

Comparaison entre les déflexions mesurées avec le curviamètre MT 15 et la poutre Benkelman

Essais réalisés en 1992 et 1993 en Espagne

LES MESURES DE DÉFORMABILITÉ DE SURFACE DE CHAUSSÉES

RÉSUMÉ

Le service de Technologie de la Direction générale des routes espagnoles, en collaboration avec le CEDEX, a réalisé une étude de corrélation des mesures obtenues avec le curviamètre MT 15 et avec les appareils d'auscultation, qui sont indiqués dans la norme de renforcement des chaussées (6.3-IC), pour des mesures de renforcement et l'obtention d'indicateurs utiles pour les systèmes de gestion de l'entretien des routes espagnoles.

L'étude a demandé un effort considérable sur chantier et au bureau d'études, puisque 85 tronçons de route de 2 km de long, répartis entre dix provinces espagnoles, avec des chaussées de six types différents, ont été auscultés.

Les études réalisées ont montré qu'il existe une forte corrélation entre les mesures effectuées avec le curviamètre MT 15 et la méthode avec la poutre Benkelman. Cette corrélation est pratiquement la même pour toutes les chaussées étudiées, depuis les plus souples jusqu'aux semi-rigides.

MOTS CLÉS : 22-61 - Déflexion - Mesure - Curviamètre - Benkelman - Essai - Espagne - Appareil de mesure - Chaussée (corps de) - Tronçon d'essai - Auscultation.



Introduction

En 1992, 1993 une campagne importante de mesure des déflexions s'est déroulée en Espagne, avec la poutre Benkelman et avec les déflectographes automatiques de type Lacroix.

La capacité structurelle d'un tronçon homogène est déterminée, dans la norme espagnole de renforcement 6.3-IC, à partir d'une déflexion calculée, basée sur la mesure de la partie réversible de la déformation avec la poutre Benkelman. Quand on emploie un autre appareil de mesure, la déflexion caractéristique de chaque tronçon doit être déterminée par corrélation avec la précédente.

En principe, le curviamètre réunit une série de caractéristiques qui le rendent apte pour son utilisation dans le système de Gestion de l'entretien des chaussées du réseau des routes nationales espagnoles. Comparé au déflectographe Lacroix, sa plus grande vitesse de travail se traduit par un rendement supérieur, une durée moindre d'interférence avec la circulation donc un risque d'accident réduit et une baisse du coût du kilomètre ausculté ; par rapport au déflectographe Lacroix, il présente l'inconvénient de ne mesurer que la bande droite de roulement.

Le manque de documentation sur le fonctionnement du curviamètre et sur des essais comparatifs avec d'autres appareils de mesure de déflexion a nécessité la réalisation d'études comparatives avec d'autres appareils bien connus et employés en Espagne.

Le service de Technologie de la Direction générale des routes du ministère des Travaux publics, des transports et de l'environnement espagnol a entrepris, en collaboration avec le Centre d'études routières du CEDEX, une étude de corrélation entre les mesures obtenues avec le curviamètre MT 15 et avec les appareils d'auscultation qui sont indiqués par la norme de renforcement des chaussées 6.3-IC.

Méthodologie des essais

Les essais ont été réalisés sur des tronçons de chaussées de composition et d'état apparent homogènes.

On a mesuré avec le curviamètre et le déflectographe des tronçons de 2 km et obtenu sur la bande droite de roulement 400 mesures tous les cinq mètres.

Les mesures avec la poutre Benkelman ont été limitées à un sous-tronçon de 200 m, donnant une meilleure homogénéité, l'expérience ayant montré qu'un tronçon de 2 km n'est pratiquement jamais homogène.

Les essais se sont déroulés dans l'ordre suivant : mesure avec le curviamètre, puis avec le déflectographe suivi de la poutre Benkelman. Pendant les essais, on a relevé la température ambiante et celle de la chaussée afin de supprimer les mesures qui étaient trop différentes entre le passage des différents appareils.

Types de chaussées considérés

À partir de l'inventaire de la Direction générale des routes, on a établi sept catégories différentes de chaussées.

On a éliminé les chaussées rigides pour lesquelles la mesure de déflexion n'est pas significative avec les appareils employés dans cette étude. Six types de chaussées ont été retenues donnant une gamme représentative de l'ensemble des chaussées :

- Type 1 : chaussée souple sans enrobé ;
- Type 2 : chaussée souple avec 5 cm d'enrobé ;
- Type 3 : chaussée souple avec 10 cm d'enrobé ;
- Type 4 : chaussée semi-souple avec 15 cm d'enrobé ;
- Type 5 : chaussée semi-souple avec 20 ou 25 cm d'enrobé ;
- Type 6 : chaussée semi-rigide, avec couche de base ou de fondation traitée au liant hydraulique.

Tronçons essayés

Les essais ont été réalisés sur 85 tronçons situés dans dix provinces espagnoles présentant des climats différents (humide ou sec, maritime ou continental), soit 13 à 15 unités pour chaque type de chaussée.

Analyse des résultats

Étant donné la difficulté de réaliser les mesures de déflexion avec le curviamètre et avec la poutre Benkelman exactement au même endroit, on a volontairement omis de faire l'analyse point par point et on a examiné les corrélations entre les valeurs moyennes de déflexion obtenues pour chaque tronçon homogène de 200 m de long.

Des études de corrélation linéaire pour chaque type de chaussée ont donné des résultats semblables ; c'est pourquoi on a déterminé la corrélation linéaire de l'ensemble de toutes les mesures sans distinguer les types de chaussée.

On a considéré les déflexions caractéristiques de chacun des tronçons, sur lesquelles se basent les déflexions de calcul employées dans la norme 6.3-IC de renforcement des chaussées, en établissant d'une manière analogue des corrélations linéaires entre les valeurs obtenues avec les deux appareils. Toutes les études ont été faites après élimination des tronçons non homogènes et de quelques zones hétérogènes de dimensions très réduites.

Valeurs moyennes de déflexion

On observe une bonne correspondance entre l'ensemble des mesures obtenues avec le curviamètre et celles obtenues avec la poutre Benkelman (fig. 1).

Les valeurs moyennes de déflexion pour chaque tronçon homogène ont été considérées suffisamment représentatives pour établir des corrélations entre les mesures des deux appareils, même si l'estimation des valeurs à partir de la moyenne des échantillons a toujours une petite marge d'erreur quand on procède à n'importe quel type d'étude de déflexions.

On a fait différentes analyses de corrélation linéaire pour chaque type de chaussée considéré, avec des résultats acceptables qui n'incitent pas à établir d'autres types de relation. Les droites de régression sont, contrairement à ce que l'on pourrait penser, relativement semblables, (fig. 2) ; c'est pourquoi on a déterminé également la corrélation linéaire sur l'ensemble des mesures, sans distinguer les différents types de chaussée (fig. 3).

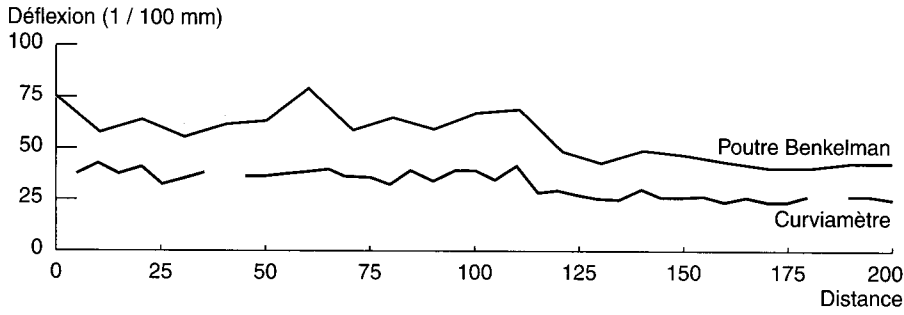


Fig. 1 -
Défectogramme
poutre
Benkelman/curviamètre.

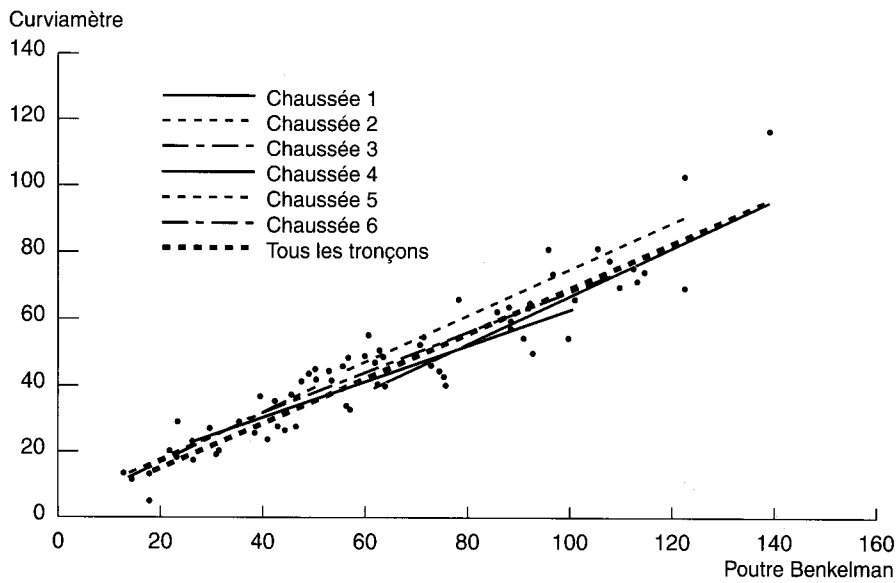


Fig. 2 -
Droites de régression
curviamètre -
Poutre Benkelman.

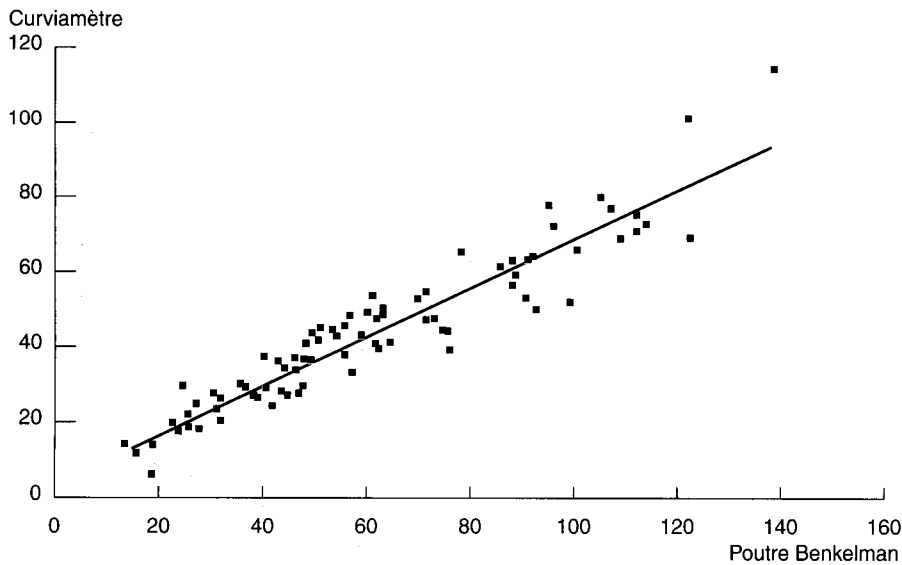


Fig. 3 -
Corrélation
curviamètre-poutre
Benkelman
(tous les tronçons).

TABLEAU I

Droites de régression des valeurs moyennes obtenues avec le curviamètre (C) et la poutre Benkelman (B)				
Type de chaussée	Nombre de tronçons	Droites de régression		Coefficient déterminé r^2
		C sur B	B sur C	
1	14	$C = 0,72B - 5,15$	$B = 0,98C + 32,73$	0,71
2	13	$C = 0,68B + 7,23$	$B = 1,22C + 5,78$	0,83
3	15	$C = 0,62B + 6,50$	$B = 1,40C - 1,62$	0,87
4	13	$C = 0,56B + 7,25$	$B = 1,38C + 4,37$	0,77
5	15	$C = 0,73B + 0,42$	$B = 1,13C + 6,01$	0,83
6	15	$C = 0,74B + 1,81$	$B = 1,00C + 6,63$	0,74
Ensemble	85	$C = 0,66B + 3,57$	$B = 1,34C + 2,10$	0,89

TABLEAU II

Droites de régression des valeurs moyennes obtenues avec le curviamètre (C) et la poutre Benkelman (B) droites passant par l'origine					
Type de chaussée	Nombre de tronçons	C sur B		B sur C	
		Droite	r^2	Droite	r^2
1	14	$C = 0,67B$	0,70	$B = 1,46C$	0,52
2	13	$C = 0,76B$	0,82	$B = 1,31C$	0,83
3	15	$C = 0,72B$	0,84	$B = 1,36C$	0,87
4	13	$C = 0,67B$	0,74	$B = 1,47C$	0,77
5	15	$C = 0,74B$	0,83	$B = 1,33C$	0,80
6	15	$C = 0,79B$	0,74	$B = 1,21C$	0,70
Ensemble	85	$C = 0,71B$	0,88	$B = 1,38C$	0,89

TABLEAU III

Droites de régression des déflexions caractéristiques déterminées avec curviamètre (C) et poutre Benkelman (B) dans l'ensemble des tronçons				
Droite de régression	Sans conditions		Droite passant par (0,0)	
	Droite	r^2	Droite	r^2
C sur B	$C = 0,70B + 3,76$	0,88	$C = 0,74V$	0,88
B sur C	$B = 1,26C + 5,14$	0,88	$B = 1,33C$	0,88

Dans le tableau I, on indique les droites de régression.

On voit que les équations des droites de régression sont très similaires indépendamment des types de chaussée. De plus, les coefficients des chaussées, qui présentent des comportements assez différents comme ceux des types 1, 5 et 6, ont finalement été plus proches que ceux des chaussées des types 2, 3 et 4 ; donc il n'y a pas de raison de préférer les droites de régression individuelles de chaque type de chaussée à celle de l'ensemble, qui est plus représentative et donne un coefficient de détermination r^2 égal à 0,89 tout à fait acceptable.

Dans le tableau II, on indique les résultats obtenus avec des droites de régression passant par l'origine.

Comme dans le cas précédent, il n'y a aucune raison de préférer les droites de régression individuelles à celles de l'ensemble.

Il semble préférable pour une plus grande simplicité d'adopter les équations $C = 0,71B$ et $B = 1,38C$ (ou en arrondissant $C = 0,7B$ et $B = 1,4C$) pour établir la relation entre les valeurs moyennes de déflexions obtenues avec le curviamètre et avec la poutre Benkelman.

Déflexions caractéristiques

La norme de renforcement 6.3-IC définit la déflexion caractéristique d'un tronçon comme la valeur moyenne plus deux écarts types.

En mettant en relation les valeurs avec celles des déflexions caractéristiques qui correspondent à la poutre Benkelman, on obtient des droites de régression qui figurent dans le tableau III pour l'ensemble des tronçons.

Ces équations sont pratiquement les mêmes que celles obtenues avec les valeurs moyennes de déflexions, il n'y a donc pas d'inconvénient à choisir ces droites de régression dans tous les cas.

En adoptant l'équation $B = 1,4C$ pour déterminer la déflexion caractéristique des mesures avec la poutre Benkelman, qui servira de base pour les calculs de renforcement, la petite différence qui existe par rapport à la valeur de 1,33 est du côté de la sécurité.

Conclusions

Le service de Technologie de la direction générale des routes espagnoles, en collaboration avec le CEDEX, a réalisé une étude de corrélation des

mesures obtenues avec le curviamètre MT 15 et avec les appareils d'auscultation, qui sont indiqués dans la norme de renforcement des chaussées (6.3-IC), pour des mesures de renforcement et l'obtention d'indicateurs utiles pour les systèmes de gestion de l'entretien des routes espagnoles.

L'étude a demandé un effort considérable sur chantier et au bureau d'études, puisque 85 tronçons de route de 2 km de long, répartis entre dix provinces espagnoles, avec des chaussées de six types différents ont été auscultés.

Les études réalisées ont montré qu'il existe une forte corrélation entre les mesures effectuées avec le curviamètre MT 15 et la méthode avec la poutre Benkelman. Cette corrélation est pratiquement la même pour toutes les chaussées étudiées, depuis les plus souples jusqu'aux semi-rigides.

Pour cette raison, on peut adopter pour établir la relation entre les déflexions mesurées avec le curviamètre et la poutre Benkelman :

$$B = 1,4C$$

où :

- B = déflexions mesurées avec la poutre Benkelman,
- C = déflexions mesurées avec le curviamètre MT 15.

L'expression précédente s'est avérée valable aussi bien pour les déflexions moyennes des tronçons homogènes que pour les déflexions caractéristiques.

L'élimination au bureau d'études des mesures des points avec des signaux anormaux, qui n'ont pas été supprimés automatiquement par la pro-

grammation du curviamètre, n'améliore pas de manière significative les corrélations obtenues : c'est pourquoi, bien qu'il soit souhaitable de faire cette élimination, sa suppression n'entraîne pas de grosses erreurs dans le calcul des déflexions moyennes ou caractéristiques. Dans des cas normaux, l'élimination automatique, à laquelle procède le curviamètre, pourrait être suffisante pour le calcul des déflexions moyennes et caractéristiques d'un tronçon homogène, mais pas pour l'étude des points singuliers.

Les conclusions précédentes ne doivent pas être extrapolées en dehors des conditions de cette étude. En particulier, en ce qui concerne les valeurs moyennes de déflexion, elles se trouvent comprises entre 13 et 139 centièmes de millimètre avec la poutre Benkelman (ce qui correspond à des valeurs estimées avec le curviamètre entre 9 et 97), intervalle en dehors duquel on ne devra pas étendre les corrélations trouvées.

Enfin, signalons que le curviamètre MT 15 peut être considéré comme un appareil convenant à l'auscultation du réseau des routes en vue d'un système de gestion des chaussées (sauf dans le cas des chaussées rigides et des tronçons avec des courbes de petit rayon). De même, on peut l'utiliser dans les projets de réhabilitation pour le calcul du renforcement, sauf pour les tronçons de chaussée de moindre portance dans la zone centrale, car il ne détermine la déflexion que dans la bande de roulement extérieure.

La séquence de mesure (tous les cinq mètres) est un avantage sur ce qui se ferait normalement avec la poutre Benkelman, pour déterminer des tronçons de comportement homogène et calculer les déflexions moyennes et caractéristiques, ainsi que pour localiser des points particuliers de faible portance.

ABSTRACT

Comparison between the measurements obtained from the MT 15 curviameter and the benkelman beam-tests performed in Spain in 1992 and 1993

F. ACHUREGUI VIADA - B. SANCHEZ LOPEZ - I. SANCHEZ SALINERO

The Technology Department of the Spanish General Roads Directorate, in collaboration with the CEDEX has performed a study to correlate measurements from the MT15 Curviameter with other testing devices recommended in the pavement strengthening standard (6.3-IC) for obtaining strengthening measurements and useful indicators for maintenance management systems for Spanish roads.

The study demanded a considerable amount of work both on site and in the design office as it involved testing 85 road sections each 2 kilometres in length which were distributed between the ten Spanish provinces with six different types of pavement.

The studies have shown there to be a good correlation between the measurements from the MT-15 and the Benkelman beam method. Almost the same correlation applies to all the pavements, from the most flexible to semi-rigid.