

Philippe LEPERT
Laboratoire central des Ponts et Chaussées
philippe.lepert@lcpc.fr

Évolution de la déflexion observée sur les chaussées souples modernes

■ RÉSUMÉ

La mesure de déflexion a conservé un rôle important dans les campagnes d'auscultation et de suivi des chaussées. Or, bien qu'ayant fait l'objet d'études multiples, la question de l'évolution de la déflexion sur les chaussées modernes reste ouverte. Cette question est abordée avec des moyens statistiques en utilisant les nombreuses observations recueillies sur ces chaussées depuis plus de dix ans. L'analyse porte sur une population de 1 680 sections dites souples, c'est-à-dire essentiellement à assise traitée au bitume. Elle permet d'abord de confirmer quelques propositions attendues sur des chaussées modernes correctement dimensionnées : la déflexion, plus importante en rive qu'en axe, dépend essentiellement du trafic et beaucoup moins du corps de chaussée. En revanche, elle montre que la déflexion décroît lentement avec le temps, cette tendance étant plus marquée sur les chaussées à trafic faible (T2, T3) que sur les chaussées à trafic fort (T0, T1). Au-delà des premières hypothèses qui peuvent être avancées pour expliquer ce constat, il faut sans doute recadrer l'usage de la déflexion sur les chaussées modernes.

Evolution in the deflection observed on modern flexible pavements

■ ABSTRACT

The deflection measurement has retained its vital role in pavement diagnostic and monitoring campaigns. Despite undergoing repeated assessments, the issue of how deflections on recent pavements evolve remains an open one; it gets raised herein through applying statistical techniques to a wide range of observations recorded on this type of pavement over the past ten-plus years. The analysis focuses on a study group of 1,680 so-called flexible sections, i.e. basically with a bitumen road base, and has enabled confirming a number of anticipated proposals on well-designed modern pavements: the deflection, which is stronger at the edge than down the middle, depends primarily on the level of traffic and to a much lesser extent on the pavement base course. In contrast, this analysis reveals that deflection decreases slowly over time, with this trend being more pronounced on lightly-trafficated pavements (T2, T3) than on more heavily-trafficated ones (T0, T1). Beyond the initial set of hypotheses that could be forwarded to explain this finding, implementation of the deflection measurement for recent pavements must undoubtedly be rethought.

INTRODUCTION

La déflexion d'une chaussée traduit directement sa déformabilité [1]. Sur les chaussées traditionnelles à assise non traitée, qui composaient l'essentiel des réseaux routiers français au seuil des années 1970, elle apportait une information très pertinente pour juger de la capacité d'une chaussée à supporter le passage répété de poids lourds : plus la déflexion était élevée, moins la chaussée durerait sous un trafic poids lourd donné [2]. Ce paramètre permit également de caler les

modèles de conception et de dimensionnement des renforcements de structure, lorsque cela s'avérerait nécessaire.

Au cours des années 1970, 1980 et 1990, les réseaux structurants, tant nationaux que locaux, ont été construits, reconstruits ou renforcés avec des assises modernes, traitées aux liants hydrauliques, aux liants bitumineux, ou encore mixtes. Le comportement de ces assises différant sensiblement de celui des assises traditionnelles, on peut s'interroger sur la façon dont leur rigidité évolue, et donc sur la pertinence de la mesure de déflexion comme instrument de suivi de l'état structurel des chaussées au cours du temps.

Le sujet a déjà été beaucoup discuté. On s'efforce ici d'apporter un éclairage complémentaire sur la question, en tirant parti des nombreuses données recueillies dans le cadre des campagnes de mesure de déflexion, systématiques jusqu'en 1991 (5 000 km/an sur le réseau routier national [RN], par exemple), plus ciblées sur la préparation de travaux depuis cette date. Des méthodes statistiques permettent maintenant d'analyser de façon objective l'évolution de la déflexion sur les chaussées modernes.

POPULATION DE SECTIONS ANALYSÉES

L'analyse a porté sur une population de 1 680 sections de chaussées dites souples, c'est-à-dire ayant une assise non traitée, bitumineuse épaisse ou mixte, au sens du catalogue des dégradations de surface des chaussées [3]. Ces assises sont recouvertes d'un revêtement constitué soit d'un béton bitumineux, soit d'un enduit superficiel. Ces sections, qui n'ont pas été entretenues durant la période où elles ont été observées, supportent des trafics lourds allant de « assez importants » à « très importants » (classe T3 à T0 au sens du « *Guide technique de conception et dimensionnement des structures de chaussées* » [4]).

L'âge de ces sections varie de 4 à 43 ans, une très forte proportion d'entre elles (97 %) ayant été construite ou renforcée après 1970. La [figure 1](#) montre très clairement deux sous-populations, la plus nombreuse constituée de sections construites dans les années 1970 dans le cadre des renforcements coordonnés, l'autre datant du début des années 1980.

Bien que sur ces sections on connaisse en théorie la structure, et notamment l'épaisseur des couches traitées, il est difficile de calculer une épaisseur équivalente – au sens de la méthode d'Odemark [5], c'est l'épaisseur que devrait avoir une couche unique, homogène en module, dont la rigidité serait égale à celle de la chaussée – précise, faute d'informations fiables sur la nature des matériaux donc sur leurs modules. Néanmoins, et à titre d'information, on peut constater sur la [figure 2](#) que plus de 90 % des sections auraient une épaisseur équivalente comprise entre 10 et 40 cm, le fractile 50 % correspondant à 16 cm.

figure 1

*Distribution expérimentale
fréquentielle des sections
par trafic et par âge.*

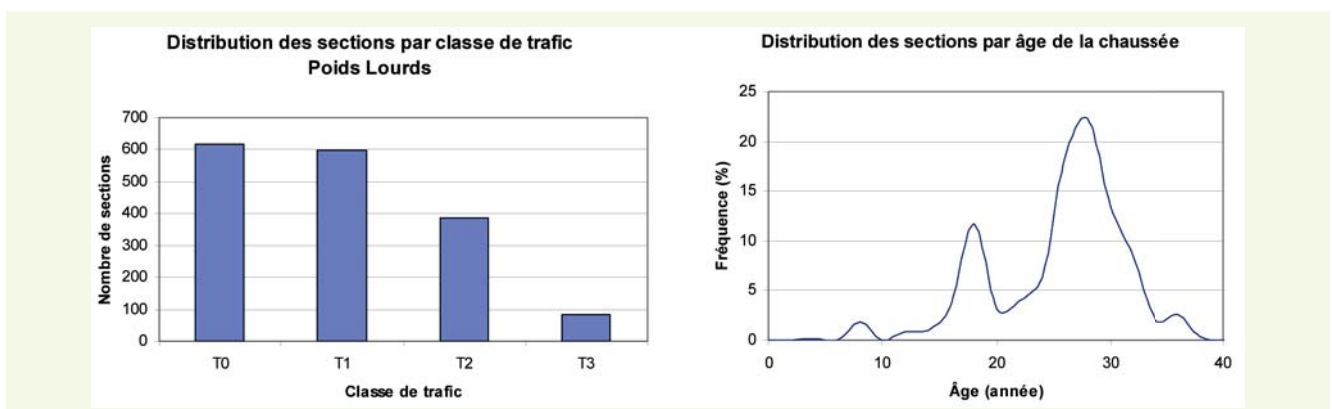
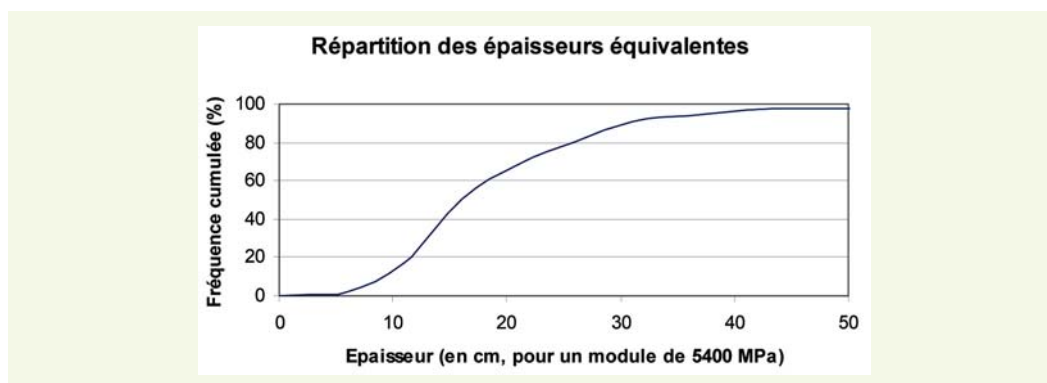


figure 2
Évaluation de la structure
des chaussées par une
estimation de leur
épaisseur équivalente.

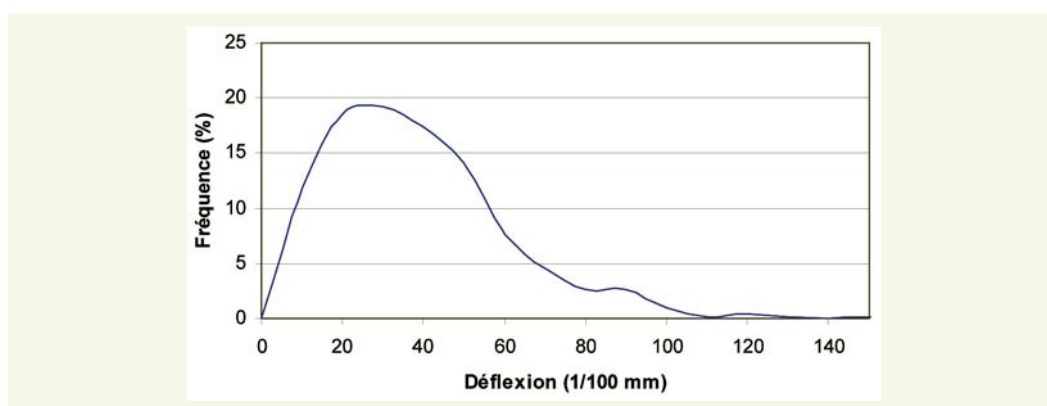


DÉFORMABILITÉ DES CHAUSSEES

La déflexion – amplitude maximale de la dépression créée par un jumelage chargé à 6 500 daNa – été mesurée, sur ces chaussées, par des deflectographes Lacroix [1, 2], soit dans le cadre de campagnes d'auscultation systématiques, soit pour préparer des travaux de renforcement. On dispose donc de mesures de déflexion en rive et en axe, ces dernières étant moins nombreuses car parfois non reportées dans la base par des gestionnaires ou des experts s'appuyant préférentiellement sur les déflexions de rive pour les études d'entretien. Les valeurs de déflexion caractéristique (seuil en-dessous duquel se trouvent 97,5 % des mesures effectuées sur la section) présentent une distribution stochastique comme l'illustre, pour les déflexions de rive, la **figure 3**.

On note que 90 % des valeurs se situent entre 6 et 76 centièmes de millimètre, la valeur médiane étant proche de 30 centièmes de millimètres, ce qui, pour des chaussées bitumineuses épaisses, est tout à fait conforme aux prescriptions.

figure 3
Distribution fréquentielle
expérimentale des
déflexions de rive.



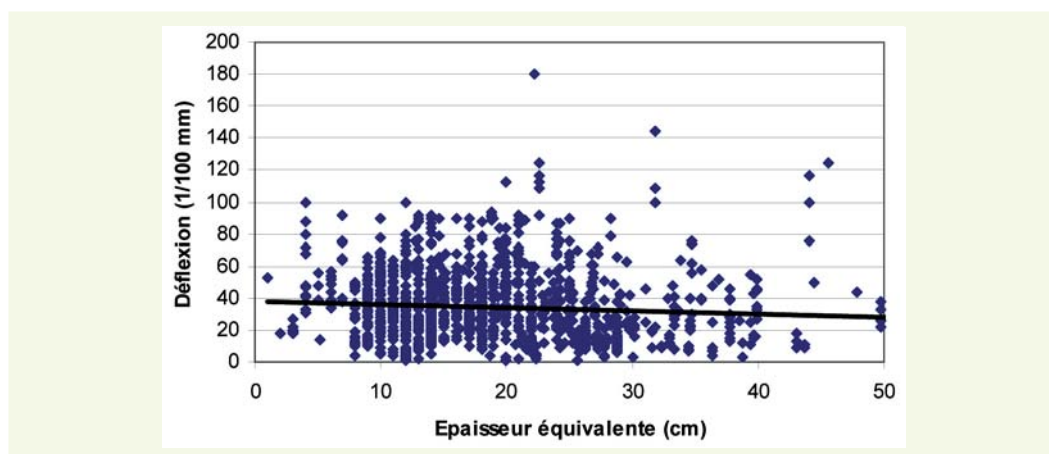
RELATION ENTRE DÉFLEXION ET STRUCTURE

De par sa définition, la déflexion varie avec la déformabilité de la chaussée, qui résulte de la portance de la plate-forme support et de la rigidité du corps de chaussée (couches de fondation, de base, de liaison et de roulement). Les principes du dimensionnement des chaussées modernes visent à ce que le corps de la chaussée compense la faiblesse du sol, le cas échéant, pour parvenir à une rigidité globale adaptée au trafic.

C'est bien ce que l'on observe sur la **figure 4**, qui présente les valeurs de déflexion de rive mesurées sur quelques 1 500 sections en fonction de l'épaisseur équivalente estimée sur ces mêmes sections : il semble qu'il n'existe pratiquement pas de relation entre la déflexion et l'épaisseur équivalente de la chaussée. Sachant que cette dernière traduit la rigidité du corps de chaussée, il apparaît que cette rigidité compense assez correctement la souplesse du sol pour donner une déflexion globale assez régulière. Ceci tend à indiquer que le dimensionnement et la construction de ces chaussées ont été corrects dans l'ensemble, encore qu'il faudrait disposer d'éléments complémentaires (comme la portance du sol) pour être définitif à cet égard.

figure 4

Variation de la déflexion de rive selon la structure de chaussée caractérisée par son épaisseur équivalente.



ÉVOLUTION DE LA DÉFLEXION AU COURS DU TEMPS

Sachant que le principal critère qui détermine le dimensionnement des chaussées, et donc leur comportement structurel, est le trafic de poids lourds (PL), l'analyse de l'évolution de la déflexion avec l'âge de la chaussée a été conduite par classe de trafic. Pour mémoire, le [tableau 1](#) rappelle la définition des classes, du moins pour celles qui sont représentées dans la population analysée (T0 à T3).

Les graphiques de la [figure 5](#) présentent l'évolution des déflexions d'axe et de rive sur les 1 680 sections analysées. On ne sera pas surpris d'une dispersion plutôt forte, qui s'explique à la fois par une certaine hétérogénéité des structures et des conditions de mesure, et par la fidélité limitée de ce type d'essai. Ceci incite à limiter les observations aux grandes tendances présentées par ces diagrammes, ce que permet le jeu de données et l'analyse qui en est faite. À l'expérience, il s'avère que l'utilisation de courbes « puissance » permet un ajustement satisfaisant des données. Ces courbes sont ainsi appelées car elles sont générées à l'aide de l'équation $y = c.x^b$.

D'une façon générale, on observe que la déflexion a davantage tendance à diminuer qu'à croître avec le temps. Une croissance très légère et peu significative est notée sur les chaussées dimensionnées pour un trafic fort (T0). En revanche, la tendance à la décroissance est de plus en plus marquée lorsque l'on observe des sections dimensionnées pour des trafics de moins en moins forts (T1, T2, T3). On observe également que la déflexion de rive est systématiquement plus élevée que celle d'axe. Ce constat, qui traduit une réalité bien connue des spécialistes, s'explique par différents facteurs : la chaussée est moins bien adossée latéralement en rive, malgré la présence occasionnelle de poutres de rive, elle peut y être plus mince pour respecter la pente du profil transversal, etc.

La tendance qu'on observe sur la [figure 5](#) peut être biaisée par le fait que les sections les plus anciennes sur lesquelles ont été mesurées des déflexions sont aussi les plus robustes (les plus fragiles disparaissent prématurément du fait de leur entretien). Pour apprécier et, dans la mesure du possible, contourner cette difficulté, les données de déflexion ont été ré-analysées par une méthode dérivée de la théorie des lois de survie. Le principe de cette méthode, qui trouve son origine dans les études de pharmacologie et a été adaptée à l'analyse de l'évolution des chaussées par E. Courilleau [6], consiste à rechercher les valeurs des éléments d'un modèle paramétrique qui expliquent le mieux les observations.

tableau 1
Classe de trafic
(d'après [4]).

Classe de trafic	T0	T1	T2	T3
Nombre de PL par sens et par jour	> 750	300-750	150-300	50-150

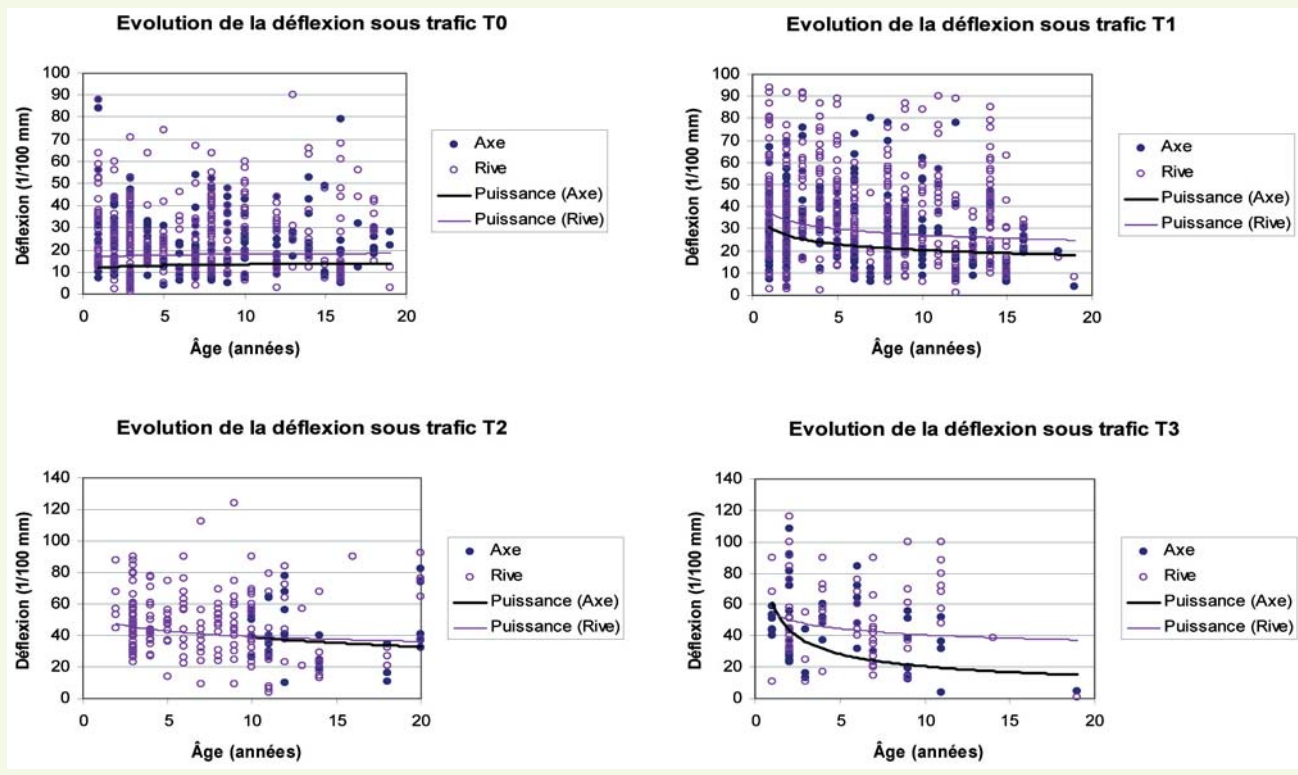


figure 5

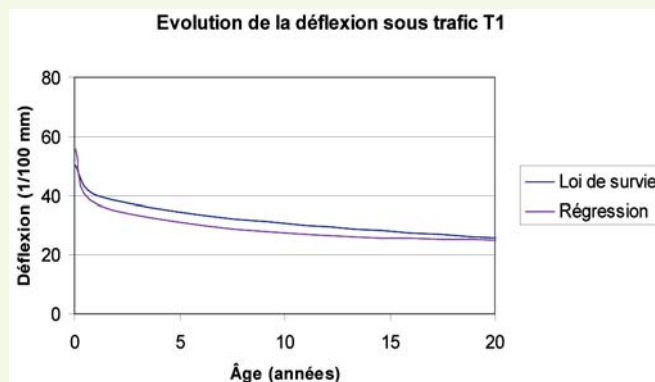
Évolution de la déflexion
au cours du temps par
classe de trafic.

La [figure 6](#) compare les tendances obtenues, dans l'analyse de l'évolution des déflexions de rive sous un trafic T1 (le sous-échantillon le plus vaste, 493 sections), d'une part par une régression sur les données (issues de la [figure 5](#)), d'autre part par la méthode des lois de survie. Les deux tendances ne sont pas significativement différentes. À noter que la brusque décroissance durant les deux premières années résulte d'un artefact de calcul et ne traduit pas une réalité physique.

Dans un nombre limité de cas, il a aussi été possible de caractériser l'évolution de la déflexion en comparant deux valeurs mesurées sur la même section à plusieurs années d'intervalle, sans qu'il n'ait été réalisé de travaux entre les deux mesures. Les diagrammes de la [figure 7](#) présentent la variation de la déflexion (celle de rive, d'axe ou la moyenne des deux en fonction des mesures disponibles) entre deux mesures successives, en fonction de l'intervalle de temps séparant ces deux mesures, sur des sections supportant un trafic T0, T1, T2 ou T3 (ce dernier graphique est présenté par souci d'homogénéité bien que les doublets de mesures disponibles soient peu nombreux et correspondent tous à un même intervalle de huit ans).

figure 6

Évolution comparée de
la déflexion des sections
supportant un trafic T1,
selon une méthode de
régression et une méthode
dérivée de la théorie des
lois de survie.



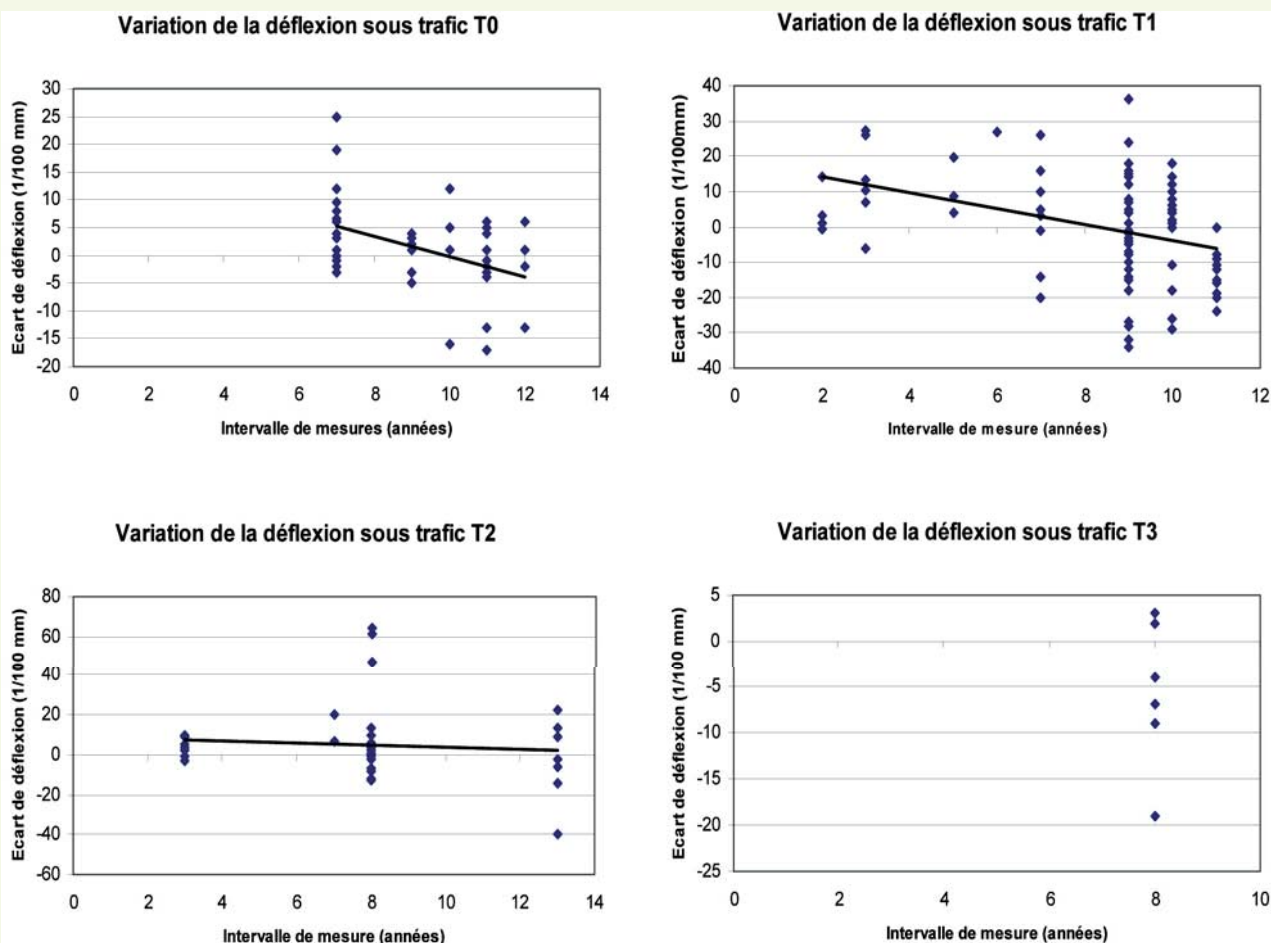


figure 7

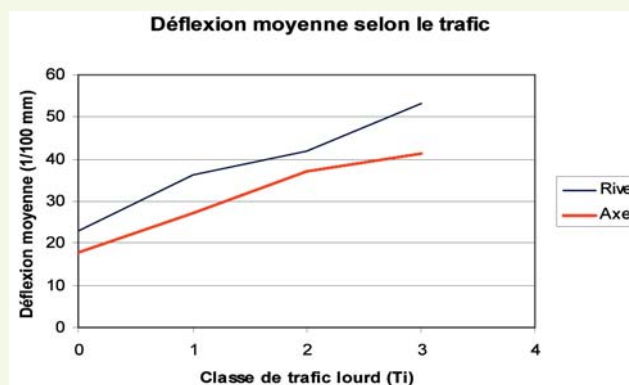
Évolution de la déflexion entre deux mesures successives, selon l'intervalle de temps et le trafic poids lourds.

Les écarts observés entre deux déflexions successives sont significatifs : en rive, par exemple, leur moyenne, en valeur absolue, atteint 10 centièmes de millimètre, soit 28 % en moyenne relative. Or, plus l'intervalle de temps séparant les deux mesures est grand, plus la déflexion donnée par la seconde mesure est proche, voire même inférieure, à celle issue de la première mesure. Ceci conforte le constat fait sur la [figure 5](#).

Enfin, un autre constat s'impose : la déflexion moyenne croît lorsque le trafic décroît. La [figure 8](#) illustre cette observation qui résulte, là encore, de l'application des principes de dimensionnement des chaussées.

figure 8

Déflexion moyenne sur des chaussées supportant différentes classes de trafic.



INTERPRÉTATION

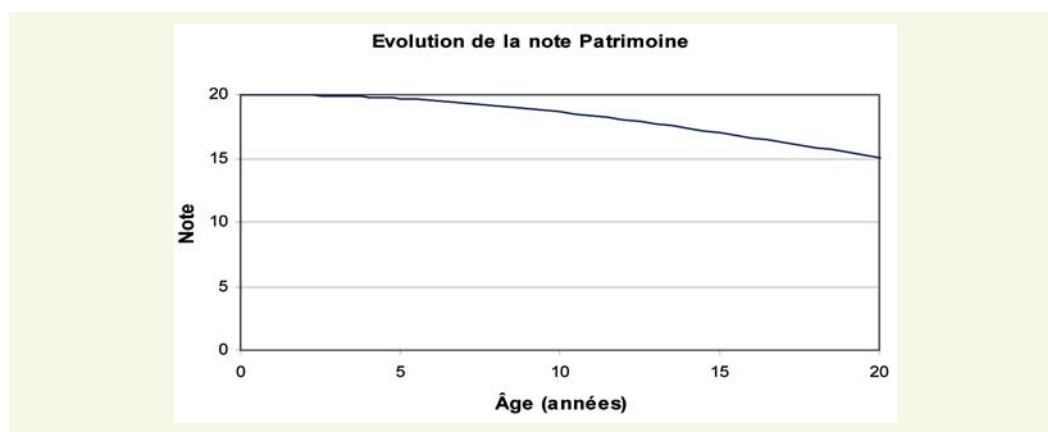
La plupart des constats dressés au terme de cette analyse reflètent simplement une application correcte de la méthode de dimensionnement des chaussées [4].

L'observation la plus intéressante réside toutefois dans le fait que les déflexions ne varient pas de façon significative au cours du temps. Plus précisément, plus la chaussée est flexible (c'est-à-dire correspondant à des trafics plus faibles), plus la déflexion décroît au cours du temps, traduisant ainsi une forme de consolidation de la structure. Cette dernière expression, *a priori* surprenante, peut orienter le spécialiste vers une explication possible de ce phénomène : sous l'effet du trafic, les couches traitées se dégraderaient très lentement (par micro-fissuration), mais les couches non traitées et la plate-forme support se consolideraient. Ainsi, sur les chaussées à assise traitée épaisse, c'est le premier phénomène qui l'emporterait de justesse, d'où une faible augmentation de la déflexion dans le temps. À l'inverse, sur les chaussées à assise traitée plus mince, le second phénomène l'emporterait, ce qui se traduirait par une réduction de la déflexion d'autant plus marquée que ces couches sont minces (donc que le trafic de dimensionnement est faible). Le vieillissement des matériaux bitumineux, qui s'accompagne souvent d'un durcissement, peut également participer au phénomène observé.

Enfin, en rapprochant ces observations sur l'évolution de la déflexion et celles que permet de faire la **figure 9** (évolution de la note IQRN « patrimoine » des chaussées du même type que celles analysées, établie d'après le comportement de plus de 20 000 sections [7]), on ne peut que constater que les deux indicateurs ne reflètent pas le même « état structurel ». On peut avancer que la note patrimoine, qui ne différencie pas fissuration de fatigue et fissuration superficielle d'origine thermique, sur-estime l'évolution de l'endommagement de la structure. On peut également avancer, suivant en cela l'interprétation qui précède, que la déflexion n'est affectée par cet endommagement que lorsqu'il devient gravissime et donc le sous-estime durablement. L'explication la plus probable est, vraisemblablement, que les deux phénomènes se conjuguent.

En revanche, son intérêt pour la réception de couches neuves ou pour le calage de modèles de chaussée (pour les études de diagnostic et le dimensionnement des renforcements) n'est pas remis en cause par les résultats qui précèdent.

figure 9
Évolution de la note
patrimoine des chaussées
en grave bitume en
fonction de l'âge.



Remarque : La note patrimoine de l'IQRN traduit l'état de la structure de chaussée tel qu'il peut être apprécié à partir de ses dégradations de surface, déformation structurelle d'une part, fissuration de fatigue, d'autre part. Elle est établie à partir d'une inspection visuelle de l'ensemble du réseau routier national, inspection qui est renouvelée tous les trois ans.

CONCLUSION

La question de l'évolution de la déflexion sur les chaussées modernes, et de son rapport avec l'évolution de l'état structurel réel de ces chaussées, a été souvent abordée, et de bien des façons. Les approches les plus objectives et les plus fructueuses sont certainement, lorsqu'elles sont possibles,

celles qui se fondent sur l'observation du comportement de chaussées réelles soumises à des trafics réels, sur une période suffisamment longue. Des bases de données routières très vastes, fruits de campagnes d'auscultation périodique ou d'opérations plus ponctuelles, forment aujourd'hui un support tangible et consistant pour de telles approches.

Une étude menée sur plus de 1 600 sections de chaussées à assise bitumineuse ou non traitée a permis de vérifier des hypothèses et de conforter des constats antérieurs sur le comportement de ce type de chaussées. Ainsi :

- en valeur moyenne, la déflexion ne varie pas avec l'épaisseur équivalente de la structure sur les chaussées correctement dimensionnées ;
- la déflexion dépend essentiellement du trafic de dimensionnement retenu pour la conception de la chaussée ;
- la déflexion de rive est, comme on pouvait s'y attendre, plus élevée que la déflexion d'axe.

On ne peut toutefois qu'être interpellé par le constat indubitable que la déflexion ne croît pas systématiquement lorsque les chaussées se dégradent, contrairement à quelques idées reçues. Souvent même, elle décroît légèrement. Des explications peuvent être recherchées (l'une d'entre elles est d'ailleurs avancée avec prudence), mais ces résultats montrent que la déflexion n'est pas un paramètre *ad hoc* pour le suivi des réseaux de chaussées modernes, ce qui justifie *a posteriori*, s'il en était besoin, l'abandon des campagnes systématiques de mesure de déflexion telles qu'elles étaient pratiquées jusqu'au début des années 1990. Ceci, bien évidemment, ne remet pas en cause l'intérêt de ce paramètre pour prononcer la conformité des structures routières nouvellement construites ou encore pour dimensionner des renforcements, voire même pour être une variable explicative de l'évolution de dégradations.

Enfin, rien dans l'étude ne permet, faute de données équivalentes, d'étendre ces conclusions à d'autres paramètres pouvant caractériser la déformation de la chaussée au passage d'un poids lourds, tels que le rayon de courbure ou la surface de la section du bassin de déflexion.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 **SIMONIN J.-M. et al.**, *Études routières – Déformabilité de surface des chaussées – Exécution et exploitation des mesures*, Méthode d'essai des LPC n° 39, LCPC, Paris, avril 1997.
- 2 **SAUTERET R., AUTRET P.**, *Guide de l'auscultation des chaussées souples*, Eyrolles Editeur, Paris, 1977.
- 3 **SIFFERT M. et al.**, *Catalogue de dégradations de surface des chaussées*, Méthode d'essai des LPC n° 52, LCPC, Paris, mars 1998.
- 4 **CORTÉ J.-F. et al.**, *Conception et dimensionnement des structures de chaussées – Guide technique*, LCPC - SETRA, décembre 1994.
- 5 **ULLIDTZ P.**, *Pavement analysis*, Elsevier, 1987.
- 6 **COURILLEAU E.**, *Analyse statistique de données routières appliquées au développement de modèle de gestion de l'entretien*, Thèse de Doctorat, Université Blaise-Pascal de Clermont-Ferrand, septembre 1997.
- 7 **LEPERT PH.**, Proposition et utilisation d'un Indice structurel bâti à partir des notes IQRN, *Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées*, 265, 2006.