	Empierrement	130 mm
Le reste :	Enrobé	170 mm
	Empierrement	230 mm

[Fig. 7 : réhabilitation initialement prévu]

Un autre projet de réhabilitation a été proposé par le CRR. Pour cette proposition, les calculs projettent une durée de vie supérieure à 20 ans pour l'ensemble des zones, aussi bien pour les parkings que pour les voiries. Cette proposition tient compte du souhait de garder la même épaisseur totale du revêtement actuel dans le projet futur.

6. Une proposition de renforcement appropriée

Le projet de réhabilitation proposé est différent pour les voiries et les parkings. En effet, le revêtement des parkings pour poids lourds subit des efforts tangentiels importants, dus aux manœuvres de ceux-ci. Un revêtement de type BB-1B semble plus approprié qu'un RMD-C2 pour résister à ce type d'effort, ce dernier étant plus sensible au plumage. Sur les voiries le RMD-C2 est préféré, car plus résistant à l'orniérage que le BB-1B.
Dans ce projet également, le traitement en place de la fondation granulaire est retenu. Cette solution présente l'avantage d'être économique car, d'une part, les matériaux ne quittent pas le site et, d'autre part, de nouveaux matériaux ne doivent pas être mis en œuvre. De plus, le traitement au liant hydraulique confère à la couche une portance appréciable.

Le tableau suivant (Fig. 8) présente le projet de réhabilitation proposé :

Station Nord		
Voiries :	RMD-C2	30 mm
	BB-3A	80 mm
	Fondation traitée en place	390 mm (E ≥ 300 MPa)
Parkings :	BB-1B	40 mm
	BB-3A	70 mm
	Fondation traitée en place	390 mm (E ≥ 300 MPa)
Station Sud		
Voiries :	RMD-C2	30 mm
	BB-3A	80 mm
	Fondation traitée en place	240 mm (E ≥ 300 MPa)
Parkings :	BB-1B	40 mm
	BB-3A	70 mm
	Fondation traitée en place	240 mm (E ≥ 300 MPa)

[Fig. 8 : réhabilitation proposé]

7. Conclusions

Ce cas est un excellent exemple d'utilisation conjointe du FWD et du logiciel DimMET© pour l'analyse d'un cas pratique et pour l'étude et la comparaison des différents projets de réhabilitation imaginés.

Dans ce cas, l'étude a permis de déterminer l'origine structurelle des dégradations visibles en surface. Elle a mis en évidence les insuffisances de portance de la structure prévue dans le projet initial de réhabilitation. Elle a permis à l'entrepreneur de mieux évaluer les risques liés à cette solution et de communiquer au nouveau concessionnaire une variante crédible, garantissant la durée de vie souhaitée.

8. Références

1 “COST 336, Falling Weight Deflectometer”, Final report of the Action (final draft) ;

2 “FWD Comparative Day 2007”, CROW rapport D08-01 (www.crow.nl) ;

3 « Renforcement des chaussées à revêtement hydrocarboné » par V. Veverka, CR 12/80, rapport du CRR, 1980 ;

4 « Utilisation des mesures de déflexion pour la prévision de la durée de service des chaussées souples », Sophie Jehaes, Travail de Fin d’Etudes, ULB, 1993-1994.

5 “Walloon Design Method for Concrete Pavements, Improvements since 2003”, Lemlin, M. et al., Proceedings 10th International Symposium on Concrete Roads, 18-22 Sept. 2006, Brussels.

6 DimMET, 2006, « Logiciel pour le Dimensionnement des Chaussées», développé par le CRR et FEBELCEM pour le MET, 2001-2006.

7 « Dimensionering van wegen met behulp van de software DimMET» par J. Maeck, XXIe Congrès belge de la Route, Gand, 22-25 septembre 2009.