

Les équipements du viaduc sud de la liaison Rion-Antirion

Adaptation des dispositifs de retenue au contexte de l'ouvrage et à l'influence des mouvements sismiques

Marie-Noël Chevalme, François Fernier, Michel Fragnet, André Piquet

Présentation générale

Le pont de Rion-Antirion, qui s'inscrit dans le cadre de la réalisation du réseau Trans-Européen à l'Horizon de l'an 2010, franchit le golfe de Corinthe pour unir le Péloponnèse à la Grèce continentale. Le pont de Rion-Antirion se situe à l'intersection de deux axes importants :

L'autoroute Patras-Athènes-Thessalonique, qui relie les trois villes les plus importantes de Grèce et fait partie du réseau routier européen,

La méridienne ouest Kalamata-Patras-Igoumenitsa (fig. 1).

Le pont facilitera les communications entre la Grèce et l'Italie (donc avec l'Europe de l'Ouest) par les ports de Patras et d'Igoumenitsa.

En définissant les spécifications du pont, l'État grec a imposé des paramètres de conception parasismiques rigoureux : une accélération au sol égale à 0,48 g et une accélération spectrale maximale égale à 1,20 g pour les périodes propre comprise entre 0,2 et 1,0 seconde. Par comparaison, ces spécifications sont plus contraignantes que les accélérations enregistrées lors du tremblement de terre du 17 août 1999 d'Izmit (Turquie) qui avait une magnitude de 7,4 sur l'échelle de Richter.

Gefyra SA, société concessionnaire dont VINCI détient 53 %, assurera l'exploitation et l'entretien du pont à partir de l'achèvement de l'ouvrage initialement prévu pour décembre 2004 et ce pendant une durée de 35 ans. La construction est réalisée par Kinopraxia Gefyra, société de construction dont VINCI Construction Grands Projets détient 53 %, et les études sont confiées principalement à la Direction Conception et Etudes de Structures (DCES) de VINCI Construction Grands Projets dirigée par Jean-Marc Tourtois.

Introduction

Le présent article concerne les aménagements de sécurité du tablier viaduc d'approche sud côté Rion. Compte tenu de la zone à forte activité sismique, de la géométrie de l'ouvrage, des délais de réalisation particulièrement courts, de l'adaptation obligée des systèmes existants aux forts mouvements sismiques, la DCES a souhaité bénéficier de l'expertise du Sétra pour l'adaptation des équipements européens existants, notamment, les barrières de sécurité, les aménagements en terre plein central, et pour finir profiter du retour d'expérience du Sétra pour l'étanchéité et les revêtements.



Figure 1 : situation de la liaison

A cet effet, une convention a été passée entre VINCI Construction Grands Projets et le Sétra pour la mise à disposition durant une période définie, d'un expert du domaine des équipements des ponts.

L'objet de cette présentation est de faire le point de cette intervention, de présenter les dispositions techniques qui ont finalement été retenues après discussion entre l'expert du Sétra, VINCI et le Concessionnaire. Cette mission portait sur deux points :

1. La barrière de sécurité non homologuée dans le terre plein central, de sa validation par simulation avec le modèle du logiciel PAM-CRASH™ de la Société ESI GROUP, dédié aux crashes tests virtuels dans des conditions réalistes
2. La continuité du niveau de protection au droit des joints entre segments d'ouvrages compte tenu des valeurs importantes à l'ELS des mouvements longitudinaux et transversaux.

Présentation du projet

La liaison Rion-Antirion

Cette liaison comporte, au nord, un viaduc de 239 mètres de long en poutres préfabriquées précontraintes, l'ouvrage principal multahaubané de 3 travées de 560 mètres, 2 travées de 286 mètres et un double viaduc sud « solution bipoutre » de 998 mètres de long qui permet le franchissement de voiries locales (fig. 2a).

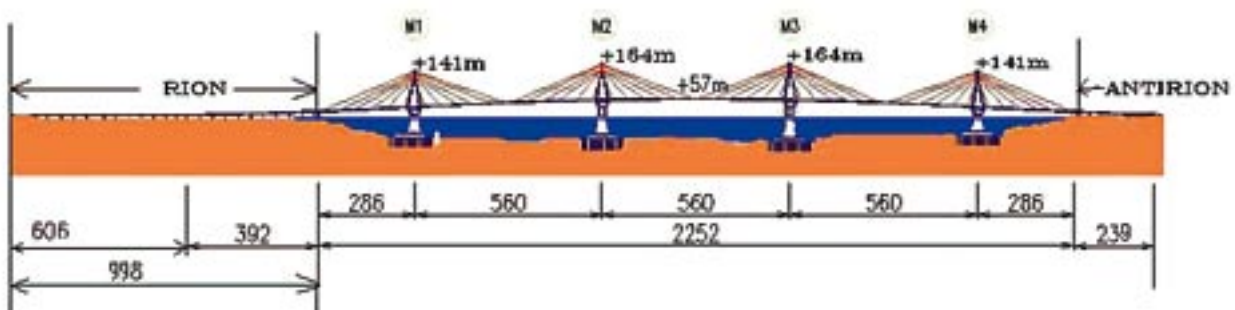


Figure 2a : coupe longitudinale générale

Descriptif du viaduc sud de Rion

Présentation générale

Le viaduc sud est en fait une succession de 4 viaducs séparés par des joints de dilatation positionnés soit entre les différents contrats du marché (entre la partie concédée et ce qui a été conçu et construit par le concédant pour le compte de l'Etat grec : sur la pile P7), soit entre les différentes parties structurales prenant en compte les contraintes de site et de gabarit routier de l'agglomération de la ville de Rion.

Nous distinguerons (fig. 2b) :

La partie concédée entre T0 et P7 d'une longueur de 392 mètres qui est un double bipoutre de largeur unitaire d'environ 11 mètres de portée maximale 58 mètres.

La partie entre P7 et P12 d'une longueur de 174 mètres qui est également un double bipoutre de portée maximale 37.50 mètres.

La partie entre P12 et P16 nommée Somerset qui est un pont dalle de 1.00 m d'épaisseur afin de respecter les contraintes de voirie locale (gabarit et tracé). La longueur totale de cet ouvrage est de 76 mètres et la portée maximale de 20 mètres.

La partie entre P16 et A23 d'une longueur de 356 mètres qui est un double bipoutre de largeur unitaire d'environ 11 mètres de portée maximale 62 mètres.

Et enfin deux entrées et une sortie réalisées comme des ponts dalles de portée maximale 20 mètres.

NB : Nous nous excusons auprès du lecteur français de la présence de légendes en anglais sur les dessins. Il s'agit de copie des dessins d'exécution et il n'a, malheureusement, pas été possible de reprendre tous les dessins pour les traduire en français. Nous espérons que ceci n'empêchera pas la compréhension du texte puisque les figures sont là à titre d'illustration.

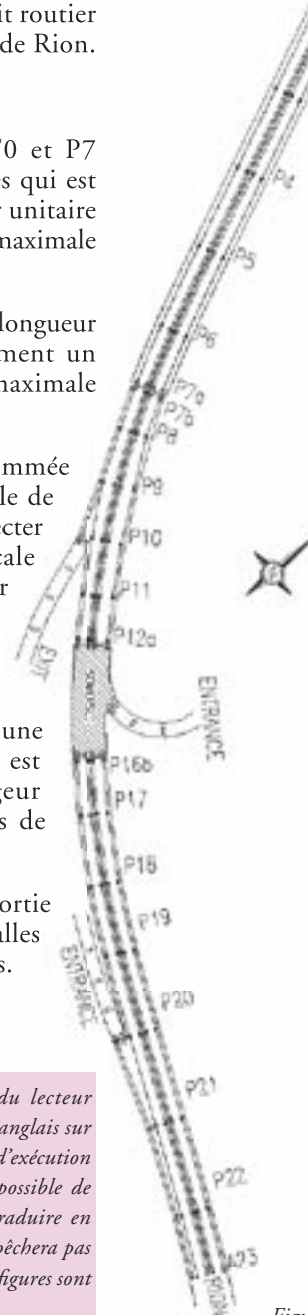


Photo 1 : vue générale du site de Rion « carrefour des voies principales »

Figure 2b : vue en plan du viaduc d'accès sud



Particularité de la conception

La situation de l'ouvrage dans une zone à fort risque sismique a conduit à l'équiper en conséquence. Il a donc fallu tenir compte des dispositions antisismiques de la structure pour le choix des conceptions en matière de dispositifs de retenue au droit des joints.

Les études parasismiques, compte tenu d'une stratigraphie très hétérogène sur l'ensemble de l'ouvrage et d'une forte dissymétrie des piles, ont été réalisées avec le logiciel ANSYS avec la prise en compte des comportements non linéaires et non réversibles des matériaux. La protection parasismique a été obtenue en prenant en compte :

1. La capacité de résistance des éléments structurels (appuis et fondations),
2. La prise en compte des appareils d'appui en élastomère fretté dimensionnés selon l'Eurocode 8 et des amortisseurs longitudinaux et transversaux.

Après chaque séisme significatif l'ouvrage sera inspecté et tous les éléments endommagés seront réparés ou remplacés.

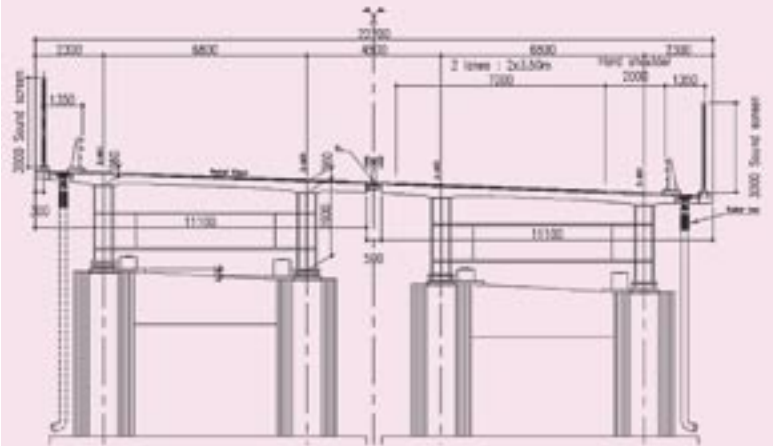


Figure 4 : coupe transversale type sur double bipoutre

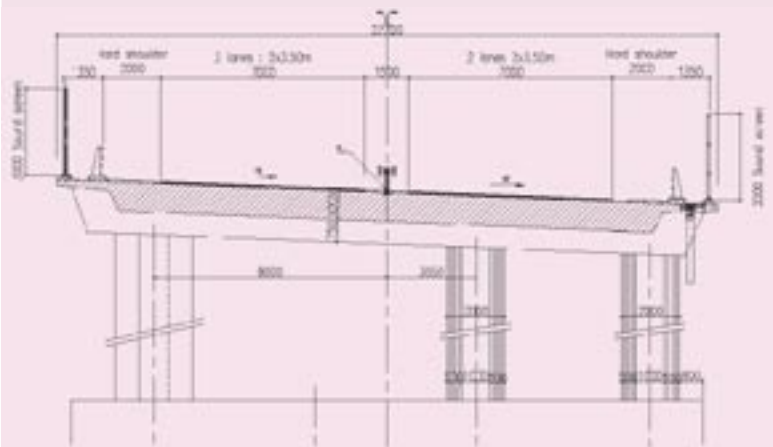


Figure 5 : coupe transversale type sur pont dalle de la Somerset

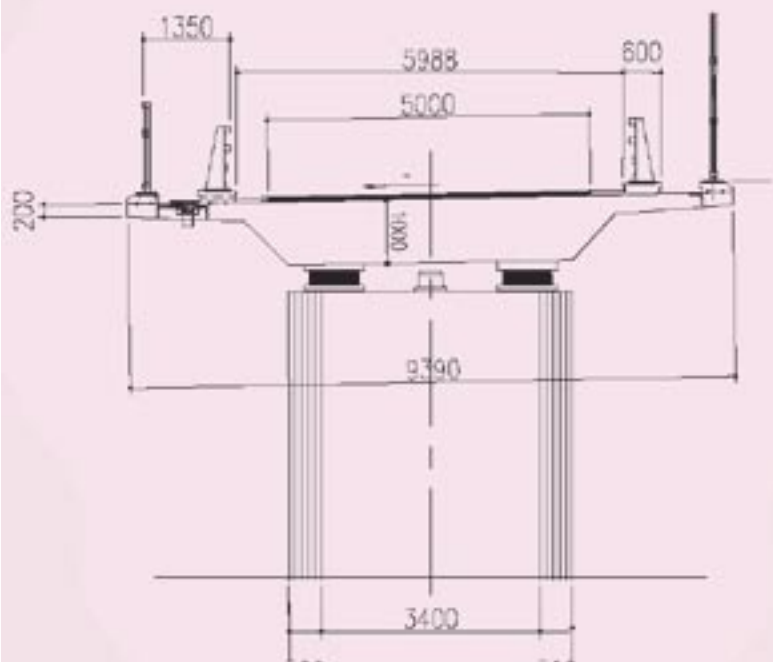


Figure 6 : coupe transversale type sur les entrées-sorties

Le choix du dispositif de retenue dans le terre plein central et ses conditions d'implantation

Le premier point sur lequel nous avons eu à travailler a été de définir l'ensemble des équipements (dispositif de retenue, caillebotis, dispositif de recueil des eaux, etc.) à prévoir dans le terre plein central de cet ouvrage afin d'être en conformité avec les exigences du marché, assurer la continuité du profil en travers et s'adapter aux conditions de fonctionnement de cet ouvrage en zone sismique intense.

Les données de choix du modèle de dispositif de retenue

La première donnée était relative au **niveau de sécurité**. Outre que celui-ci doit être conforme aux exigences du contrat de la concession, il lui fallait aussi être homogène sur l'ensemble de l'itinéraire que constitue la liaison Rion-Antirion. Or, sur le pont principal, le dispositif actuellement choisi est une barrière en béton modèle DBA qui donne le niveau H2¹. Cependant, pour définir le niveau requis sur le viaduc sud, nous avons tenu compte des éléments suivants :

- le projet initial comportait, en terre plein central, sur le pont principal, un dispositif de retenue métallique dont le niveau de performance est N ; le choix de la DBA résulte non pas d'une recherche d'un niveau de performance, mais d'un choix de profil en travers.
- une certaine liberté sur le niveau souhaité dans le cahier des charges qui dit que les dispositifs de sécurité seront dimensionnés pour un effort de 100 kN dû à la collision d'un véhicule appliqué conformément à la norme DIN 1072 ; le niveau de sécurité n'est pas fixé.

Après avoir exposé le problème et pris l'avis du concessionnaire, il a finalement été admis que le niveau de sécurité dans le terre plein central serait le niveau H1¹.

La deuxième donnée était la **configuration imposée au terre plein central** avec un vide central de 50 cm qui ne permet de mettre en place qu'un dispositif de retenue métallique fixé au tablier par une console métallique ancrée à l'extrémité de dalle. C'était la seule solution autorisant la mise en place d'une interruption de terre plein central conforme aux exigences de circulation assurant la continuité des voies sans baïonnette au niveau de la transition DBA - DEe2 (Double à Entretoise étroite avec un support tous les 2 m) modifiée.

Enfin, la troisième donnée était la **géométrie du terre plein central** composée de deux bandes dérasées de 0,45 m encadrant une bande centrale de 0,60 m. Donc le dispositif de retenue devait avoir un encombrement maximal de 0,60 m et une flèche de fonctionnement la plus réduite possible pour ne pas engager le gabarit de la voie opposée en cas de choc.

Recherche de solutions

La première étape de notre travail a consisté à rechercher, dans la panoplie des dispositifs de retenue existants tant en France qu'en Europe, un modèle de barrière métallique pouvant être implanté dans la partie centrale du terre plein central et dont le niveau de performance soit le plus proche possible du niveau H2.

Or les dispositifs donnant un niveau H1 ou H2 (homologué suite à des essais selon les conditions normalisées) faisaient au moins 0,8 m de large (par exemple, les modèles DE2+[®] ou Performance 13[®]).

Par contre, un modèle dont l'encombrement était de 0,5 m permettait une implantation dans le vide central de l'ouvrage : il s'agissait de la barrière DEe2. Malheureusement, le seul test effectué était de niveau N mais il nous a semblé que, par rapport à la barrière DE2 (Double à Entretoise avec un support tous les 2 m et de largeur 0,8m) qui est de niveau H1, il devait être possible d'avoir le niveau H1.

En première approche, sur la base des informations en notre possession, nous avons considéré qu'une DEe2 d'encombrement 0,6 m devait pouvoir satisfaire le niveau de performance H1.

(1) Ces niveaux sont définis dans la norme EN 1317, parties 1 et 2.

Pourquoi une étude en simulation?

A ce stade de l'étude, en l'absence d'essais confirmant le niveau H1, nous avons le choix entre plusieurs options pour valider cette orientation :

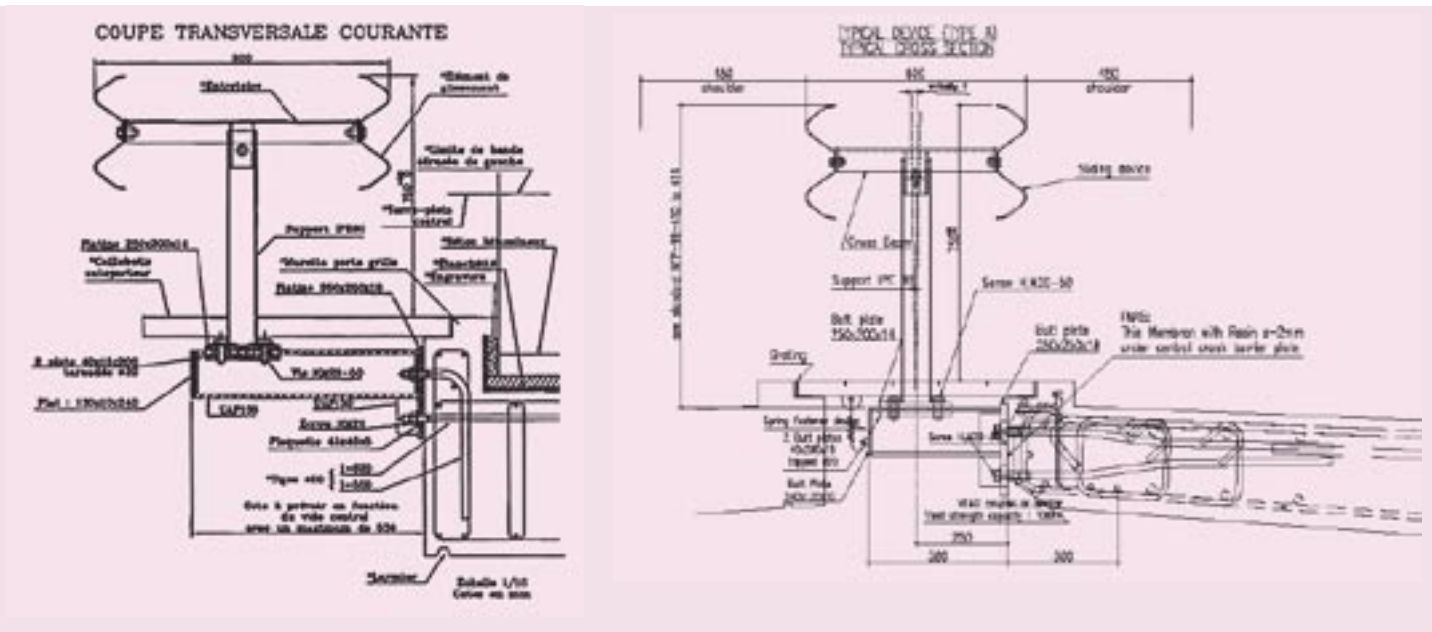
- a) faire des essais conformément à la norme NF EN 1317-2 dans les conditions H1. Une telle orientation, conforme à la procédure de certification, est longue et coûteuse (le coût d'un *seul* essai est de l'ordre de 45 000 €, sans compter l'investissement pour l'infrastructure).
- b) se baser sur un avis d'expert. Or la difficulté pour établir cet avis tenait à l'absence d'élément auquel l'expert pouvait se rattacher. Il faut savoir que la validation dans le domaine des dispositifs de retenue est toujours basée sur une connaissance du comportement lors d'essai sur un produit similaire pour lequel les modifications apportées au dispositif de retenue restent limitées et facilement appréciables. Dans le cas présent, le passage de la largeur de l'entretoise de 0,8 m à 0,6 m pour garder le même niveau H1 était délicat et sujet à discussions et critiques.
- c) une troisième voie consistait à faire une évaluation par simulation modélisée avec le programme PAM-CRASH™ pour laquelle le Séttra disposait d'une certaine expérience. Cela permettait d'avoir une idée

de la capacité limite de retenue du modèle de barrière envisagé et de définir les effets positifs ou non de certaines améliorations qui pourraient être proposées (par exemple remplacer le support en IPE80 par un C100, rigidifier les lisses, etc.).

Le coût d'une telle approche, outre son apport sur la connaissance du produit, reste économiquement raisonnable puisque le coût a été de l'ordre de 15 000 €, pour une durée de moins de 2 mois.

Une telle démarche n'est envisageable que si l'on dispose d'un essai réel sur un dispositif de retenue qui va servir de référentiel pour faire la comparaison. Or c'était le cas puisque l'on disposait d'une validation, dans le cadre d'une étude pour le compte du Séttra, sous un test correspondant au niveau H1 (test TB 42⁽²⁾ : camion de 10 t sous 20° à 70 km/h) sur une barrière DE2 sur laquelle on a proposé de travailler en la modifiant pour avoir un dispositif de retenue adapté au contexte de l'ouvrage

Cette dernière orientation a été proposée et acceptée par le concessionnaire.



Dispositif de retenue de référence DE2 (largeur 0,8 m) et dispositif envisagé et essayé en simulation DEe_{2,0,6} (largeur 0,6 m)

(2) Voir NF EN 1317-2, tableaux 1 et 2 et guide GC, fascicule « Choix d'un dispositif de retenue », figure 5.

La simulation

L'étude a été confiée à la société ESI France avec laquelle le Sétra avait déjà travaillé lors de la mise au point de modèle de barrières ou d'écran de retenue de chargement. L'étude proposée comprenait les 2 phases suivantes :

Phase 1 - Conception d'une nouvelle barrière (à partir de la barrière DE2) par simulation du test TB42 (choc d'un poids lourd de 10 tonnes) de niveau H1

- Réexécution du calcul de choc TB42 sur le modèle DE2,
- Réévaluation des résultats et comparaison avec les résultats de l'essai existant,
- Modification du modèle de barrière DE2 avec une entretoise passant d'un encombrement de 0,8 à 0,6 m,
- Exécution du calcul de la nouvelle barrière avec le logiciel PAM-CRASH™ sur une durée suffisante pour obtenir la fin du contact du véhicule sur la barrière.

Parmi les modifications envisagées et testées on notera les suivantes :

- Renforcer le fusible en passant à une vis de Ø12, par exemple (au lieu de Ø10 dans la norme). Le risque est de modifier trop profondément le comportement du support qui reste un IPE80 assez souple.
- Renforcer l'ensemble en partant d'une barrière dite Performance 13 ou DE+ qui a été homologuée en H2 suite aux résultats d'essais mais avec une largeur de 0,8 m hors tout. Dans ce cas la vis de fixation est une vis de Ø12 mais sur un support C100 à âme perpendiculaire au sens du trafic. Ce qui avait l'inconvénient de modifier les efforts dans la charpente support définie pour un IPE 80.

Exploitation des résultats :

- Visualisation de la cinématique d'ensemble, trajectoire du véhicule,
- Evolution dans le temps de l'angle de position du véhicule (+ angle de sortie),
- Evolution de la déformée de la barrière et du véhicule,
- Evaluation de la poche (longueur et déformée maximale dynamique et résiduelle),
- Evaluation du nombre de rupture des liaisons entre les poteaux et les lisses,
- Evolution des bilans d'énergie, des énergies absorbées par la barrière et par le véhicule,
- Evolution des efforts d'encastrement à la base de l'ensemble des poteaux,

Ces calculs ont été effectués de manière itérative jusqu'à l'obtention d'un résultat satisfaisant, en modifiant les paramètres suivants :

- Géométrie de la barrière suivant discussion,
- Nuances de matériaux,
- Niveaux des efforts de rupture des différentes liaisons,
- En final la géométrie retenue est fournie en terme de maillage.

Phase 2 - Vérification du comportement de la barrière en test TB11 (choc d'un véhicule léger de 900 kg) et vérification des critères normalisés :

- ASI (Acceleration Severity Index)
- THIV (Theoretical Head Impact Velocity)
- PHD (Post Impact Head Deceleration)



Figure 8 : vues de la simulation. A gauche, sur le modèle de barrière DE2 (largeur 0,8 m), à droite sur la solution DEe2₆₀₀ (largeur 0,6 m) finalement retenue (comparaison pratiquement au même moment du déroulement du choc)

désignation	DE2-800-IPE Résultats de l'essai	DE2-800-IPE Résultats de la simulation	DEe2-600-IPE Résultats de la simulation
Longueur de la flèche (m)	26	20,4	19,7
Poche dynamique (m)	1,12 (w=1,5)	1,2	1,1
Poche statique (m)	1,1	1,1	1
Nombre de supports déformés	≈ 13	11 à 12	12
Angle de sortie (°)	7,1	3,60	6
Renversement			tendance

Tableau de comparaison des résultats

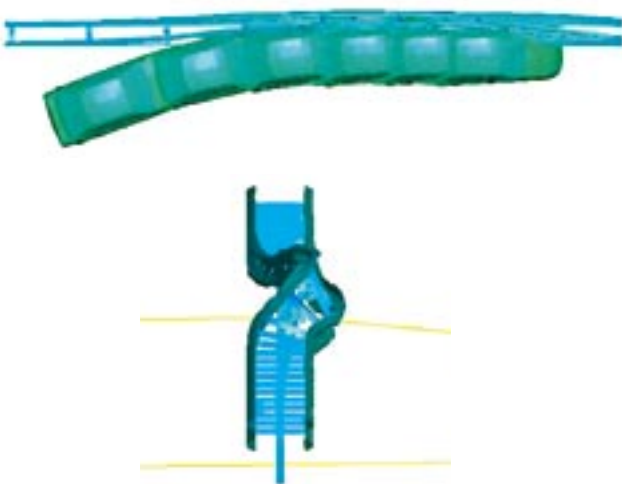
Les conclusions suite à cette simulation

- Lors de la phase de calage du système, l'essai TB42 simulé sur la barrière DE2 a donné des résultats très proches de ce que l'on observait lors de l'essai réel en H1. Ceci nous a conduit à penser que le calage était satisfaisant.
- L'essai en niveau H1 simulé sur la barrière DEe2₆₀₀ a donné un résultat très satisfaisant et conforme au niveau des critères d'acceptation de ce produit.
- Par contre, nous nous sommes interrogés sur la valeur de la poche (profondeur et longueur) qui est plus faible par rapport aux résultats tant simulés que réels sur la barrière DE2. En fait, après avoir analysé différents résultats d'essais sur des barrières similaires dans différentes conditions, on a relevé que la profondeur de la poche tendait à diminuer au fur et à mesure de la réduction de la largeur du dispositif de retenue. Donc, sur ce point, l'observation en simulation était homogène avec d'autres résultats.
- L'explication que nous en donnons mérite que l'on s'y attarde car cela a une influence sur d'autres conclusions.

Il semble que la barrière DE n'a pas le même principe de fonctionnement en largeur 0,8/1,0 m qu'en 0,5/0,6 m. En largeur 0,8 m ; il y a un effet net de l'arc-boutement de l'élément de glissement opposé au coté choc qui s'appuie sur le sol apportant ainsi une meilleure reprise de l'effort. Mais, en fait, en fin de choc, seul l'élément de glissement coté choc participe efficacement à la retenue du poids lourd du fait que la poutre-échelle se met dans un plan vertical.

En largeur étroite, on ne dispose plus de l'effet d'arc-boutant mais, par contre, la poutre échelle reste plus longtemps horizontale et apporte donc une meilleure participation de la matière dans la retenue du poids lourd.

Trajectoire



Vue de la déformation résultante de la barrière, véhicule enlevé

- Donc la réduction de largeur du dispositif de retenue ne paraît pas influencer, du fait de la modification du principe de fonctionnement, sur le niveau de performance du dispositif de retenue ; ceci n'était pas évident a priori et c'est l'analyse tant des essais en simulation que les essais réels qui paraît avoir révélé ce fait.
- Les essais avec un support C100 n'ont pas paru apporter une amélioration sensible en terme d'efficacité. Par ailleurs, l'existence d'une propriété industrielle sur le mode de liaison support C100/entretoise a conduit le concessionnaire à ne pas poursuivre dans cette voie.
- Par ailleurs, nous avons demandé une simulation avec une DEe2₆₀₀ comportant un fusible plus résistant au niveau de la fixation support IPE80/entretoise en passant d'un Ø10 (selon la norme) à un Ø12 (comme cela est prévu avec la solution du support C100 en niveau H2). Les résultats n'ont pas, non plus, été concluants avec, même, un effet inverse à ce que l'on escomptait.
- Compte tenu des résultats de l'étude en simulation comparés aux observations sur un dispositif de retenue similaire sous des essais conformes aux conditions de la norme EN 1317, nous avons conclu que la barrière DEe2₆₀₀ avec boulon fusible Ø10 pouvait être considérée comme donnant un niveau de performance H1.
- Sur la base de diverses comparaisons (notamment le résultat d'un essai H2 sur une DE2 et constatation, voir ci-dessus, 4^{ème} alinéa), le niveau de performance nous a semblé se situer entre H1 et H2 car il semble y avoir une réserve de capacité de résistance. On peut regretter que l'absence d'un modèle de car chez ESI n'ait pas permis de réaliser la simulation sous H2 mais la mise au point du modèle aurait allongé inconsidérément les délais (et augmenté les coûts !).

index	Calculé
ASI (acceleration severity index)	0,6
THIV (Theorical Head impact Velocity)	7,0
PHD (Post Impact Head Deceleration)	21

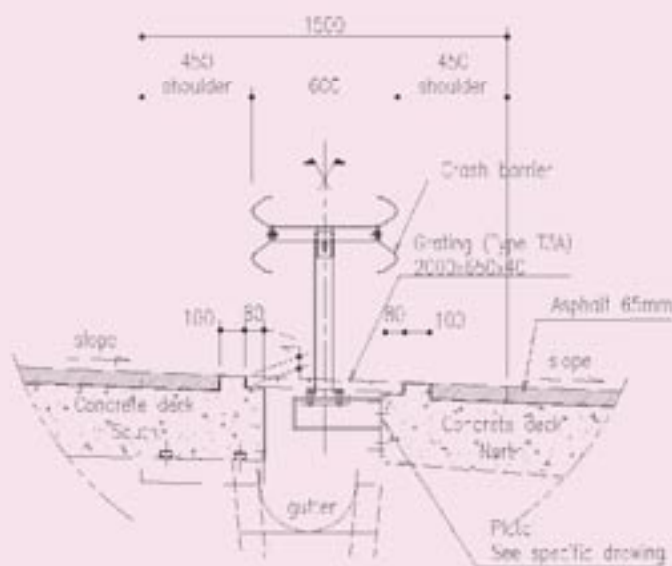
Résultats avec l'essai simulé de niveau TB11 (petit véhicule de 900 kg, à 100 km/h sous 20°)

• Les renforts avec un C100 ou un boulon fusible de $\varnothing 12$ (au lieu d'un $\varnothing 10$) n'ont finalement pas été retenus car, à l'analyse du rapport de l'étude en simulation, ils n'apportaient pas un plus significatif, voire même négatif, indépendamment d'autres considérations.

• Finalement, la barrière donne le niveau de sécurité exigé par la norme NF P 98.410 et 412, avec un support IPE80. La seule modification porte sur l'utilisation d'une entretoise spéciale donnant une largeur totale à la barrière de 0,6 m. Ce choix est important pour les deux raisons suivantes :

1. Il permet de ne pas modifier le dispositif de fixation dans le vide central sur la base d'une charpente métallique conforme au guide GC.
2. Il autorise l'emploi du système d'interruption de terre plein central conforme à celui défini dans la norme citée précédemment sans modification majeure. En effet, pour des raisons d'exploitation, le concessionnaire souhaitait pouvoir procéder, en cas de besoin, à un basculement d'une chaussée sur l'autre, du trafic par une interruption de terre plein central rapide à mettre en place. Cette exigence avait d'ailleurs conduit au type de profil en travers, avec l'absence, en terre plein central, de reliefs et la nécessité de disposer de caillebotis circulaire tout trafic.

Le profil en travers type résultant. Les dispositions au droit de l'interruption du terre plein central.



Dispositions de profil en travers type au droit de l'interruption du terre plein central

Le passage des joints par les dispositifs de retenue

Introduction et hypothèses

La conception de cet ouvrage et son mode de fonctionnement, notamment les mouvements en condition sismique, ont des conséquences sur le fonctionnement des équipements au droit des joints de l'ouvrage (20 joints au total). Les mouvements qui apparaissent à ce niveau obligent à rendre libre les équipements pour assurer les libres déplacements de la structure. Or cette liberté de mouvements n'est pas compatible avec le principe de fonctionnement d'un dispositif de retenue qui ne doit pas présenter de discontinuité. A noter que dans le cas présent, la difficulté était accrue par des conditions de mouvements très spécifiques : le mouvement longitudinal varie (en ordre de grandeur) de ± 178 à ± 320 mm à l'ELS et on doit prendre en considération un mouvement transversal de ± 61 à ± 195 mm à l'ELS.

Il s'agissait donc de définir des dispositifs de retenue permettant de réduire et de franchir les zones où les BN4 et la barrière centrale présentent un niveau de sécurité dégradé du fait du joint. Ces dispositifs, comme nous allons le voir dans les pages qui vont suivre, ont été adaptés d'ouvrages ou d'essais présentant des similitudes. Compte tenu des forts déplacements des ouvrages au droit des joints, le concessionnaire a demandé de traiter ces zones :

- En considérant des mouvements transversaux raisonnables,
- En prenant en compte les déplacements longitudinaux des cas de charges de service fréquents,
- En considérant que les dispositifs de retenue au droit des joints seront inspectés et remplacés si nécessaire après chaque séisme important.

Rappel du principe de fonctionnement d'une barrière

En cas de choc en un point d'un dispositif de retenue, celui-ci fonctionne comme une longue « bande » avec comme objectif de **provoquer la redirection du véhicule et lui permettre de ressortir du contact avec le dispositif**. C'est le principe universel de fonctionnement d'une barrière. En effet, on ne peut espérer « arrêter » un véhicule avec moins de 100 kg de matière au mètre linéaire compte tenu des énergies mises en jeu.

Au moment du choc, la bande va donc se tendre, autant que possible de manière homogène, sans point dur, pour former une poche de déformation absorbant ainsi de l'énergie par déformation du dispositif, et du véhicule ainsi que par frottement sur le sol ou sur le dit dispositif.

Au cours de la formation de cette poche, il y a obligatoirement des tensions dans la bande : pour limiter la profondeur de la poche, il faut donc que la bande soit **ancrée** aux extrémités. Faute de cet ancrage, la poche est trop profonde ou devient dissymétrique empêchant le véhicule de sortir, voire provoquant le franchissement de la barrière.

L'ancrage aux extrémités est habituellement assuré par deux dispositions, soit :

- Une longueur de barrière. Cette longueur, à partir de laquelle on considère, suite aux essais, que le niveau d'efficacité est atteint, est de 10 m pour une BN4 et environ 28 m pour une DE,
- Un ancrage d'extrémité ponctuel.

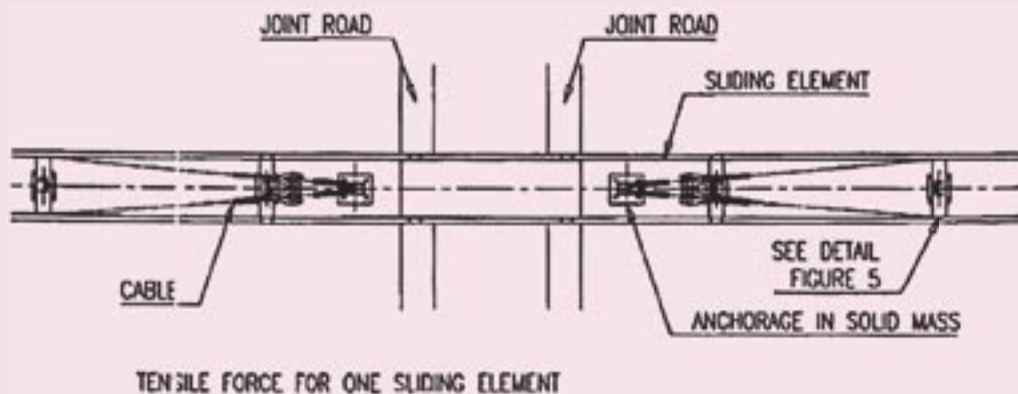
Application au cas de la barrière en terre plein central

Cas du mouvement longitudinal (suivant l'axe du trafic)

En France, nous utilisons des éléments spéciaux de dilatations définies dans la norme NF P 98.411, § 3.2.3. pour assurer le passage des joints de chaussées de souffle inférieur ou égal à 10 cm (notons que le serrage des boulons doit se faire par un système écrous-contre écrous). Au-delà, l'allongement de plus de 10 cm d'un élément de glissement ne permet pas un fonctionnement correct pour les raisons indiquées dans le paragraphe précédent sur le principe de fonctionnement et nous recommandons l'usage de transmetteur d'effort (dispositifs fonctionnant un peu selon le principe des ceintures de sécurité pour les passagers des véhicules : blocage seulement en cas de choc).

Dans le cas présent, pour des raisons économiques, le système transmetteur d'effort (Transpec® ou similaire) n'a pas été retenu. Nous avons proposé une solution employant des éléments de glissement spéciaux de dilatation avec des trous ovalisés permettant les mouvements prévus sur le joint sous-jacent. Cette disposition entraîne une dégradation ponctuelle du niveau de sécurité que nous limitons à une zone de courte longueur en ancrant les éléments de glissement immédiatement après le passage du joint.

Les efforts dans les ancrages de la glissière sont d'environ 150 à 200 kN selon les données transmises par le laboratoire LIER en charge des tests d'agrément des dispositifs de retenue des routes.



Vue en plan de la disposition au droit du passage du joint de la barrière DE en terre plein central

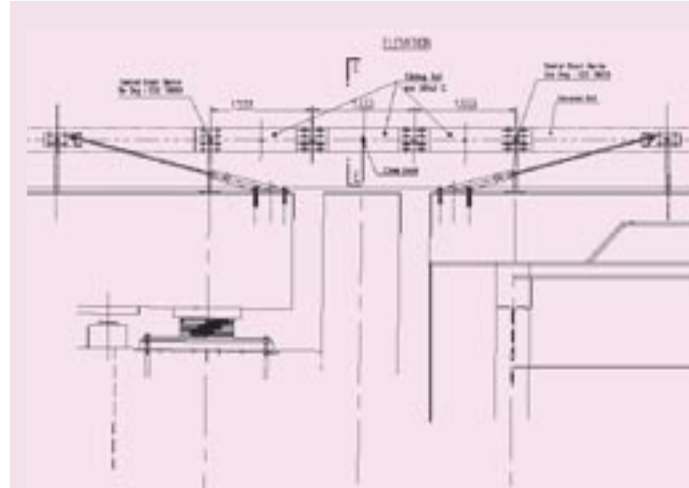
Cas du mouvement transversal

Au droit des joints, le fonctionnement de la structure, notamment sous séismes, implique des déplacements latéraux relatifs des structures.

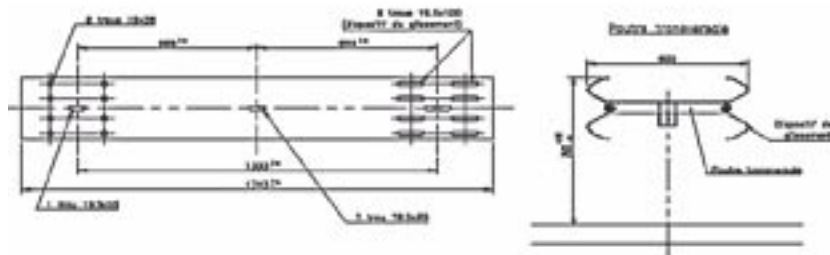
Il n'existe pas de solutions spécifiques pour permettre de tels déplacements tout en assurant la continuité du dispositif de retenue.

Après analyse et discussion avec divers spécialistes, il nous a semblé possible d'admettre de pouvoir fonctionner par la souplesse des éléments de glissement et par le jeu des trous ovalisés. C'est ainsi que l'on trouve, au droit du joint, un espacement de 4 m entre les deux supports afin de laisser l'ensemble bouger sous sollicitations de mouvements transversaux.

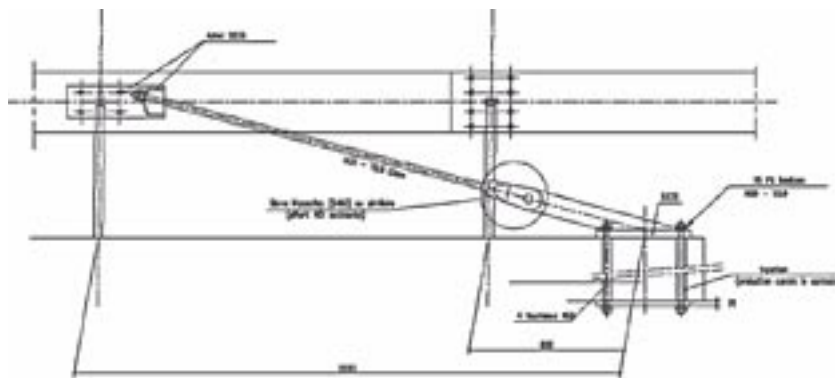
Cela conduit à la disposition de principe ci-contre.



Coupe au droit du passage des joints par la glissière



Détail de la pièce de glissement



Détail du dispositif d'ancrage

Application au cas de la barrière BN4

Comme pour la barrière en terre plein central, la solution du Transpec® (combinée avec un système de cardans pour reprendre les mouvements transversaux comme cela a été appliqué sur quelques ouvrages en France) n'a pas été retenue pour des questions économiques et de mise au point.

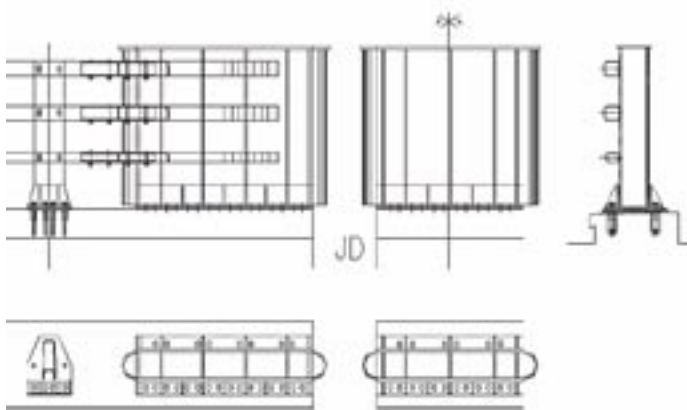
Pour permettre la continuité de la barrière en cas de mouvements transversaux, nous avons proposé des caissons d'ancrage ci-dessous, utilisés en France dans le cas de pont mobile notamment (A29 sur le canal de Tancarville, sur la Rivière salée en Guadeloupe). L'utilisation de ces caissons permet d'ancrer les lisses de BN4 et de conserver les performances en terme de sécurité sur la totalité du dispositif de retenue. De plus, ces caissons permettent de s'affranchir des déplacements transversaux relatifs d'un segment d'ouvrage par rapport à l'autre.

Le dispositif se compose de 2 caissons d'ancrage de lisses de BN4 encadrant un caisson central :

- Les ancrages dans la dalle des caissons extérieurs permettent de reprendre le choc frontal et d'ancrer les efforts de traction de lisses.
- Leur implantation est directement liée aux mouvements longitudinaux.



Photo 2 : mise en place de l'élément spécial de BN4 au bord du joint



Élévation et vue en plan de la barrière BN4 au passage des joints

Application au cas du garde-corps de service

Pour le passage du joint par le garde-corps, compte tenu de sa fonction, la disposition retenue consiste à arrêter le garde-corps au ras du joint et à mettre en place soit une chaîne, soit un câble maintenu en permanence tendu par un système ressort.

Conclusions

En matière de dispositif de retenue des véhicules, le passage des joints de chaussées constitue toujours une difficulté parce que la nécessaire liberté de mouvement va à l'encontre de l'obligation de continuité du niveau de sécurité.

Par rapport aux dispositions normalisées françaises, il n'a pas été possible de faire appel à des solutions de type transmetteur de choc : un tel dispositif, en l'état actuel des connaissances, pouvait se bloquer aussi en cas de mouvements sismiques. Il existe, vraisemblablement, des solutions mais leur validation aurait demandé un délai inacceptable compte tenu du planning.

L'autre difficulté, inhabituelle, était de prendre en compte un important mouvement transversal qui a conduit à retenir deux dispositifs selon que l'on étudie :

- la BN4 : accrochage des lisses dans un caisson d'ancrage et caisson sur chevêtre,
- ou la barrière DEe2_{0,6} dans laquelle on laisse jouer la souplesse des éléments de glissement avec ancrage pour assurer un niveau de performance correct quelques mètres après la zone du joint.

Les autres équipements

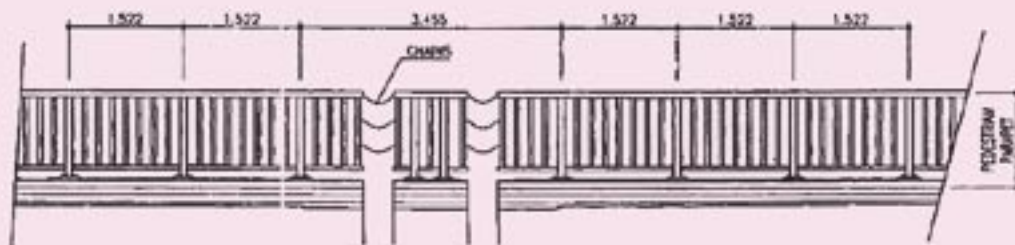
A côté de ces aspects particuliers des barrières de sécurité, l'ouvrage comporte aussi quelques spécificités sur les équipements qui ont nécessité des choix qu'il paraît intéressant de présenter. Il s'agit notamment de l'aménagement des bretelles du pont dalle en milieu d'ouvrage et de l'étanchéité.

Musoirs sur bretelle de sortie

Nous avons vu dans les paragraphes précédents que les bords des tabliers sont équipés de barrière BN4. Ces barrières constituent, au droit de l'échangeur dans le sens sortant, un musoir dangereux pour les usagers. La difficulté était que celui-ci est au droit des joints de chaussées entre le viaduc et la bretelle de sortie.

Comme toujours, sur un ouvrage, la place est comptée et il est toujours difficile de réaliser des ancrages dans la structure.

Après analyse de la situation, nous avons proposé de mettre en place un atténuateur de choc conforme à la norme NF ENV 1317-4 avec un système non redirectif mais jouant seulement le rôle d'atténuateur de choc. La décision de ne pas prévoir un système redirectif provient du fait que cela aurait nécessité des ancrages dans la structure et ceci n'était pas évident à mettre en place dans cette zone. D'autre part, le risque d'un impact latéral a été estimé peu probable statistiquement et les conséquences ont été jugées minimales du fait de l'existence de la BN4 en arrière.



Traitement du joint dans le garde-corps



Aménagement du musoir

Conclusions

La condition nécessaire pour une bonne qualité et une durabilité d'un ouvrage est une bonne étude structurale, mais contrairement à de nombreuses idées reçues, ce n'est pas suffisant car l'entreprise doit apporter un soin important au bon choix des équipements ainsi qu'à leur mise en œuvre.

En général, on rappellera que le coût des équipements au moment de la construction est de l'ordre de 15 % du coût total de l'ouvrage, ce qui n'apparaît pas prépondérant au moment de la construction. Par contre, le coût d'entretien des équipements durant la vie de l'ouvrage peut représenter de 30 à 60 % du total des crédits annuels consacrés à l'entretien du pont.

Le choix correct et réfléchi des équipements constitue donc un élément important du coût à venir de l'ouvrage. Le futur concessionnaire était très sensible à cet aspect et a confié au bureau d'étude VINCI Construction Grands Projets la mission d'apporter la plus grande attention à ce sujet. Pour l'aider dans cette tâche, l'assistance technique du Sétra fut précieuse.

Le contexte du projet, notamment les mouvements sismiques, ont induit une conception de la structure sur laquelle les équipements devaient assurer leur fonction. La mise au point de solutions techniques s'est, le plus souvent, appuyée sur des dispositions éprouvées mais il a aussi été nécessaire d'innover car le contexte de l'ouvrage ne permettait pas d'implanter les solutions types. La principale innovation a consisté, pour les dispositifs de retenue du terre plein central, à faire appel à une validation par simulation sur ordinateur sur la base d'une solution type testée en conformité avec la norme NF EN 1317-2. Les enseignements à tirer de cette étude sont intéressants et montrent que pour les dispositifs de retenue métalliques, il existe une réelle possibilité de passer par cette simulation à condition de bien préciser ce que l'on fait et que les résultats soient appréciés par un expert ■

Références bibliographiques

1 - Articles sur la construction des ouvrages de cette liaison (Chantiers de France, N° 364 du 10.2003, Le Moniteur, du 17.10.2003, du 28.05.2004 et du 27.08.2004, Revue Travaux, N°809 du 06.2004).

2 - Guide GC. Sétra - Fascicules :

2.1 - « Barrières de sécurité pour la retenue des véhicules légers et aménagement dans le terre plein central. Barrières de niveau N » - 09/01 - Sétra (Réf. : F0115 - prix : 21 €).

2.2 - « Barrières de sécurité pour la retenue des poids lourds. Barrières de niveau H » - 09/99 - Sétra (Réf. : F9916 - prix : 28,97 €).

2.3 - « Choix d'un dispositif de retenue en bord libre d'un pont » 02/02 - Sétra (Réf. : F0205 - prix : 15 €).

3 - Rapport de recherche « Mise au point des dispositifs de retenue par simulation de chocs » - 03/04 - Sétra. *En consultation sur les sites internet et i2 du Sétra (dans la rubrique « à télécharger » du catalogue des publications).*

4 - NF EN 1317, Dispositifs de retenue routiers.

5 - NF P 98.410, Barrières de sécurité routières. Glissières de sécurité en acier (profils A et B) Composition, fonctionnement et performances de retenue.

6 - NF P 98.411, Barrières de sécurité routières. Glissières de sécurité en acier (Profils A et B). Dimensions et spécifications techniques de fabrication des éléments de glissement.

Credit photo : Nikos Daniilidis (photothèque VINCI).

Remerciements à Didier Benoît (VINCI Construction Grands projets) pour la mise en forme des dessins.