
Détection des défauts d'interfaces entre couches de chaussées à l'aide de la déflexion de surface

Etudes numériques

Savuth Chea, Juan Martinez

*Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique
EA 3913, INSA de Rennes
20 avenue des Buttes de Coësmes,
35043 Rennes Cedex.*

Savuth.Chea@ens.insa-rennes.fr, Juan.Martinez@insa-rennes.fr

RÉSUMÉ. Dans le but d'identifier les défauts d'interfaces entre les couches bitumineuse et hydraulique des chaussées mixtes, des simulations par éléments finis de la déflexion sous charge ont été faites avec plusieurs géométries des défauts. Les résultats montrent que la dérivée première de la courbe de déflexion est un indicateur approprié de l'étendue des défauts.

ABSTRACT. In order to identify the interface flaws between bituminous and hydraulic layers of composite pavements, finite element simulations of the deflection under loading were carried out with different flaw geometry. The results show that the first derivative of the deflection curve is a suitable indicator of the flaw extent.

MOTS-CLÉS : auscultation, multicouche, éléments finis, deflectomètre

KEYWORDS : pavement evaluation, multilayer, infinite elements, deflectometer

1. Introduction

Les défauts de liaison aux interfaces entre couches de chaussées ont une influence très défavorable sur la durée de vie des structures (Bats-Villard, 1991), (Ratanavong, 2003). Ces défauts proviennent, soit de malfaçons à la mise en oeuvre soit de la difficulté à obtenir un bon collage entre certains matériaux, notamment entre couches bitumineuses et hydrauliques. Il est donc important de détecter ces défauts à l'aide de méthodes adéquates d'auscultation des chaussées, de préférence non destructives, telles que des méthodes électro-magnétiques (Farooghi, 2005) ou de propagation d'ondes mécaniques (Simonin, 2005). Le présent travail de recherche est consacré à la détection des défauts d'interface par la mesure de la déflexion (déplacement vertical) sous charge à la surface d'une chaussée mixte. Divers appareils permettent la mesure de la déflexion tels que le Falling Weight Deflectometer (Lepert, Simonin, Kobisch, 1997), le dséflexographe Lacroix (Keymanesh, 2001), le curviamètre (Paquet, 1977) ou le High Speed Deflectograph (Simonin, Lèvre, Rasmussen, Hildebrand, 2005). Dans la phase actuelle de la recherche, l'approche adoptée est essentiellement numérique : on procède au calcul par éléments finis d'un ensemble de structures sous un chargement standard, lesquelles diffèrent par l'étendue des défauts et par le type de modélisation : symétrie de révolution, calcul 3D.

2. Hypothèses et données des simulations

2.1 Structures et matériaux

La structure adoptée pour le calcul est une structure mixte du catalogue des chaussées neuves (SETRA-LCPC, 1998) dont les caractéristiques sont données dans le tableau 1. Les matériaux de chaussée sont élastiques linéaires, avec les paramètres standards. Le comportement des interfaces suit deux hypothèses extrêmes : adhérence parfaite (continuité des déplacements) et glissement parfait (contrainte de cisaillement nulle). Seul l'interface entre les couches de grave bitume et de grave ciment est considérée comme parfaitement glissante. Les interfaces entre les autres couches sont considérées comme parfaitement adhérentes.

Matériau	Épaisseur	Module d'Young	Coef. de Poisson
	cm	MPa	
Béton Bitumineux	8	5400	0.35
Grave Bitume type 3	15	9300	0.35
Grave Ciment type 3	21	23000	0.25
Sol support PF2	Semi-infinie	50	0.35

Tableau 1. Caractéristiques des structures de chaussée.

2.2. Maillage et conditions aux limites

Le chargement appliqué est l'essieu de référence de la méthode française de dimensionnement (SETRA-LCPC, 1994). La charge de trafic est statique et centrée sur le défaut dont la dimension est variable (figure 1).

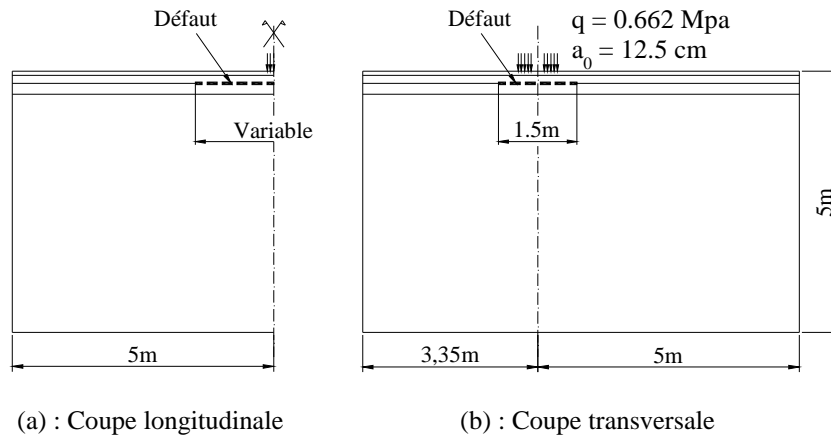


Figure 1. Modélisation 3D de la chaussée (éléments infinis non représentés).

On utilise le logiciel ABAQUS[®] (2003) avec des éléments quadratiques:

- en symétrie de révolution (SR) : éléments à 8 nœuds,
- en calcul tridimensionnel (3D) : éléments à 20 nœuds.

En outre, des éléments infinis (Abaqus, 2003), (Bettess, 1992) sont utilisés pour simuler des frontières à l'infini. Une étude préalable a montré que l'utilisation de tels éléments permet de retrouver la solution analytique du problème axisymétrique (Burmister, 1943) dans le cas d'interfaces infinies parfaitement adhérentes ou parfaitement glissantes.

Dans les calculs par éléments finis, l'interface glissant est modélisée par une condition de non interpénétration des éléments adjacents avec continuité des contraintes normales et possibilité de décollement éventuel.

Dans le calcul SR, on fait varier le rayon a de l'interface glissante ; dans le calcul 3D, la zone glissante est assimilée à un rectangle de largeur constante 1.5 m et de longueur variable $2a$. Le nombre total de degrés de liberté est de 8388 dans le calcul SR et de 231495 dans le calcul 3D. Les maillages adoptés sont présentés sur les figures 2 et 3.

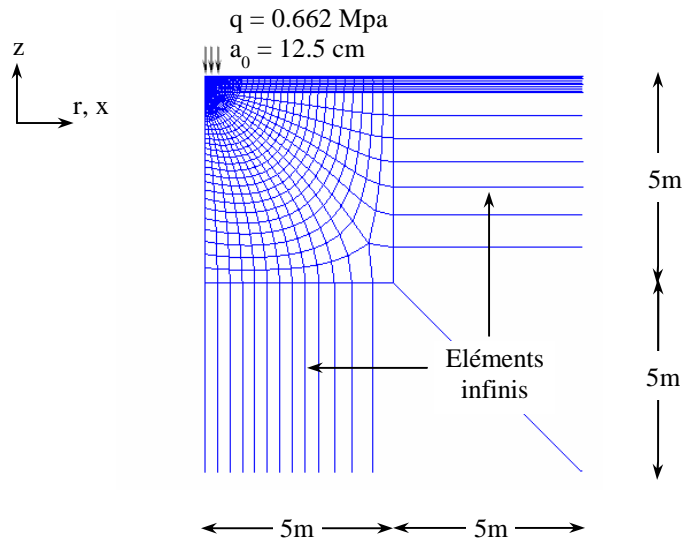


Figure 2. Maillages adoptés pour le calcul en SR

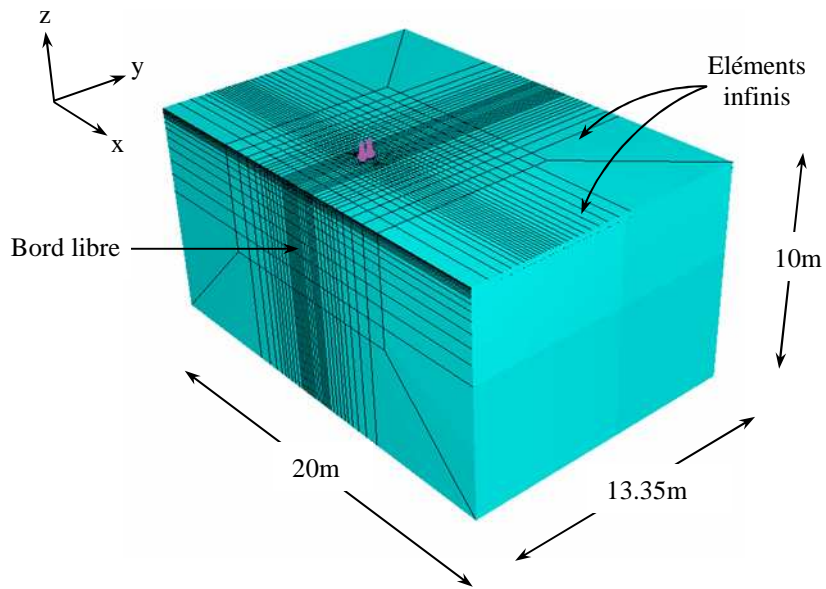


Figure 3. Maillages adoptés pour le calcul en 3D

3. Résultats

La déflexion maximale d , qui constitue un paramètre important d'auscultation structurelle, est présentée sur la figure 4 pour différentes étendues du défaut et différentes hypothèses de simulation. En symétrie de révolution, pour les cas extrêmes d'absence de défaut ($a = 0$) et de défaut de grande étendue ($2a = 10$ m) les résultats aux éléments finis sont identiques à ceux donnés par la méthode analytique de Burmister (programme Alizé®).

On observe que la déflexion maximale est croissante avec l'étendue du défaut ce qui s'explique par la diminution résultante de la rigidité flexionnelle du système multicouche. Cependant au-delà d'une certaine valeur, l'étendue du défaut n'a plus d'influence sur la déflexion maximale. Par ailleurs, pour les défauts de faible étendue ($a < 2.5$ m), la déflexion donnée par le calcul 3D est supérieure à celle résultant du calcul SR, compte tenu de l'existence d'un bord libre. En revanche, pour les défauts plus étendus ($a > 2.5$ m) l'ordre des courbes est inversé, du fait de la largeur bornée des défauts 3D. La variation plus importante de la surface des défauts SR avec la longueur a produit un écart plus important de la déflexion maximale correspondante facilement observable sur la figure.

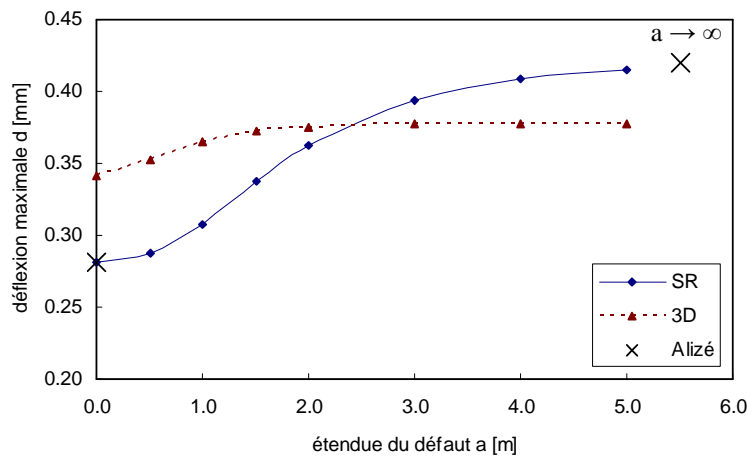


Figure 4. Relation entre la déflexion maximale et l'étendue du défaut

Les courbes de déflexion sont tracées le long du plan vertical longitudinal passant par le centre du chargement (figure 5). La présence des défauts n'affecte ces courbes que dans une zone située à proximité de la charge (jusqu'à environ 1 m dans le cas 3D), influençant ainsi non seulement la déflexion, mais également la

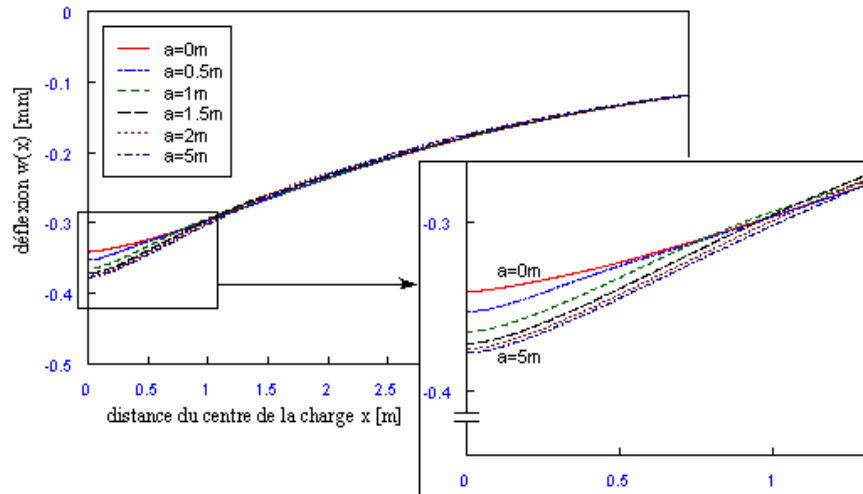


Figure 5. Courbes de la déflexion (3D)

courbure dans cette zone. Au-delà de cette zone les différentes courbes se confondent.

Certains appareils d'auscultation mesurant, non pas la déflexion, mais la dérivée première ou seconde de celle-ci, nous présentons ci-après les courbes de la dérivée première, calculée par la méthode des différences divisées (Nougier, 1989).

Les résultats (figures 6 et 7) mettent en évidence une influence assez marquée de l'étendue du défaut sur la forme de la dérivée première de la déflexion. D'une part, les valeurs maximales de la dérivée sont croissantes avec a , d'autre part, et surtout, l'abscisse du bord du défaut est très nettement identifiable sur les courbes dérivées, lesquelles présentent un minimum local à cet endroit. Au-delà de ce point, les différentes courbes se confondent.

La courbe de la dérivée première apparaît donc comme un meilleur indicateur de l'étendue du défaut que la courbe de déflexion.

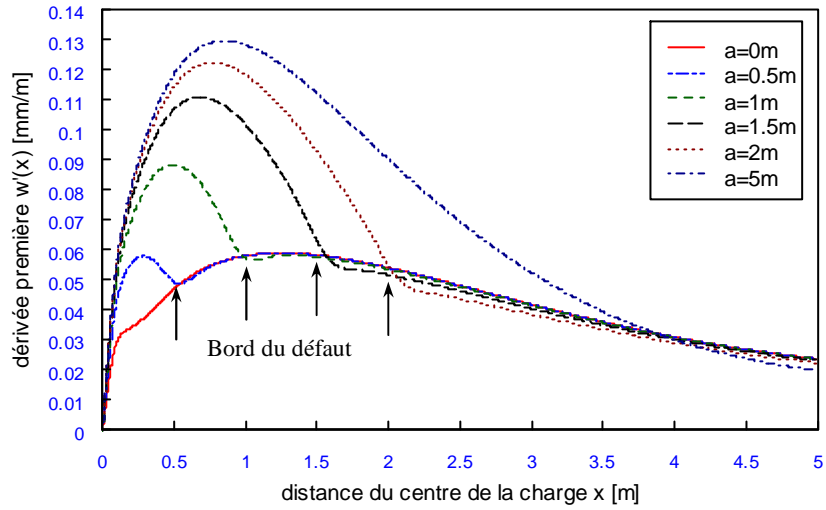


Figure 6. Courbes de la dérivée première (SR)

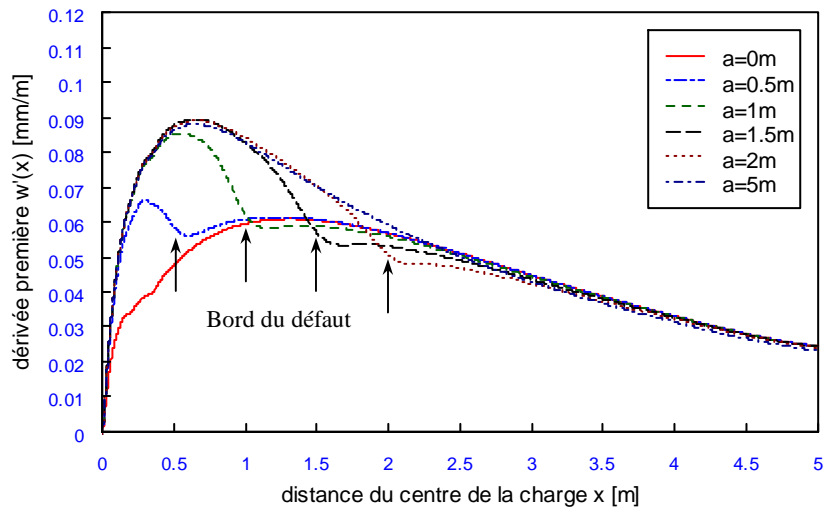


Figure 7. Courbes de la dérivée première (3D)

4. Conclusions et perspectives

Les simulations numériques effectuées sur une chaussée mixte ont montré que la présence de défauts d'interface affecte la valeur de la déflexion maximale et la forme de la courbe de déflexion dans une zone environnant la charge. En outre la dérivée première de la déflexion s'avère être un bon indicateur de l'étendue du défaut d'interface. Ces résultats doivent être confirmés avec des modèles plus réalistes des interfaces (frottement de Coulomb...) et validés par la comparaison avec des résultats expérimentaux provenant de chaussées réelles.

5. Bibliographie

Abaqus Manual – version 6.4, (2003).

BATS-VILLARD M., (1991), « Influence des défauts de liaison sur le dimensionnement et le comportement des chaussées » *Thèse de doctorat, Université de Nantes.*

Bettess P., (1992), « Infinite Elements » *Penshaw Press, Sunderland, U.K.*

Burmister D.M., (1943), « The theory of the stress and displacements in layered systems and applications of design of airport runway ». *Proceeding of the Highway Research Board*, Vol 23, pp. 126-148.

Farooghi F., (2005), « Caractérisation des interfaces de chaussées mixtes: modélisation mécanique - auscultation radar » *Thèse de doctorat, INSA de Rennes.*

Keymanesh M.R., (2001), « Contribution à l'étude de la déflexion des structures de chaussées » *Thèse de doctorat, INSA de Rennes.*

Lepert P., Simonin J. M., Kobisch R. (1997), « le FWD, performances, utilisation en France et en Europe » *Bulletin de Liaison des Ponts et Chaussées, No 209*, pp. 19-28.

Nougier J.P., (1989), « Méthodes de calcul numérique », *Editions Masson.*

Paquet J., (1977), « Un nouvel appareil d'auscultation des chaussées : le Curviamètre », Extrait de « la Revue Générale des Routes et des Aéroports » N°530- Avril 1977.

Ratanavong A., (2003), « Influence des défauts d'interface sur la durée de vie des structures de chaussées mixtes », *Mémoire de stage de fin d'étude, INSA de Rennes.*

SETRA-LCPC, (1994), « Conception et dimensionnement des structures de chaussée », *Guide technique.*

SETRA-LCPC, (1998), « Catalogue des structures types de chaussées neuves ».

Simonin J.M, (2005), « 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.*

Simonin J.M, Lèvre D., Rasmussen S., Hildebrand G. (2005), « Assessment of the Danish High Speed Deflectograph in France », *BCRA '05.*