



**HAL**  
open science

## Etude de la réponse dynamique d'une chaussée sous une force d'impact

Chérif Asli, Zhi-Qiang Feng, Gérard Porcher, Jean-Jacques Rinent

### ► To cite this version:

Chérif Asli, Zhi-Qiang Feng, Gérard Porcher, Jean-Jacques Rinent. Etude de la réponse dynamique d'une chaussée sous une force d'impact. 9e colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2009, Giens, France. hal-01499166

**HAL Id: hal-01499166**

**<https://hal.science/hal-01499166>**

Submitted on 31 Mar 2017

**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.

Public Domain

# Etude de la réponse dynamique d'une chaussée sous une force d'impact

C. Asli<sup>1,2</sup>, Z.-Q. Feng<sup>1</sup>, G. Porcher<sup>1</sup>, J.-J. Rincenc<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Mécanique et d'Energétique d'Evry  
Université d'Evry-Val d'Essonne, 40 rue du Pelvoux, 91020, Evry, France  
{asli,feng,porcher}@iup.univ-evry.fr

<sup>2</sup> Rincenc BTP Services  
39 rue Michel Ange, 91026, Evry, France  
jean-jacques.rincenc@rincencbtp.fr

---

**Résumé** – Cette étude propose une approche expérimentale et numérique pour l'analyse dynamique de la réponse d'une chaussée semi rigide sous un impact. L'étude expérimentale est établie en effectuant, dans le domaine temporel et fréquentiel, un traitement et une analyse des données obtenues à l'aide d'une instrumentation appropriée de la chaussée. Pour la modélisation numérique, une analyse élasto-dynamique est adoptée pour la simulation de la réponse dynamique de la chaussée. La corrélation entre les résultats expérimentaux et les résultats numériques ont montré l'efficacité de cet outil numérique pour prédire le comportement dynamique de la chaussée.

**Mots clés** – chaussée, impact, éléments finis, approche expérimentale.

---

## 1 Introduction

La croissance du volume de trafic sur les réseaux routiers, ces dernières années, ainsi que la vitesse et le poids des véhicules, a soulevé une polémique fortement justifiée sur la fiabilité de l'utilisation des méthodes analytiques et empiriques pour l'évaluation des chaussées. Les gestionnaires des routes et les autorités locales sont en quête permanente d'un outil fiable qui leurs permettent d'élaborer une stratégie de maintenance et de réhabilitation de ces infrastructures.

Pour répondre à ce besoin, le développement des techniques non destructives pour évaluer l'état structurel de la chaussée ne cesse de croître. Car elles permettent de fournir les paramètres nécessaires pour établir un diagnostic sur leur état fonctionnel. Selon le mode d'analyse utilisé, les méthodes non destructives sont classées principalement en deux catégories : les premières sont basées sur l'analyse spectrale de la propagation des ondes dans le milieu de la chaussée, alors que les deuxièmes leur principe est basé sur l'analyse du bassin de déflexion générée par une sollicitation statique ou dynamique [1, 2]. Si les premières ne permettent de fournir que les propriétés physiques de la structure en raison de faible énergie de sollicitation, les dernières, en revanche, en raison de leur capacité de reproduire l'action du pneu d'un poids lourd sur la chaussée, fournissent les paramètres nécessaires à l'évaluation des chaussées [2]. Cependant, ces paramètres ne sont pas établis directement, ils sont souvent obtenus par utilisation des méthodes inverses qui sont souvent fondés sur des modèles et hypothèses statiques [3]. Car ils exploitent seulement les valeurs maximales de la déflexion enregistrées en un ou plusieurs points de la surface de la chaussée bien qu'elles apparaissent en même temps. La nature dynamique de la sollicitation caractérisée par sa vitesse, sa durée et son intensité,

génère une réponse dynamique aussi complexe. Ainsi l'adoption du modèle élasto-statique pour l'analyse de la réponse dynamique de la chaussée engendre des erreurs pour l'évaluation des propriétés mécaniques de la chaussée. Ces erreurs sont dues principalement à la négligence des termes inertiels [4-6]. Ainsi, l'utilisation des méthodes numériques constitue une alternative pour ce type de problèmes.

L'objectif principal de cette étude est d'établir une analyse élasto-dynamique de la réponse de chaussée à une force d'impact, en utilisant la méthode des éléments finis. Le code de calcul FER/Impact a été utilisé [7]. Le modèle implanté dans ce code se caractérise par la combinaison de la méthode du bi-potential pour la résolution des problèmes de contact et l'adoption du schéma d'intégration de premier ordre pour la discrétisation temporelle [8].

## 2 Etude expérimentale

Les essais sont effectués sur une chaussée de type semi rigide, constituée d'une couche de surface en béton bitumineux de 50 mm d'épaisseur et d'une couche de base en grave ciment de 250 mm d'épaisseur reposant sur le sol en place. Le Tableau 1 répertorie les propriétés des différents matériaux [9]. L'instrumentation de la chaussée est réalisée en utilisant une plaque de chargement de diamètre extérieur de 150 mm et le diamètre intérieur est de 50 mm posée sur la surface de la chaussée, une masse équipée d'un capteur de force, permet de générer un impact. Un géophone inséré au centre de la plaque et collé à la chaussée permet de traduire la réponse de la chaussée en signal électrique.

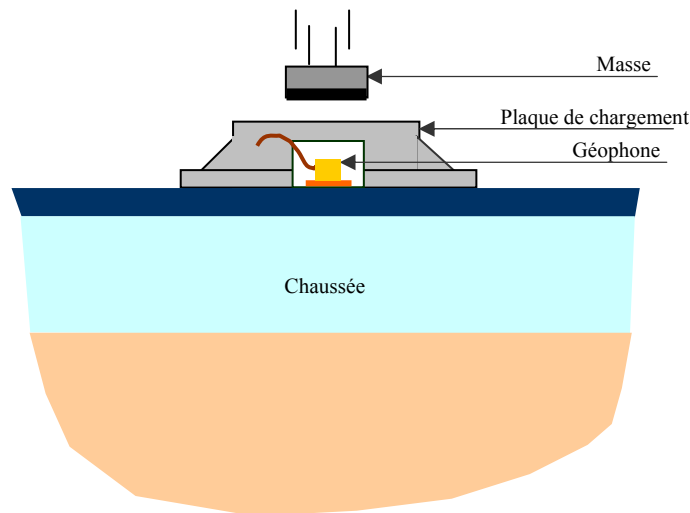


Figure 1 - Instrumentation de la chaussée

	E [Mpa]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	$\nu$	Vp [m/s]	h[m]
Couche de surface (BB)	5400	2350	0.35	19200.05	
Couche de base (GC)	23000	2350	0.25	34500.25	
Sol support	120	1100	0.35	418	infini

Tableau 1 - Caractéristiques mécaniques et géométriques

L'acquisition des données est effectuée sur deux voies d'acquisition filtrées avant numérisation, l'échantillonnage est réalisé simultanément avec une cadence de 20 kHz, soit un

intervalle de temps entre deux échantillons de 0.05 millisecondes. Cette fréquence permet d'acquérir 2000 échantillons sur la durée d'acquisition de 100 millisecondes. La Fig.2 montre un exemple de signaux de force et de vitesse enregistrés durant les essais.

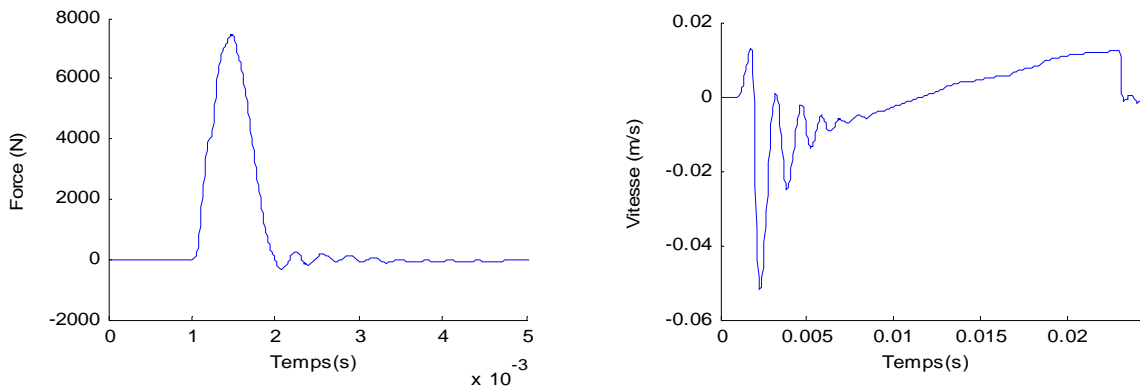


Figure 2 - Signal de force et de vitesse

Dans le but d'une analyse spectrale, les données temporelles sont transformés dans le domaine fréquentiel en utilisant la transformée de Fourier. Cette dernière qui est l'outil le plus utilisé dans le traitement du signal, permet de décomposer le signal temporel en une somme de fonctions sinusoïdales de différentes fréquences et amplitude.

$$F(f) = \sum_{n=1}^N f(n).e^{j2\pi(k-1)(\frac{n-1}{N})} \quad V(f) = \sum_{n=1}^N v(n).e^{j2\pi(k-1)(\frac{n-1}{N})}$$

avec  $1 \leq k \leq N$  et  $N$  est le nombre d'échantillons.

Ce qui permet ainsi d'examiner le contenu fréquentiel de chaque signal. La Fig. 3 présente les spectres de la force et de la vitesse de signaux temporels précédemment acquis.

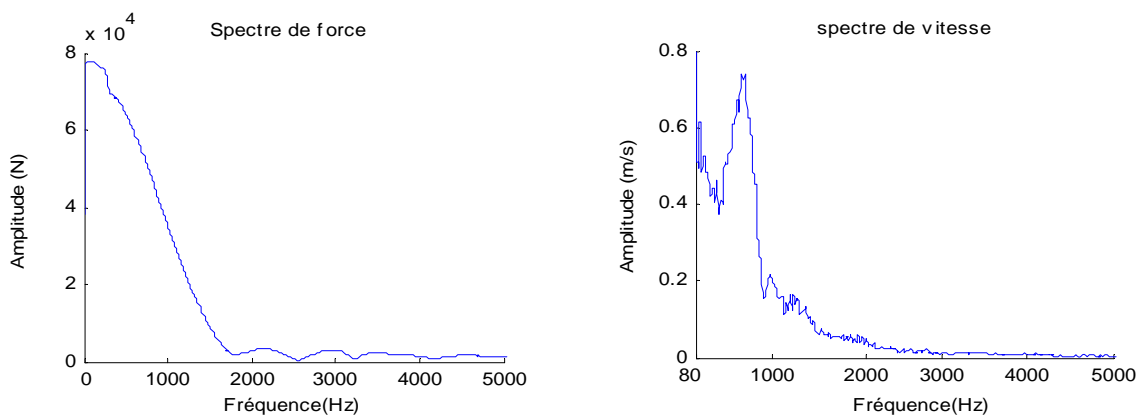


Figure 3 - Spectre de force et de vitesse

L'analyse spectrale est complétée par l'élaboration de la fonction de transfert (mobilité) qui matérialise dans le domaine fréquentiel le rapport entre la transformée de Fourier de la vitesse et

celle de la force.

$$M(f) = \frac{V(f)}{F(f)}$$

où  $f$  est la fréquence.  $V(f)$  et  $F(f)$  sont respectivement la transformée de Fourier de la vitesse et de la force obtenues à l'aide de la transformée de Fourier rapide implantée dans MATLAB.

L'analyse de la courbe de mobilité permet ainsi de caractériser la structure de chaussée et d'extraire les propriétés géométriques et mécaniques.

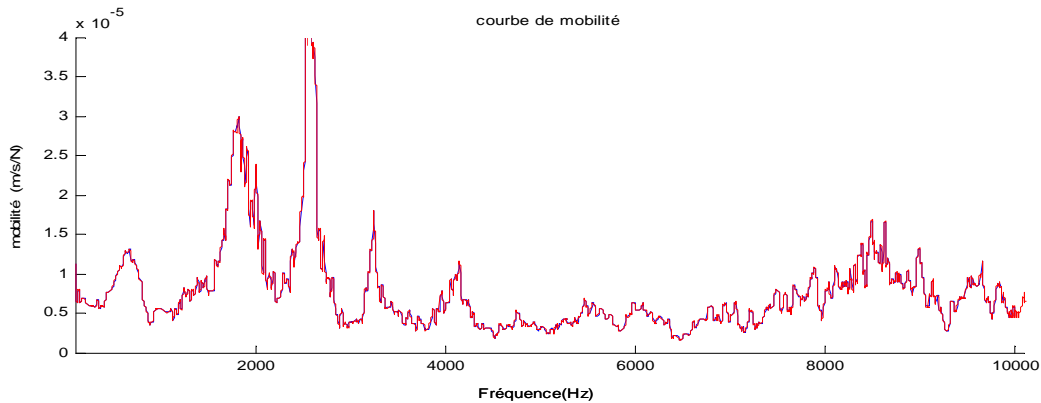


Figure 4 - Courbe de mobilité

### 3 Etude numérique

Dans l'étude numérique, le modèle axisymétrique est adopté pour la chaussée. Considérée un système linéaire élastique, elle est constituée de trois couches homogènes et isotropes. La Fig. 5 présente le maillage et les conditions aux limites imposées à la structure. L'utilisation d'un maillage fin dans la zone d'impact permet d'augmenter la précision des résultats numériques. Les dimensions du modèle sont 1.5 m de rayon et 1.8 m pour la profondeur. Les autres caractéristiques sont données dans le Tableau 1.

La force d'impact génère dans la chaussée différentes ondes de contraintes qui se propagent dans son milieu. La Fig. 6 montre l'évolution des contraintes de Von Mises près de la zone d'impact. Il est important de souligner que dans une analyse élasto-statique, le phénomène d'impact n'est pas pris en compte. Par conséquent, une telle distribution des contraintes ne peut être visualisée.

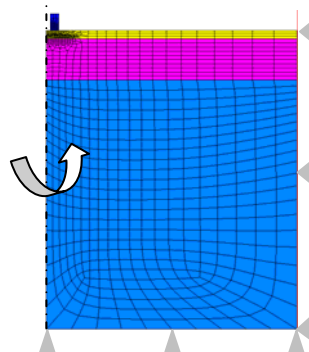


Figure 5 - Modèle éléments finis

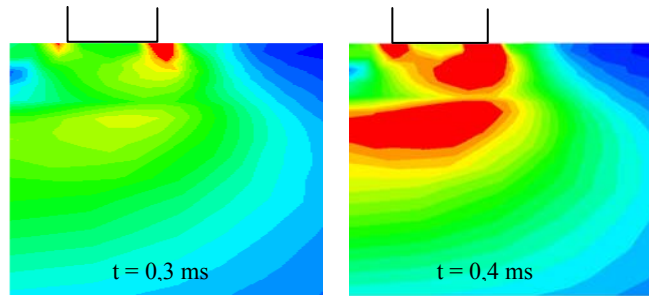


Figure 6 - Contraintes de Von Mises et leur évolution dans le temps

Dans l'objectif de corréler les résultats numériques et les résultats expérimentaux, nous avons tracé les courbes de l'évolution de la force d'impact et la vitesse du point central en fonction du temps (Fig 7). Les résultats obtenus montrent, d'une manière qualitative, une similitude dans leurs évolutions avec les résultats expérimentaux. Pour une corrélation quantitative, nous pouvons dire que les essais sont effectués sur une chaussée dont les propriétés ne coïncident pas avec celles données par les concepteurs et répertoriées dans le Tableau 1. De l'autre côté, l'utilisation d'un marteau d'impact pour la sollicitation ne vérifie pas les mêmes conditions initiales utilisées dans la modélisation numérique. Ceci explique les causes de l'obtention des résultats différents.

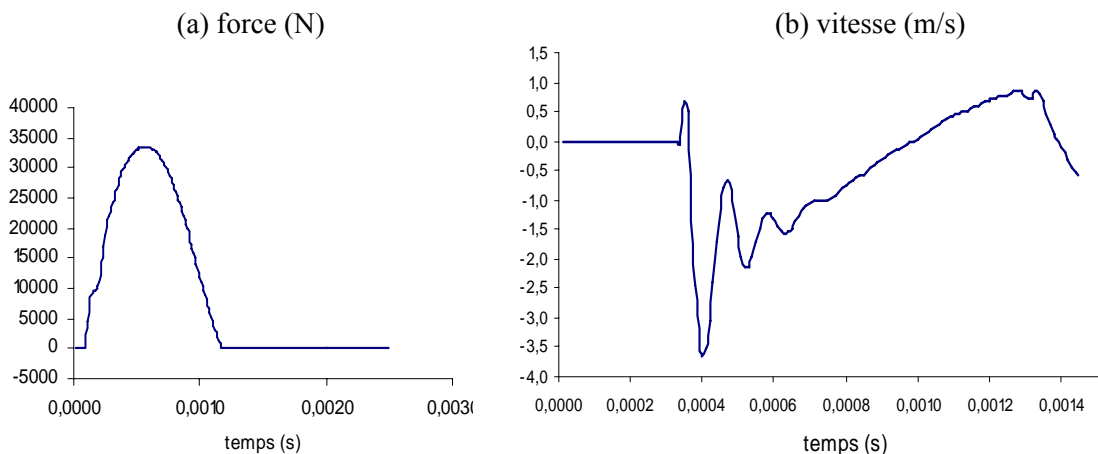


Figure 7 - Résultats numériques

## 4 Conclusion

Dans cette étude, une approche expérimentale et une approche numérique sont présentées pour l'analyse de la réponse dynamique de la chaussée sous une force d'impact. L'analyse élasto-dynamique a été établie en utilisant la méthode des éléments finis. Comparé à l'analyse élasto-statique, les résultats numériques montrent bien l'efficacité de notre modèle à simuler le comportement réel de la chaussée soumise à un impact. De façon qualitative, l'approche expérimentale et l'approche numérique présentent une similitude dans les résultats obtenus pour la force et la vitesse. Ainsi la suite de notre travail consiste à l'établissement d'une corrélation quantitative.

## Références

- [1] J. M. Roesset, Non-destructive dynamic testing of soils and pavements, *Journal of Science and Engineering*, 1:61-81 (1998).
- [2] G. Hildebrand, *Verification of flexible pavement response from a field test*, VI Report 121, Danish Road Institute (2002).
- [3] A. B. Goktepe, E. Agar, A. Hilmi Lav, Advances in backcalculating the mechanical properties of flexible pavements, *Advances in Engineering Software*, 37:421–431 (2006).
- [4] B. Picoux, A. El Ayadi, C. Petit, Dynamic response of a flexible pavement submitted by impulsive loading, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 29:845-854 (2009).
- [5] D. F. E. Stolle, D. K. Hein, Assessment of the impact of layer moduli on measured surface deflections. Conference of the FWD and road profilers user Groups (2002).
- [6] Y. Ji, F. Wang, M. Luan, Z. Guo, A simplified method for dynamic response flexible pavement and applications in time domain backcalculation, *Journal of American science*, 2:70-81 (2006).
- [7] Z.-Q. Feng, B. Magnain, J.-M. Cros, FER/Impact : Logiciel de simulation numérique des problèmes d'impact, *Revue Européenne de Mécanique Numérique*, 5:175-186 (2006).
- [8] Z.-Q. Feng, P. Joli, J.-M. Cros, B. Magnain, The bi-potential method applied for the modeling of dynamic problems with friction, *Comput. Mech.*, 36:375–383 (2005).
- [9] J. M. Simonin, *Contribution à l'étude d'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)