

OUTIL DE CALCUL AVANCE POUR LE DIMENSIONNEMENT DES INFRASTRUCTURES ROUTIERES : APPLICATION AUX REVETEMENTS DE PONTS A DALLE ORTHOTROPE

S. POUGET & C. SAUZEAT & H. DI BENEDETTO

Département Génie Civil et Bâtiment, Université de Lyon, France

simon.pouget@entpe.fr cedric.sauzeat@entpe.fr herve.dibenedetto@entpe.fr

S. POUGET & F. OLARD

Centre d'Etudes et de Recherches, EIFFAGE Travaux Publics, France

francois.olard@eiffage.com

RÉSUMÉ

Cette étude traite de l'influence des revêtements bitumineux sur le comportement structurel des ponts à dalle métallique orthotrope. Les travaux de recherche présentés sont inclus dans le projet national « Orthoplus », subventionné par l'Agence Nationale française de la Recherche (ANR). L'approche, permettant de prendre en compte le rôle du revêtement dans le comportement des structures, est détaillée. Tout d'abord, le comportement des matériaux bitumineux est déterminé. Une modélisation viscoélastique linéaire est alors proposée. Celle-ci utilise un modèle rhéologique précédemment développé au Département Génie-Civil et Bâtiment (DGCB) de l'Université de Lyon/ENTPE. Ce modèle est alors implémenté dans un code de calcul aux éléments finis, permettant le calcul de structures routières et plus particulièrement, dans notre cas, les structures de pont à dalle orthotrope. Pour valider ces développements, deux structures orthotropes ont fait l'objet de mesures in-situ, parmi lesquelles le viaduc de Millau (pont le plus haut et pont multi-haubané le plus long du monde). Parallèlement des essais de laboratoire en flexion cinq points ont également été menés. Les résultats expérimentaux et les simulations sont finalement confrontés.

Dans le cadre du programme de recherche national «Orthoplus» financé par l'ANR portant sur la prise en compte de l'interaction entre le revêtement routier et les structures métalliques de ponts orthotropes dès la phase de dimensionnement de l'ouvrage, l'Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat (ENTPE), en collaboration avec EIFFAGE Travaux Publics, développe un outil général de calcul visco-élastique linéaire 3D pour la conception des chaussées. Ce travail, précédemment récompensé en 2008 par le prix spécial "Charles Parey" du Comité français de l'Association mondiale de la route (AIPCR) [1] pour ses développements théoriques, est ici repris en partie, complété et validé de par les campagnes expérimentales ambitieuses qui ont été conduites, notamment les investigations grandeur réelle sur le Viaduc de Millau.

1. CONTEXTE

L'étude se déroule dans le cadre d'une des tâches du programme de recherche national Orthoplus, soutenu par l'ANR, entre EIFFAGE Travaux Publics, Arcadis, le Centre Technique Industriel de la Construction Métallique (CTICM), Eiffel, l'ENTPE, le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) et le Service d'Etudes sur les Transports, les Routes et leurs Aménagements (SETRA). Ce projet, d'une durée de quatre ans, prendra fin début 2011. Ce travail fait par ailleurs l'objet d'une thèse en convention industrielle de formation par la recherche (CIFRE) tripartite entre EIFFAGE Travaux Publics, son doctorant salarié Simon Pouget et le laboratoire d'accueil de l'ENTPE.

2. ENJEUX TECHNIQUES

Lorsque le poids propre d'un ouvrage d'art est un paramètre déterminant de son optimisation (grandes portées, travées mobiles), un tablier à dalle orthotrope constitue souvent la solution la mieux adaptée. Si le fonctionnement général de ces structures est relativement simple à comprendre, la modélisation fine de leur comportement est complexe. Leur grande déformabilité les rend en particulier très sensibles au phénomène de fatigue. Du fait des difficultés de modélisation déjà évoquées, les pathologies associées ont été évitées par l'adoption de dispositions constructives réputées sûres. Une telle démarche conduit, bien entendu, à une conception qui, bien que satisfaisante, reste assez figée.

Le comportement mécanique du revêtement pouvant être pris en compte, celui-ci devient véritablement un élément de structure, qu'il est donc naturel de chercher à optimiser, ce qui conduit à remettre en cause des dispositions constructives inadaptées aux cas non-standard. On peut alors de nouveau parler de "conception" d'une dalle orthotrope, pour laquelle les paramètres sont la géométrie des augets, leur entraxe ainsi que celui des pièces de pont, l'épaisseur du platelage, mais également la nature du matériau constitutif du revêtement ainsi que son épaisseur. On voit donc apparaître la notion de conception intégrée du couple dalle orthotrope-revêtement qui constitue la grande nouveauté du projet Orthoplus.

Il s'agit, en outre, de mettre au point l'ensemble des outils (théoriques, méthodologiques et réglementaires) permettant la prise en compte du couplage platelage-revêtement, pour le calcul de la durée de vie de la structure métallique, mais aussi du revêtement lui-même. Cette dernière est en effet à ce jour mal maîtrisée, et le remplacement prématuré de l'enrobé sur un ouvrage généralement très circulé constitue un coût et une gêne à l'utilisateur non négligeables (on peut citer l'exemple récent du pont de Cheviré dans l'agglomération nantaise).

3. FORMULATION GENERALE DBN

Le modèle rhéologique DBN (Di Benedetto-Neifar, Figure 1), traduit le comportement des enrobés bitumineux, observé expérimentalement sur une gamme de sollicitations diverses. Cette loi visco-élasto-plastique générale introduit un comportement viscoélastique linéaire (VEL) en petites déformations, des non-linéarités pour des niveaux de déformation élevés ainsi qu'un écoulement viscoplastique. L'effet de la température est décrit aussi bien en petites qu'en grandes déformations [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

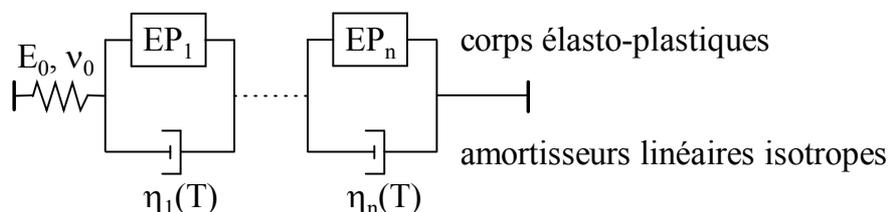


Figure 1 - Schéma du modèle DBN général

3.1. Formulation asymptotique VEL (Kelvin-Voigt généralisé)

Pour des chargements de faible amplitude, le comportement des matériaux bitumineux est linéaire. La forme asymptotique du modèle DBN (Figure 2), équivalente à un modèle de Kelvin-Voigt généralisé à « n » éléments, est alors utilisée.

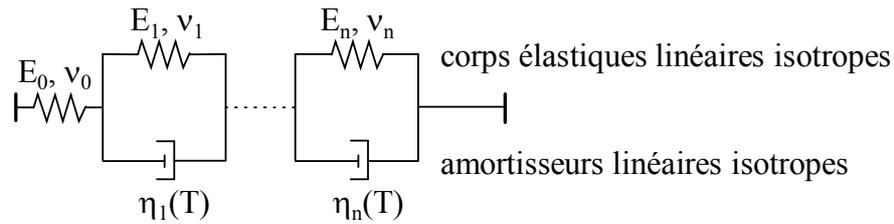


Figure 2 - Schéma de l'expression asymptotique dans le domaine linéaire du modèle DBN

3.2. Calibration du modèle avec l'enrobé Orthochape®

Le modèle DBN linéaire est calibré à l'aide d'essais de module complexe (Figure 3) durant lesquels sont appliquées des sollicitations axiales de traction/compression et sont mesurés les déplacements axiaux et radiaux ainsi que de l'effort axial. Le dispositif permet une mesure précise sur une large gamme de déplacements, rendant possible la réalisation d'essais de fluage et de déformation permanentes [10, 11]. L'essai, homogène dans la zone centrale de mesure, permet d'accéder aux module et coefficient de Poisson complexes, en termes de normes $|E^*|$ et $|\nu^*|$ et d'angles de phase ϕ_E et ϕ_ν .

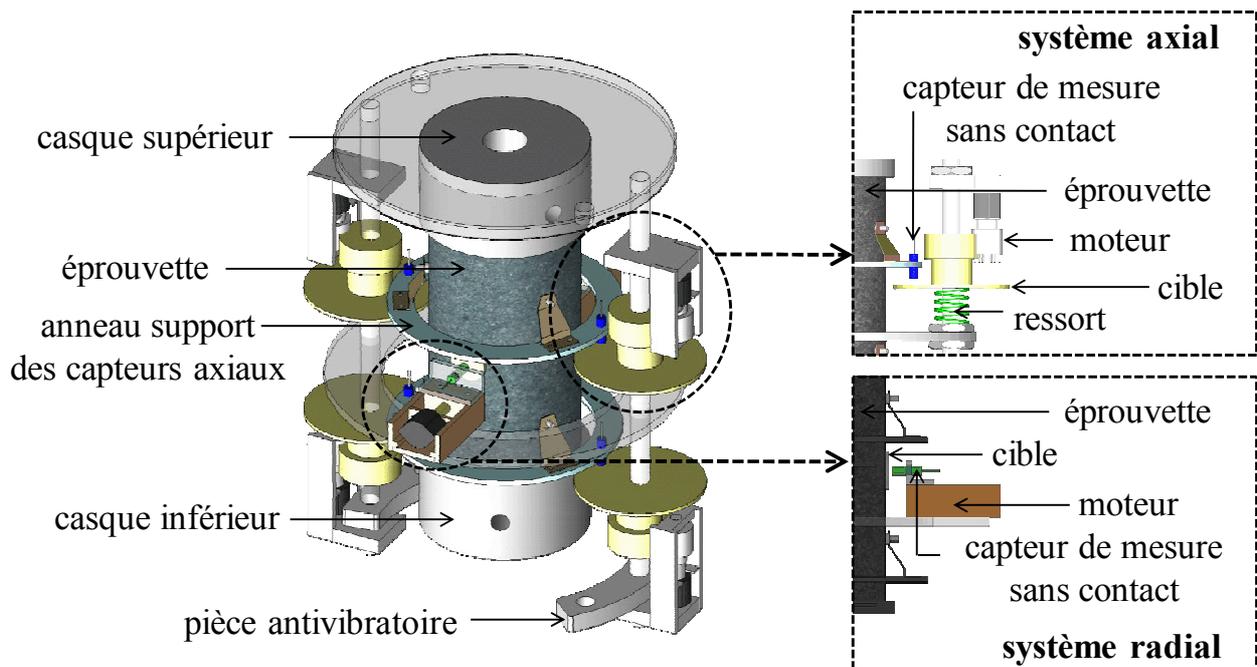


Figure 3 - Dispositif de mesure lors des essais de module complexe

L'essai est réalisé à 7 fréquences (de 0,01 Hz à 10 Hz) pour 9 températures (de -30 °C à +50 °C). Les courbes isothermes de la norme du module complexe ($|E^*|$) et de la norme du coefficient de Poisson complexe ($|\nu^*|$) en fonction de la fréquence sont données en Figure 4 pour l'enrobé Orthochape®, revêtement du viaduc de Millau. L'utilisation du Principe d'Equivalence Temps-Température (PETT) [12, 13] permet de définir une courbe unique, pour une température de référence, T_{ref} , fixée ici à 10 °C, par translation de chacune des isothermes d'un facteur a_T (identique pour $|E^*|$ et $|\nu^*|$) parallèlement à l'axe des abscisses. Ces courbes maîtresses sont directement utilisables dans un calcul de dimensionnement.

Le modèle DBN peut alors être calibré dans le domaine des petites déformations (Figure 2). Chaque constante (E_i , ν_i , η_i) est déterminée par une procédure optimisée dans le domaine fréquentiel en utilisant le formalisme tridimensionnel du modèle 2S2P1D (2 Springs, 2 Parabolic elements and 1 Dashpot) [5, 8, 11]. Les simulations correspondantes sont représentées sur la Figure 4. Le modèle simule correctement les valeurs expérimentales et, en particulier, le PETT.

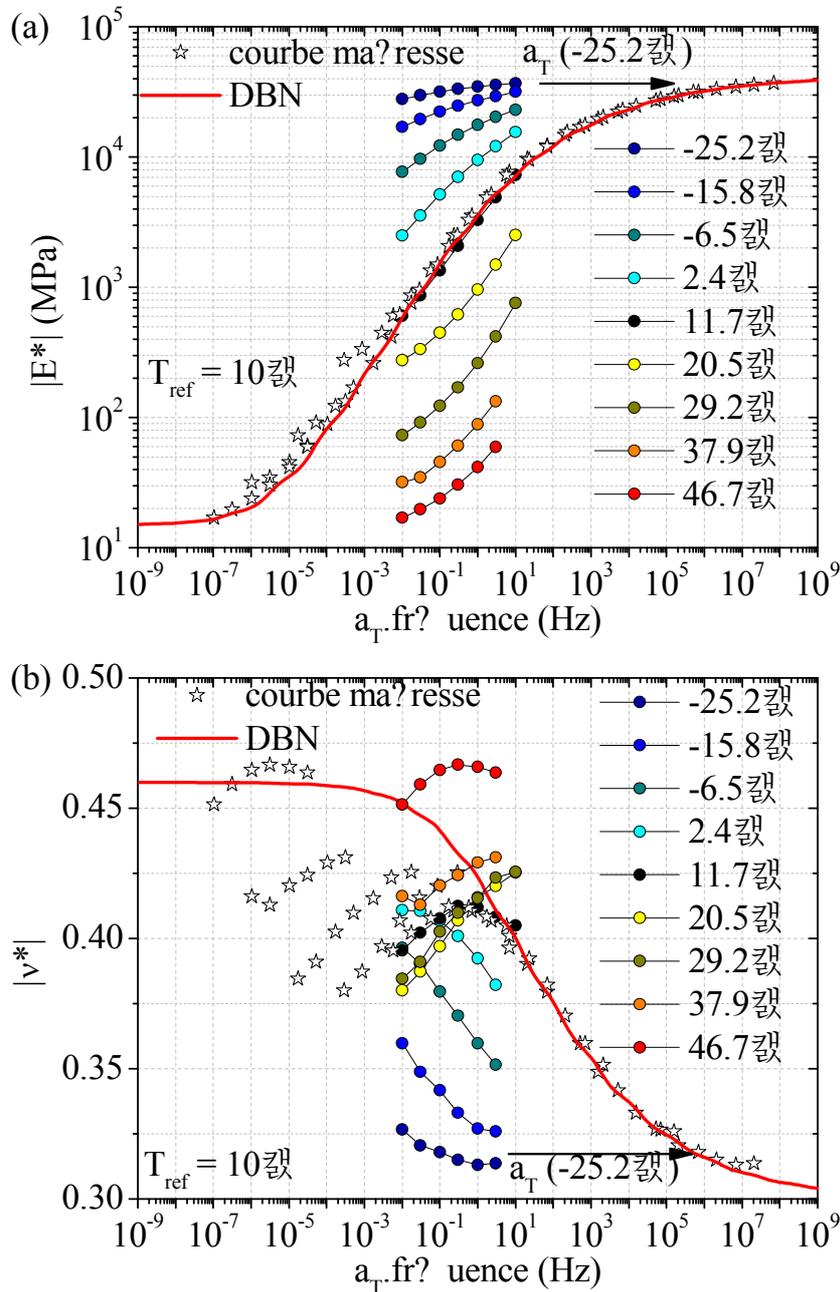


Figure 4 - Résultats expérimentaux (essai Orthochape4), courbe maîtresse, modèle DBN (20 éléments) (Figure 2) Température de référence de 10°C.
 (a) norme de E^* ; (b) norme de ν^*

4. PRESENTATION DU LOGICIEL COMSOL

Les calculs éléments finis présentés dans la suite ont été réalisés à l'aide du logiciel Comsol. La loi de comportement viscoélastique linéaire utilisée pour décrire le

comportement des matériaux bitumineux dans le domaine linéaire (DBN linéaire) a été implémentée dans le code de calculs. Celui-ci constitue alors un réel outil de conception et de dimensionnement.

5. ETUDES DE CAS

5.1. Essai de laboratoire en flexion 5 points [14]

Des calculs éléments finis ont été réalisés sur la géométrie de l'essai de fatigue en flexion 5 points [15]. Après avoir introduit les paramètres généraux des calculs, les résultats obtenus aux points A et C (Figure 5) sont présentés pour les différents revêtements considérés, à savoir l'enrobé Orthochape® associé à l'étanchéité Parafor Pont® (groupe Siplast) et le revêtement en Béton Fibré Ultra-Performant (BFUP) BSI Ceracem®.

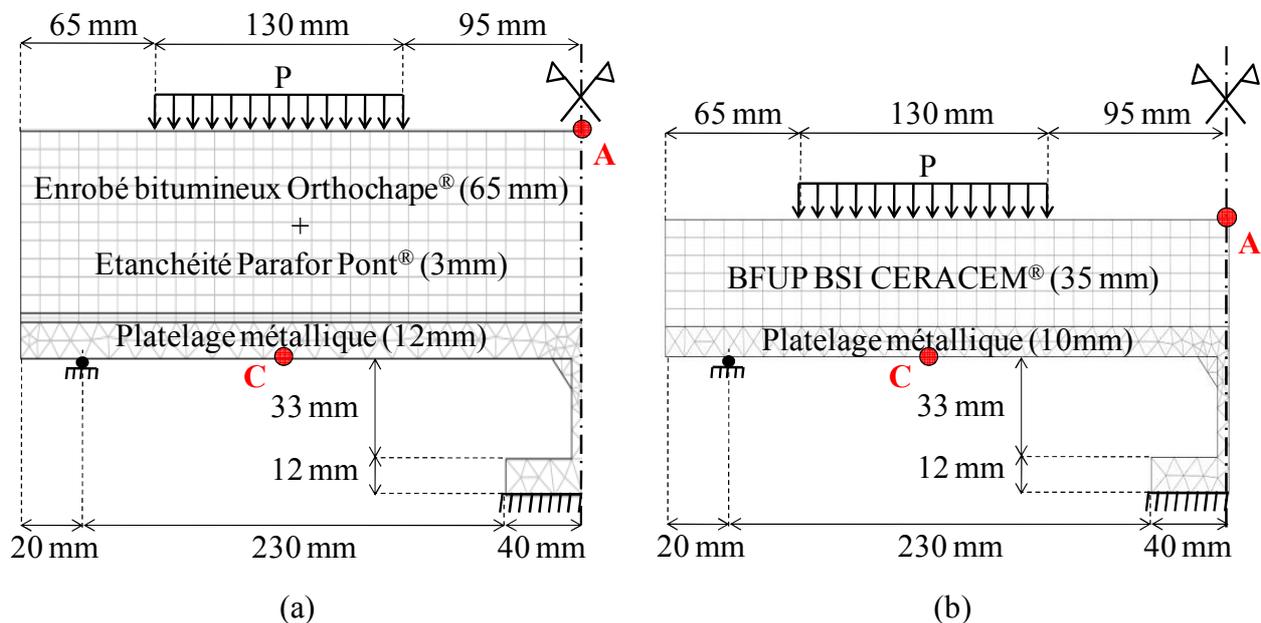


Figure 5 - Géométrie, conditions aux limites et maillage d'une éprouvette de flexion 5 points. (a) revêtement Orthochape® ; (b) revêtement BFUP BSI Ceracem®

5.1.1 Géométrie

Deux configurations sont considérées :

- Eprouvettes avec revêtement bitumineux :
 - platelage de 12 mm ;
 - couche intermédiaire Parafor Pont® de 3 mm qui assure l'étanchéité et la liaison mécanique entre le revêtement et le platelage ;
 - enrobé bitumineux Orthochape® de 65 mm.
- Eprouvettes revêtues de BFUP :
 - platelage de 10 mm ;
 - revêtement BFUP BSI Ceracem® de 35 mm.

Un collage parfait entre les couches est supposé.

5.1.2 Conditions aux limites

L'appui central du complexe orthotrope est encastré. Les autres appuis sont des appuis simples permettant un déplacement horizontal. Le chargement « P » en compression sinusoïdale à 4 Hz varie entre 0,067 MPa et 0,67 MPa [16].

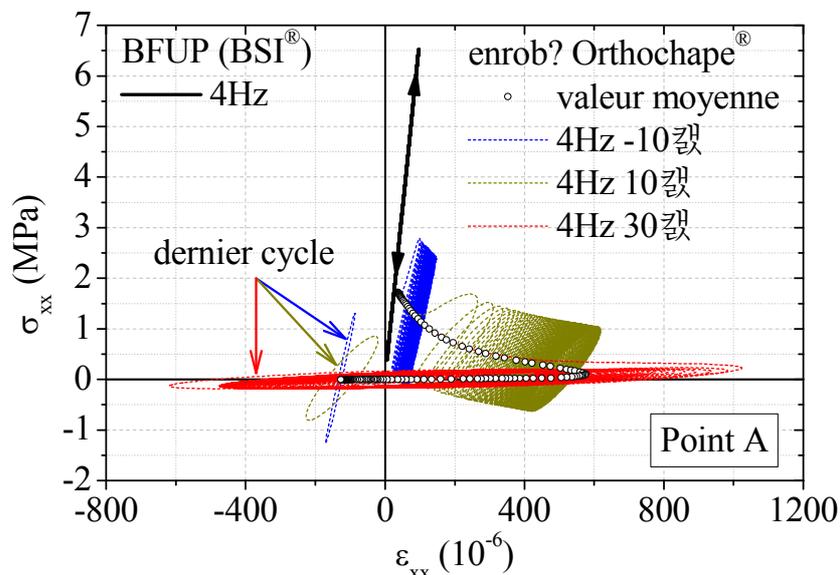
5.1.3 Comportement des matériaux

Des comportements viscoélastiques linéaires isotropes (VELI) pour les 2 matériaux bitumineux (enrobé + couche d'étanchéité) sont considérés [1, 10, 11, 15, 17, 18, 19, 20, 21]. Ces comportements sont simulés par le modèle DBN implémenté dans le code de calcul Comsol.

Un comportement élastique linéaire isotrope (ELI) pour le revêtement BFUP ($E_{\text{BFUP}} = 65$ GPa et $\nu_{\text{BFUP}} = 0,2$) ainsi que pour l'acier ($E_{\text{acier}} = 210$ GPa et $\nu_{\text{acier}} = 0,3$) est considéré.

5.1.4 Résultats

Sur la Figure 6, les courbes contrainte-déformation calculées en considérant un revêtement BFUP (comportement ELI) et les revêtements Orthochape® et Parafor Pont® (comportements VELI) sont comparées. Cette figure présente les résultats au point A en surface de revêtement, au droit du raidisseur central où doit apparaître une contrainte de traction maximale. On constate tout d'abord la différence importante entre les niveaux de contraintes maximales atteints dans le BFUP d'une part, de l'ordre de 7 MPa et dans l'enrobé d'autre part, variant de 0,5 MPa à 30°C, à 3 MPa à -10°C. On note également la forte variation des courbes contrainte-déformation dans l'enrobé en fonction de la température. De plus, contrairement au cas du BFUP qui est toujours en traction, on constate dans le cas des revêtements bitumineux, que la contrainte calculée alterne entre traction et compression au-delà d'un certain nombre de cycles (dépendant de la température) de charge/décharge.



Une comparaison de ces calculs avec des résultats expérimentaux à 30°C est proposée à la Figure 7 pour la configuration en matériaux bitumineux décrites à la Figure 5(a). La déformation engendrée par la valeur moyenne du chargement cyclique « P » en compression est tracée en fonction du temps aux points A et C (Figure 5). On remarque une stabilisation rapide de la déformation dans l'acier au point C. En revanche, dans l'enrobé au point A, la déformation évolue pour passer d'un état d'extension à un état de contraction, comme déjà observé à la Figure 6.

Cet exemple traduit toute l'importance de prendre en compte les effets visqueux du comportement des matériaux bitumineux dans les calculs de structure routière, ou comme ici, dans le cadre de calculs de revêtements bitumineux de ponts métalliques.

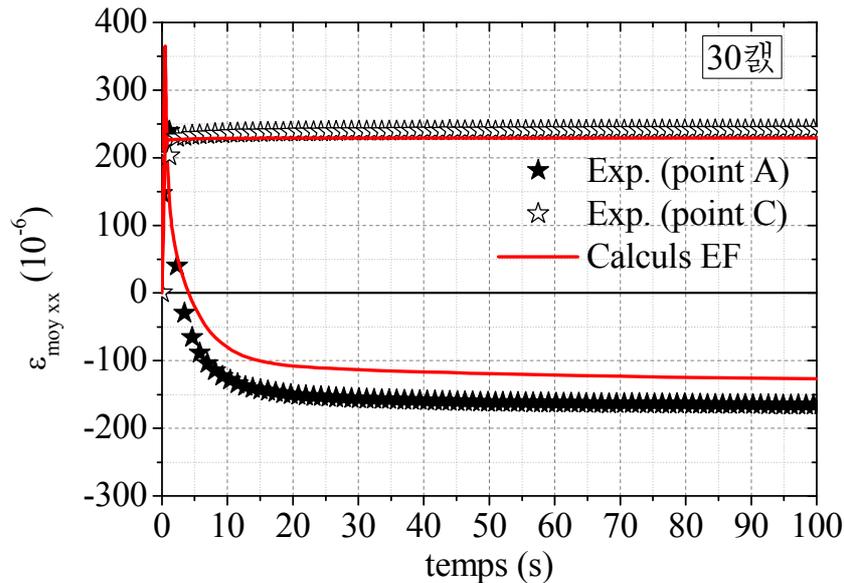


Figure 7 - Déformation moyenne calculée $\varepsilon_{moy\ xx}$ en fonction du temps et comparaison aux résultats expérimentaux à 30°C aux points A et C (Figure 5)

5.2. Essais sur ouvrage réel : le Viaduc de Millau

Dans le cadre du projet « Orthoplus », des essais in situ ont été réalisés sur le viaduc de Millau (pont le plus haut et pont multi-haubané le plus long du monde dont la construction fut achevée en 2004 par EIFFAGE ; le viaduc est exploité depuis en concession par l'entreprise). Après avoir décrit les mesures réalisées, une analyse fine est proposée, s'appuyant sur des calculs éléments finis (EF). Les résultats de ces calculs sont comparés aux données expérimentales recueillies en voie lente de l'ouvrage, pour montrer la capacité de l'outil de calcul développé [20, 21].

5.2.1 Etude expérimentale

Les essais consistent à charger le viaduc de Millau et de mesurer les déformations dans la structure métallique à l'aide d'un réseau de jauges.

La voie lente et la bande d'arrêt d'urgence ayant été soumises à un chargement, c'est l'ensemble de la voie lente de l'ouvrage (dans le sens SUD → NORD) qui a dû être mis sous sécurité et balisage durant une demi-journée. Le chargement a été appliqué à l'aide d'un camion et de sa remorque, ayant une masse totale de 38,1 tonnes, réparties sur 5 essieux (Figure 8). Chaque essieu a été pesé et l'empreinte des pneumatiques a été mesurée précisément.



Figure 8 - Photos du viaduc de Millau durant les investigations. (a) camion de chargement lors du pesage des essieux ; (b) vue du viaduc ; (c) camion de chargement sur le viaduc de Millau ; (d) augets et pièces de pont instrumentés de jauges dans le caisson métallique

Tout d'abord, des essais statiques ont été menés. Pour cela, le camion a été placé sur le viaduc. La position de l'essieu le plus chargé (le deuxième essieu du tracteur constitué de deux roues jumelées) est indiquée par dx et dy (Figure 9). Deux positions longitudinales différentes dy , sont étudiées, tout d'abord, sur une pièce de pont ($dy = 16,7$ m) et d'autre part au milieu de deux pièces de pont ($dy = 14,6$ m). Neuf positions transversales dx différentes ont été considérées. Le choix des positions transversales dx a été réalisé afin de placer la roue jumelée du deuxième essieu du camion au droit des augets n° 6, 7 et 8.

Ensuite des essais sous charge roulante ont été réalisés. Le camion doit parcourir une distance de 40 m au-dessus de la zone instrumentée à deux vitesses constantes 10 et 50 km/h, afin de mettre en évidence les effets visqueux issus du comportement du revêtement bitumineux. Les essais ont été menés pour différentes positions transversales dx . Elles ont été choisies aussi proches que possible que celles considérées lors des essais statiques. 24 essais sous charge roulante ont été réalisés.

La température ambiante est restée stable, comprise entre 12,1 et 12,3°C.

Deux zones ont été choisies pour étudier les déformations de la structure métallique, une entre deux pièces de pont (PdP) et une sur pièce de pont (les mêmes que pour le chargement statique).

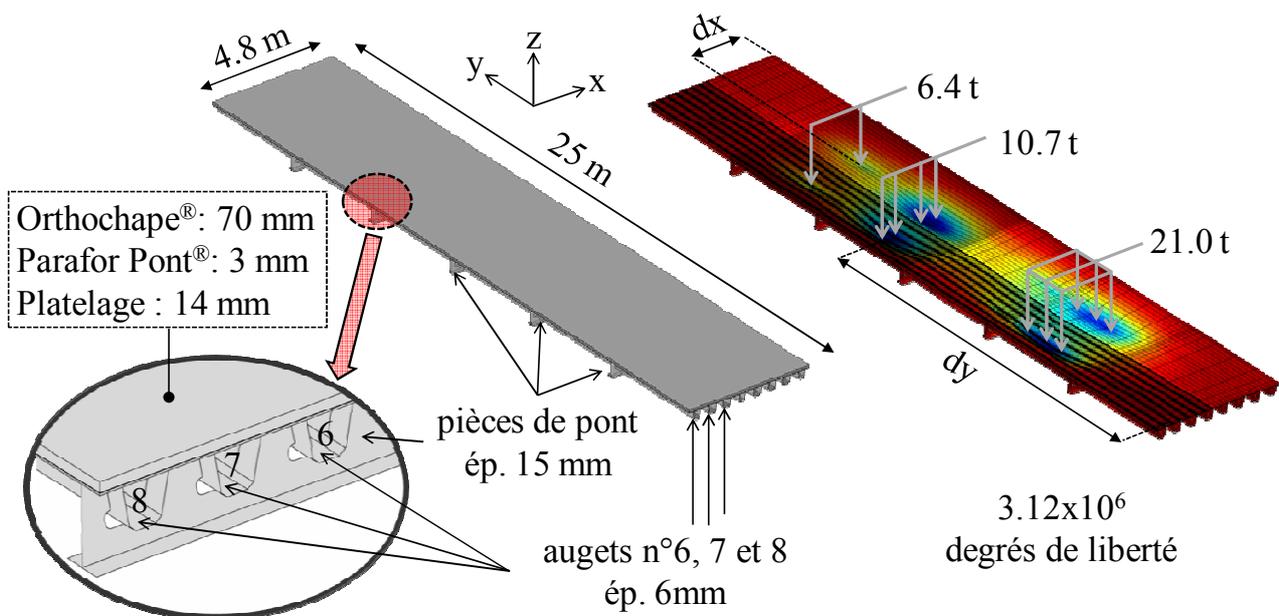


Figure 9 - Géométrie, maillage, chargement et champ de déplacements verticaux de la structure du viaduc de Millau dans le code éléments finis (EF)

Des chaînettes ont été placées sous le platelage autour des raidisseurs n° 6 et 7 afin d'obtenir des informations sur l'évolution des déformations proches du cordon de soudure (Figure 10). Des jauges bidirectionnelles sont également positionnées sous le platelage, entre les augets n° 5, 6, 7 et 8 et sous chacun de ces derniers (Figure 10). L'instrumentation comprend d'autres capteurs qui ne sont pas présentés dans cet article.

Pour les chargements statiques, les déformations transversales (ε_{xx}), mesurées sous le platelage métallique, entre les pièces de pont, sont tracées à la Figure 10(a) pour une position longitudinale ($dy = 14,6$ m) et une position transversale ($dx = 1,77$ m) du camion. Chaque point de données représente la valeur moyenne de la déformation après stabilisation du signal. Un exemple de mesures des déformations longitudinales (ε_{yy}) sous l'auget 7 entre pièce de pont, lors d'un essai sous charge roulante à 50km/h pour une position longitudinale ($dx = 1.82$ m), est également proposé à la Figure 10(b). Elles sont comparées aux résultats des calculs EF.

5.2.2 Comparaison avec les calculs EF

Les calculs éléments finis (EF) sont réalisés en 3D pour simuler les essais sur le viaduc de Millau. En raison de la complexité et de la taille de la structure, certaines simplifications sont nécessaires (Figure 9):

- seuls 6 pièces de pont sont considérées ;
- seules la voie lente et la bande d'arrêt d'urgence sont modélisées, ce qui représente 8 augets.
- Les éléments géométriques du tablier (platelage, couche d'étanchéité et enrobé bitumineux) et les pièces de pont sont encastés à une de leur extrémité (près de l'auget n° 8) pour assurer la continuité avec le reste de la structure du pont.
- le platelage métallique, la couche d'étanchéité et l'enrobé bitumineux sont modélisés avec des éléments briques tridimensionnels, tandis que les pièces de pont et les augets sont modélisés avec des éléments coques bidimensionnels. Le maillage est raffiné autour de raidisseurs n° 6, 7 et 8, où sont effectuées les mesures. Le calcul comprend environ 3.12 millions de degrés de liberté.

- les roues du camion de chargement sont modélisées par une surface rectangulaire chargée.
- le comportement de l'acier est considéré élastique linéaire isotrope (ELI). Les constantes élastiques sont $E = 210 \text{ GPa}$ et $\nu = 0.3$. Des comportements viscoélastiques linéaires isotropes (VELI) pour les 2 matériaux bitumineux (enrobé + couche d'étanchéité) sont considérés. Ces comportements sont simulés par le modèle DBN implémenté dans le code de calcul Comsol.

Certains résultats de simulation sont présentés à la Figure 10. Des discontinuités apparaissent dans la courbe qui représente les résultats des essais statiques. Elles sont dues à la présence des augets et la façon dont ils sont modélisés (éléments coques bidimensionnels). Les comparaisons avec les données expérimentales donnent des résultats très satisfaisants, si l'on considère différentes sources d'erreurs comme les incertitudes dans la localisation du camion et des jauges.

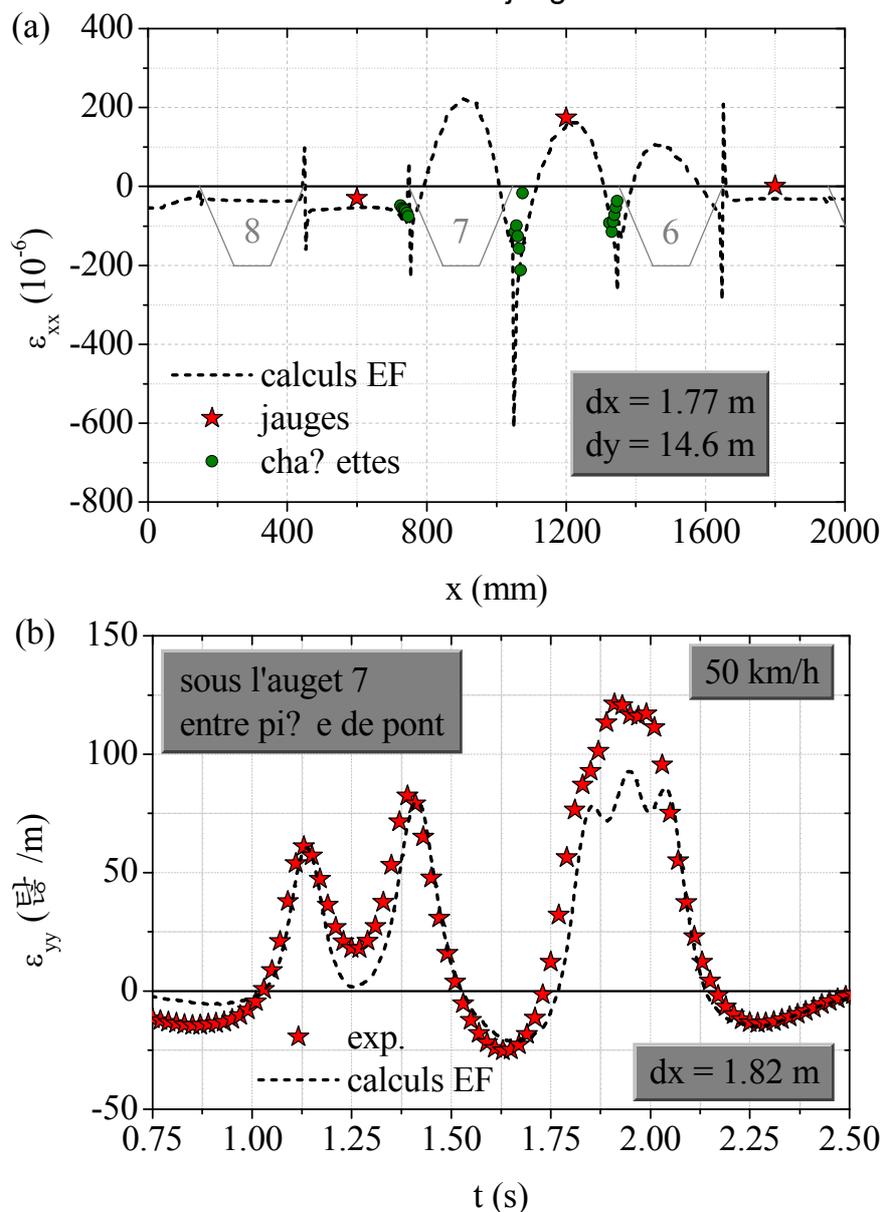


Figure 10 - Comparaison entre les déformations mesurées et celles calculées en EF.

(a) essai statique - ε_{xx} pour $dx = 1.77 \text{ m}$ et $dy = 14.6 \text{ m}$

(b) essai sous charge roulante - ε_{yy} sous l'auget 7 entre PdP pour $dx = 1.82 \text{ m}$ à 50 km/h

6. PERSPECTIVES

Tirant profit du programme de recherche national Orthoplus portant sur la prise en compte de l'interaction entre le revêtement routier et les structures métalliques de ponts orthotropes dès la phase de dimensionnement de l'ouvrage, l'ENTPE, en collaboration avec EIFFAGE Travaux Publics, a développé un outil général de calcul visco-élastique linéaire 3D pour la conception des chaussées.

L'implémentation du modèle DBN dans un code de calcul éléments finis est déjà en application pour des calculs de chaussées et en particulier de revêtements de ponts, plus généralement toute structure incluant des matériaux au comportement visqueux.

Cet outil a vocation à être utilisé au sein de l'ENTPE et du groupe EIFFAGE, mais également par les communautés routières française et internationale dans leur ensemble.

Des efforts supplémentaires restent encore à fournir pour finaliser cette méthode, notamment en introduisant dans le code de calculs le modèle DBN 3D sous toutes ses facettes (phénomènes d'endommagement par fatigue, d'accumulation des déformations permanentes, etc.).

RÉFÉRENCES

1. Pouget, S., Sauzéat, C., Di Benedetto, H., Olard, F. (2008) "Modélisation tridimensionnelle du comportement visco-élastique linéaire des enrobés bitumineux : outil pour la conception des chaussées", « Prix spécial Charles Parey » du CF-AIPCR, 15 p.
2. Di Benedetto, H. (1987) "Modélisation du comportement des géomatériaux : application aux enrobés bitumineux et aux bitumes". Institut National Polytechnique de Grenoble, thèse de doctorat d'Etat, 252 p.
3. Di Benedetto, H. (1990) "Nouvelle approche du comportement des enrobés bitumineux: résultats expérimentaux et formulation rhéologique". RILEM Symposium, Budapest
4. Di Benedetto, H., Olard, F., Sauzéat, C., Delaporte, B. (2004) "Linear viscoelastic behavior of bituminous materials: from binders to mixes", Road Material and Pavement Design, vol. 5, SI EATA, pp. 163-202
5. Di Benedetto, H., Neifar, M., Sauzeat, C., Olard, F. (2007) "Three-dimensional thermo-viscoplastic behaviour of bituminous materials: the DBN model", Road Material and Pavement Design, vol. 8, Issue 2
6. Neifar, M., Di Benedetto, H. (2001) "Thermo-Viscoplastic Law for Bituminous Mixes", Road Material and Pavement Design, vol. 2, Issue 1, pp. 71-95
7. Olard, F., Di Benedetto, H. (2005) "Loi thermo-visco-élasto-plastique pour les enrobés bitumineux: simulations des essais de traction directe et de retrait thermique empêché", Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, N°254, pp. 15-39
8. Olard, F., Di Benedetto, H. (2005) "Experimental characterization and constitutive modeling of the thermo-visco-elasto-plastic behavior of bituminous mixes: the "DBN" law", Association of Asphalt Paving Technologists, Long Beach, 32 p.
9. Tiouajni, S., Di Benedetto, H., Sauzéat, C., Pouget, S., " Approximation of linear viscoelastic model by generalized Kelvin Voigt or generalized Maxwell Models: Application to bituminous materials " Road Materials and Pavement Design (RMPD), 34 p., 2011. (submitted)
10. Di Benedetto, H., Nguyen, H.M., Pouget, S., Sauzéat, C. (2008) "Time-temperature superposition principle for bituminous mixtures: 3D approach and extension in the non-linear domain", International Conference on Transportation Infrastructure, Beijing, pp.178-188
11. Olard, F. (2003) "Comportement thermomécanique des enrobés bitumineux à basses températures", ENTPE-INSA, thèse de doctorat, 221 p.
12. Ferry, J.D. (1980) Viscoelastic Properties of Polymers, John & Sons
13. Nguyen, H.M., Pouget, S., Di Benedetto, H., Sauzéat, C. (2009) "Time-Temperature Superposition Principle for bituminous mixtures", European Journal of Environmental and Civil Engineering, vol. 13, n°9, pp. 1095-1107
14. Norme française NF P 98-286 (2006) "Essais relatifs aux chaussés – Produits d'étanchéité pour ouvrages d'art – Détermination de la résistance à la fatigue d'une étanchéité/roulement sur tôle métallique – Méthode d'essai sur banc de fatigue en flexion sous moment négatif"

15. Pouget, S., Sauzéat, C., Di Benedetto, H., Olard, F. (2009) "Numerical simulation of the five-point bending test designed to study bituminous wearing courses on orthotropic steel bridge", *Materials and Structures*, vol. 43, n°3, pp. 319-330
16. Saubot, M., Loup, F. (2003) "Mise au point d'un enrobé bitumineux sur dalle orthotrope", *Revue Générale des Routes et Aéroports*, N°819, Juillet-Août
17. Pouget, S., Sauzéat, C., Di Benedetto, H., Olard, F. (2008) "Wearing course influence on the orthotropic steel bridge deck behavior from numerical simulations of the five-point bending test", *International Orthotropic Bridge Conference*, Sacramento, 18 p.
18. Pouget, S., Sauzéat, C., Di Benedetto, H., Olard, F. (2010) "From the behavior of constituent materials to the calculation and design of orthotropic bridge structures", *Road Material and Pavement Design*, vol. 11, Special Issue European Asphalt Technology Association (EATA), pp. 111-144
19. Pouget, S., Sauzéat, C., Di Benedetto, H., Olard, F., Loup, F. (2010) "Mise au point d'un outil de calcul pour la conception des chaussées - Application aux revêtements de ponts orthotropes", *RGRA n° 885*, pp. 55-60
20. Pouget S., Sauzéat C., Di Benedetto H., Olard F., Héritier B., Servant C., Lungkhot E. (2011) "Design of orthotropic bridges with viscous bituminous surfacing: laboratory and in-situ testing, modeling and finite element calculation", Poster presented at Transportation Research Board (TRB), Washington
21. Pouget, S., Sauzéat, C., Di Benedetto, H., Olard, F. (2011) "Modeling of viscous bituminous wearing course materials on orthotropic steel deck", *Materials and Structures* (submitted)