



**HAL**  
open science

## Auscultation des chaussées par impact mécanique

Jean-Michel Simonin, Jean-Christophe Dargenton

► **To cite this version:**

Jean-Michel Simonin, Jean-Christophe Dargenton. Auscultation des chaussées par impact mécanique. Congrès Français de Mécanique (CFM 2011), Aug 2011, Besançon, France. 6p. hal-00906190

**HAL Id: hal-00906190**

**<https://hal.science/hal-00906190>**

Submitted on 19 Nov 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Auscultation des chaussées par impact mécanique

J-M SIMONIN<sup>a</sup>, J-C DARGENTON<sup>b</sup>

- a. Université Nantes, Angers, le-Mans - Institut Français des Sciences et Technologies des Transports de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR), route de Bouaye CS4 44344 BOUGUENNAIS  
b. Centre d'Étude et de Conception de Prototypes (CECP), Paradise Avenue, 49000 ANGERS

## Résumé :

*Un choc appliqué à une structure routière produit des phénomènes physiques différents selon la nature du choc (fréquence, intensité). Une sollicitation de quelques kilohertz provoque des vibrations mesurables en surface de la chaussée. La réponse en fréquence est sensible à la présence de dommages internes tels que des vides ou des fissures. Cependant, la bande de fréquences sensibles dépend de la structure étudiée à priori inconnu. Un processus spécifique a été développé pour normaliser les résultats d'essai. Ainsi, une cartographie de la structure de la route peut être présentée.*

## Abstract:

*A shock applied to a road structure produces different phenomena according to the shock characteristics (frequency, intensity). A low frequency impact generates vibrations which can be measured at road surface. The frequency response function is disturbed by the presence of internal damages such as voids or cracks. The sensitive frequency band depends on the tested structure which is usually unknown. A specific process has been developed to standardize the test results. Thus, cartography of the road structure can be presented.*

**Mots clefs : chaussées, auscultation, fonction de transfert, choc, collage**

## 1 Introduction

Les structures de chaussées modernes sont constituées d'un ensemble de couches supposées collées entre elles. L'évaluation de ces structures utilise des techniques non destructives telles que le radar [1], la déflexion [2] ou destructives comme le carottage [3]. Elles visent à déterminer, le nombre de couches, leur épaisseur et leur rigidité ainsi que l'état d'interface entre les couches. Ce dernier paramètre est souvent difficile à estimer, même s'il est essentiel pour évaluer la durabilité résiduelle de la chaussée, ou pour définir la solution d'entretien optimale.

Pour mettre en évidence un défaut d'interface, un impact mécanique a été utilisé dès les années 1960. Guillemin [4] a automatisé l'idée en 1975, avant qu'un système de mesure à avance continue ne soit développé par Le Houedec [5]. Malheureusement, la sollicitation sinusoïdale mono-fréquentielle était trop basse fréquence pour être aussi pertinente qu'un choc qui permet de couvrir une large gamme de fréquences.

En 1991, le retour à l'idée initiale [6], et les avancées technologiques ont permis le développement d'une maquette opérationnelle et d'une méthode d'interprétation de l'essai utile aux ingénieurs routiers [7]. Celle-ci permet une analyse sur toute une gamme de fréquences de la réponse de la chaussée à un choc. Cette méthode se révèle pertinente tant pour le suivi de collage de couche que pour celui de la fissuration verticale [8].

## 2 Description de la méthode

### 2.1 Principe de la méthode

La méthode consiste à appliquer une sollicitation de type choc à la surface de la chaussée et à mesurer la réponse à proximité immédiate. Cette réponse dépend des caractéristiques mécaniques de la structure testée et des conditions aux limites. L'essai est répété généralement à intervalle régulier le long de section de la route que l'on veut étudier. La fonction de transfert entre la réponse de la chaussée et la sollicitation appliquée est calculée en chaque point de mesure en fonction de la fréquence. Le module de cette fonction complexe est étudié. L'analyse compare l'ensemble de ces modules recueillis aux différents points de mesure.

L'application de la méthode sur une portion de chaussée homogène conduit à des fonctions de transfert voisines. Les variations liées à des différences de construction (épaisseur de couche, caractéristique du sol support, ...) sont faibles. Les variations de la fonction de transfert traduisent des différences de comportement qui sont généralement liées à la présence d'un défaut d'interface ou d'une fissure.

Dans le premier cas, la réponse de la chaussée peut se décomposer comme celle de la structure dans son ensemble et de celle de la sous-structure située au-dessus du défaut. Le module de la fonction de transfert correspondant à cette sous-structure est plus élevé que celui de la structure saine. La présence du défaut se traduit par une augmentation du module de la fonction de transfert dans une bande de fréquences plus ou moins large. Cette bande de fréquences dépend de la profondeur, de l'extension et de la nature du défaut (simple décollement ou décohésion de matériau). Le contraste entre les modules des fonctions de transfert dépend de la différence de rigidité entre la structure saine et celui de la sous-structure située au dessus du défaut [9].

Dans le second cas, la présence d'une fissure verticale (même partielle et non visible en surface) est équivalente à un changement de conditions aux limites de la structure (bords libres). Elle se traduit par une augmentation localisée du module de la fonction de transfert au voisinage de la fissure.

La méthode consiste à exploiter ces variations de module de la fonction de transfert pour un ensemble de mesures. On calcule dans un premier temps un module de référence correspondant à la chaussée saine. Celui-ci est utilisé pour normaliser les résultats à chaque fréquence. On obtient ainsi un dommage structural compris entre 0 et 1 pour chaque essai et chaque fréquence. Une carte de ce dommage est construite pour mettre en évidence les zones endommagées.

### 2.2 Application de la méthode

Lors de la réalisation des essais, on réalise en chaque point de mesure plusieurs chocs consécutifs. Ainsi, on calcule en chaque point de mesure,  $i$ , une fonction de cohérence,  $\gamma(i, f)$ , et une fonction de transfert,  $T(i, f)$ , fonctions du point de mesure et de la fréquence,  $f$ . La fonction de cohérence permet de s'assurer que la réponse mesurée est bien issue de la sollicitation appliquée. Ainsi, les valeurs de fonction de transfert invalides sont éliminées.

Pour déterminer le module de la fonction de transfert de référence,  $T_{réf}(f)$ , représentatif de la structure saine, on considère la population des modules des fonctions de transfert,  $\{|T(i, f_k)|\}$ , à une fréquence donnée,  $f_k$ . La valeur de référence à cette fréquence,  $|T_{réf}(f_k)|$ , est prise égale à un percentile prédéfini de la population. On adopte généralement le percentile 20 qui permet d'obtenir une valeur faible représentative de la structure saine tout en s'affranchissant des mesures aberrantes. L'ensemble des valeurs de référence permet de reconstruire une courbe simulée représentative du module de la fonction de transfert de la structure saine,  $|T_{réf}(f)|$ .

Le calcul du dommage consiste à normaliser le module de la fonction de transfert à l'aide des valeurs du module de la fonction de transfert de référence pour obtenir une valeur comprise entre 0 et 1 pour l'ensemble des fréquences. Le dommage,  $D(i, f_k)$ , se calcule en chaque point de mesure et pour chaque fréquence en utilisant l'équation ci-dessous :

$$D(i, f_k) = \begin{cases} 0 & \text{si } |T(i, f_k)| < |T_{réf}(f_k)| \\ 1 - \frac{|T_{réf}(f_k)|}{|T(i, f_k)|} & \text{dans le cas contraire} \end{cases} \quad (1)$$

On obtient alors une matrice des dommages. Cette matrice est utilisée pour construire une carte de dommage avec en abscisse, l'abscisse des points de mesure, en ordonnée, les fréquences, et en code couleur, le niveau de dommage.

Cette carte des dommages peut être utilisée directement par l'ingénieur routier pour localiser la présence de défauts visible ou non en surface. Les fréquences sensibles à la présence de ce défaut le renseignent également sur le type de défaut rencontré. Généralement, plus les fréquences sensibles sont basses, plus le défaut est nuisible à la durabilité de la structure. Les défauts sont soit de plus grandes dimensions (décimétrique ou plus) soit enfouis à une profondeur plus importante touchant les couches de structure.

Pour faciliter la présentation des résultats au client ou pour stockage dans certaines bases de données, on calcule souvent un indicateur multifréquence. Celui-ci consiste à calculer pour chaque point de mesure la moyenne des valeurs individuelles de dommage normalisé, dans une bande de fréquences définies. Les bandes de fréquences sont choisies en fonction des résultats observés sur la carte des dommages. On choisit généralement une bande de fréquences basses (entre 300 et 1000 Hz) et une bande de fréquences plus élevées (entre 1000 et 3000 Hz).

### 3 Exemples d'utilisation

#### 3.1 Recherche de défauts d'interface

La section auscultée est une section expérimentale du manège de fatigue du LCPC Nantes (simulateur circulaire de trafic de poids lourd) comportant des défauts d'interface insérés dans la structure. Celle-ci repose sur une plateforme et est constituée de 0,20 m de Grave Reconstitué Humidifiée (GRH), de 2 couches de Grave bitume (GB) de 0,10 m et d'une couche de roulement de 0,06 m de Béton Bitumineux (BB). Des défauts d'interface de taille et nature différente sont insérés entre les deux couches de GB et entre la couche de roulement et la couche supérieure de GB (Tableau 1). On réalise un profil en long au dessus de ces défauts avec un intervalle entre 2 mesures consécutives adapté à la taille du défaut recherché.

Tableau 1 : Récapitulatif des défauts, de leur localisation et de leurs fréquences sensibles

Défaut	Localisation (m)	Fréquences sensibles (Hz)	Nature
D1A	1,45 – 2,10	4000 – 8000	Kraft BB/GB (2,5x1,0m)
D1B	3,50 – 4,35	4000 – 5400	Kraft à l'interface GB/GB (2,5 x 1,0 m)
D1C	5,40 – 6,5	1000 – 4700	Sable à l'interface GB/GB (2,5 x 1,0 m)
D2C	7,25 – 7,75	1100 – 4600	Sable à l'interface GB/GB (0,5 x 0,5 m)
D3A	9,1 – 9,35	5000 – 5800	Kraft à l'interface BB/GB (0,2 x 0,2 m)

La carte des dommages (figure 1) présente le dommage individuel calculé en fonction de l'abscisse et de la fréquence. On localise les plus grands défauts (notés D1A, D1B, D1C et D2C), et celui de petite taille en téflon (abscisse 9,9 m).

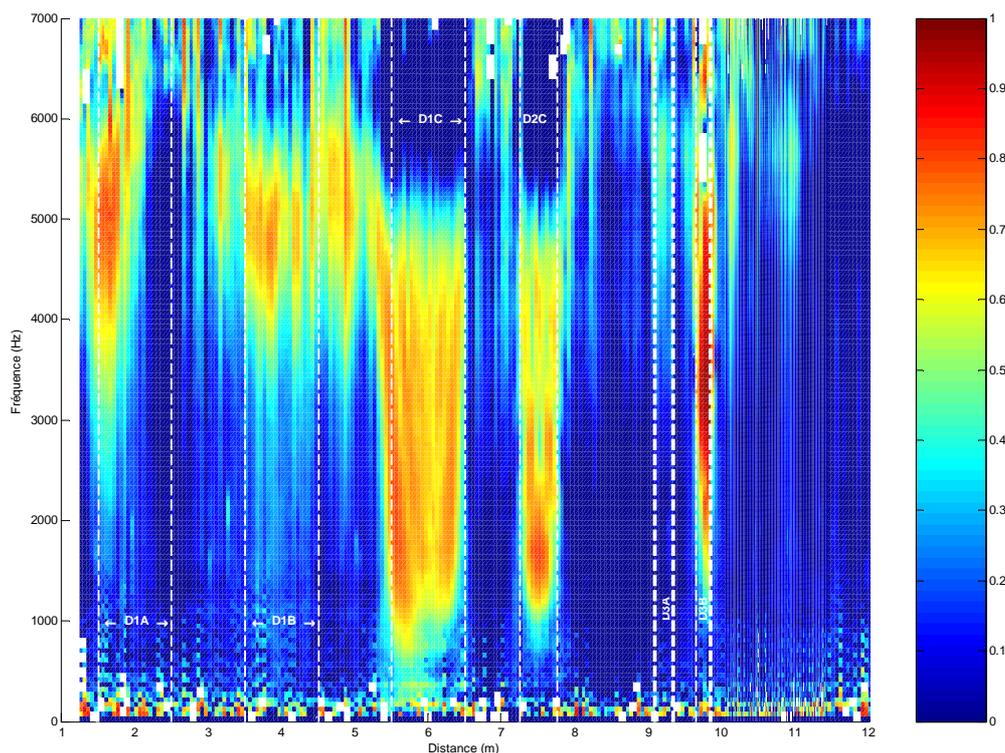


FIG. 1 – Carte des dommages sur la section test comportant différents défauts d'interface.

On observe que la nature des défauts influence la bande de fréquences sensibles. La présence de sable (D1C et D2C) qui représente un défaut plus important conduit à des fréquences sensibles plus basses qu'un défaut de papier Kraft de même surface à la même profondeur (D1B). Le tableau 1 récapitule les caractéristiques des différents défauts.

### 3.2 Comparaison de procédé anti-remontée de fissure

La zone auscultée est une partie d'une expérimentation sur le fonctionnement des fissures réfléchives sollicitées par les machines de fatigue linéaire appelée FABAC du LCPC Nantes. La structure est composée de 0,08m béton reposant sur une ancienne structure. Le béton est fissuré par sciage. L'expérience vise à tester différents systèmes anti-remontée de fissures qui ont recouvert le béton. On s'intéresse à une fissure (joint 3) située dans une zone témoin (joint 3) et à une fissure (joint 7) située au niveau d'un composé innovant de 0,06 m d'épaisseur également.

On réalise au dessus de chaque fissure une auscultation en début d'expérience et après passage de 3 millions de chargement lourd (65 kN) suivant plusieurs profils longitudinaux dans et hors des bandes de roulement des charges. Pour chaque profil, les mesures sont effectuées sur 50 cm de part et d'autre de la fissure, à raison d'une mesure tous les 2 cm pour une distance à la fissure inférieure à 20 cm, et tous les 5 cm à une distance supérieure.

Une première analyse a permis de montrer qu'une fonction de référence unique pour chaque joint pouvait être adoptée.

La figure 2 présente, pour un profil situé dans une bande de roulement du joint 3, les cartes des dommages obtenues en début et en fin d'expérience. L'image à l'état final montre un dommage plus important (plus rouge) au voisinage de la fissure. La méthode est sensible à une plus grande distance de la fissure située à l'abscisse nulle. Il est difficile de dire si cette sensibilité vient de la fissure qui s'est propagée dans la couche de roulement ou de l'interface décollé au voisinage de la fissuration.

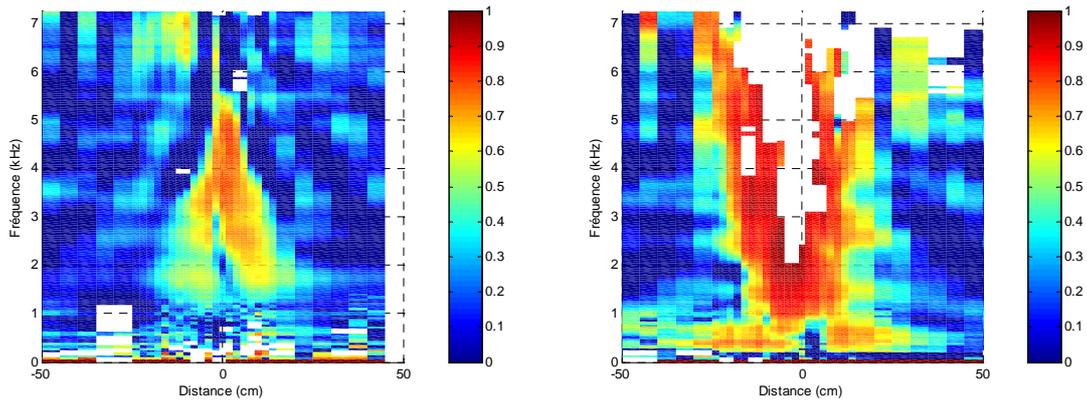


FIG. 2 – Comparaison de la carte de dommage en début et en fin d'expérience

La figure 3 compare le dommage moyen calculé sur l'intervalle 1000 – 5000 Hz, pour un profil en bande de roulement des joints 3 et 7 aux états initial et final. A l'état initial, les courbes sont très voisines. Par contre, à l'état final, on observe que le dommage du joint 3 est concentré au voisinage du joint, tandis que celui du joint 7 est plus étendu. Cette différence s'explique par l'évolution de la qualité d'état de l'interface qui s'est dégradée sur l'ensemble du joint 7 alors que la dégradation est restée localisée pour le joint 3.

Cette conclusion a été confirmée par des essais de carottages en fin d'expérience, montrant ainsi que la durabilité du procédé proposé n'était pas suffisante.

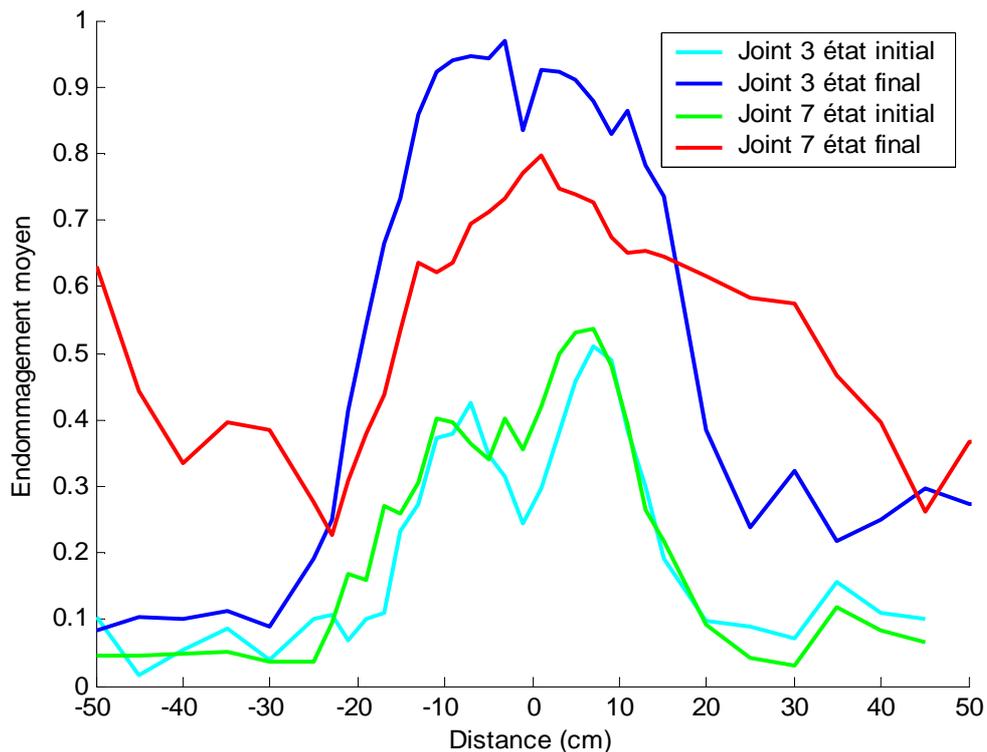


FIG. 3 – Comparaison de l'indicateur de dommage moyen en début et en fin d'expérience pour 2 procédés de réparation

## 4 Conclusions et perspectives

L'auscultation des chaussées par impact mécanique dans une gamme de fréquences basses (<5000Hz), est une méthode non destructive adaptée à la détection de défaut d'interface ou de fissure non visible en surface. Elle peut être utilisée dans le cadre du diagnostic d'un chantier ou du suivi dans le temps de nouvelle solution. Elle est complémentaire des autres méthodes non-destructive d'auscultation structurelles comme la mesure de déflexion sous charge lourde ou l'utilisation d'ondes radar qui sont moins sensibles à ces types de défauts. Une méthode d'exploitation des mesures a été construite pour donner à l'ingénieur routier des résultats simples à exploiter et à présenter aux maîtres d'ouvrages.

La maquette de recherche utilisée sur des chantiers expérimentaux a confirmé la faisabilité de la méthode, mais aussi la nécessité de construire un appareil plus adapté aux conditions de chantier. Aujourd'hui un prototype est en cours de construction pour répondre au besoin de demain. Le principal obstacle à l'utilisation de cette méthode reste la mesure de la réponse en surface de la chaussée. Les développements actuels en matière de mesure sans contact laissent entrevoir des progrès significatifs sur le rendement des futurs appareils.

Les essais mécaniques dynamiques appliqués aux structures de chaussées laissent entrevoir un potentiel important pour compléter les méthodes actuelles qui se limitent souvent à une hypothèse de charge lourde statique. Ainsi, l'utilisation d'ondes de compression (méthode impact écho) de Rayleigh ou de Lamb commence à apparaître illustrant un regain d'intérêt de ces méthodes pour le diagnostic structurel des routes.

## Références

- [1] Dérobert X., Techniques radar appliquées au génie civil, LCPC, Études et recherches des LPC, Sciences pour l'ingénieur n°19, Octobre 2003, 109 pages.
- [2] Simonin J-M. et al., Études routières - Déformabilité de surface des chaussées - Exécution et exploitation des mesures, LCPC, Méthode d'essai LPC n°39, Avril 1997.
- [3] Lepert Ph. et al., Études routières - Exécution et exploitation des carottages de chaussées, LCPC, Méthode d'essai LPC n° 43, Novembre 1996.
- [4] Guillemin R., Le collomètre : Dispositif de détection des défauts au voisinage de l'interface béton bitumineux - assise traitée, Bulletin de Liaison des LPC, n°80, Nov.-déc. 1975, pp19-21.
- [5] Le Houedec D., Marchand J-P, Riou Y., Approche théorique sur le comportement d'une chaussée soumise à l'action d'un appareil d'auscultation dynamique : Le collographe, Annales des Ponts et Chaussées, Vol 27, p25-38, 1983.
- [6] Bats-Villard M., Influence des défauts de liaison sur le dimensionnement et le comportement des chaussées, Thèse de doctorat, Université de Nantes, 1991.
- [7] Simonin J-M. et al., Études routières - Auscultation dynamique des chaussées - Exécution et exploitation des mesures, LCPC, Méthode d'essai LPC n°70, Mars 2009.
- [8] Perez S. A, Approche expérimentale et numérique de la fissuration réfective des chaussées, Thèse de doctorat, université de Limoges, France, 2008.
- [9] Simonin J-M., Contribution à l'étude de l'auscultation des chaussées par méthode d'impact mécanique pour la détection et la caractérisation des défauts d'interface, Thèse de doctorat, INSA de Rennes, France, 2005.