

OUVRAGES D'ART

N° 19 - Novembre 1994

CENTRE DES TECHNIQUES D'OUVRAGES D'ART



Bulletin de liaison diffusé par le Centre des Techniques d'Ouvrages d'Art du
SERVICE D'ÉTUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES

PONT DE TANUS

Les études des effets du vent

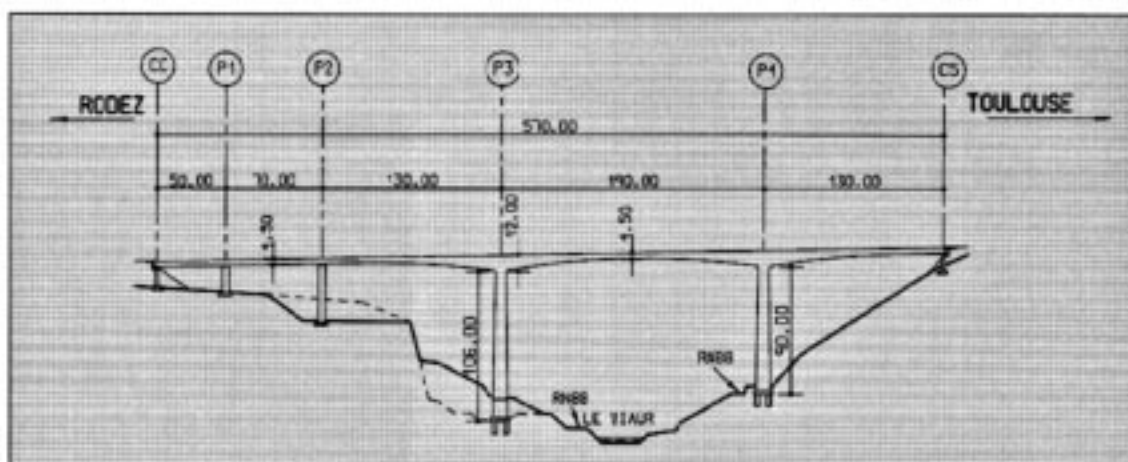


Figure 1: coupe longitudinale de l'ouvrage.

Le viaduc de Tanus permet le franchissement de la vallée du Viaur par la RN 88 entre Albi et Rodez. Le Maître d'Ouvrage de l'opération est l'État et la maîtrise d'œuvre est assurée par la Direction Départementale de l'Équipement de l'Aveyron.

L'étude d'une solution à deux voies de circulation, menée par Europe Études Toulouse avec les conseils du SETRA, a conduit en 1992 à un appel d'offres. Cet appel d'offres n'a néanmoins pas abouti et le projet a été revu sur la base d'une solution à quatre voies de circulation pour laquelle les études du tablier ont été réalisées par Europe Études Toulouse et les études des piles et des effets du vent par le SETRA, avec l'aide du CSTB.

L'ouvrage, en béton précontraint, a une longueur totale de 570 mètres et comporte 5 travées. La travée principale, de 190 m de portée, est encastree sur les piles principales. L'ouvrage est de hauteur variable sur la travée principale et les deux travées adjacentes. La hauteur du tablier est de 12 mètres sur pile principale et de 4,50 mètres à la clé (figures 1 et 2).

Les piles ont une section transversale en caisson, constante sur les piles secondaires P1 et P2, et variable sur les deux piles principales P3 et P4. Les piles principales P3 et P4 ont des hauteurs respectivement égales à 106 mètres et 90 mètres.

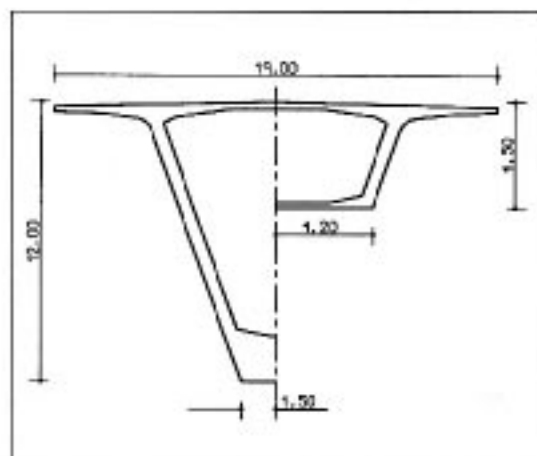


Figure 2: coupe transversale.

Étude de la solution à deux voies

En raison de la grande hauteur des piles nous n'avons pas voulu nous contenter des règles du Fascicule 61 Titre II, qui risquent de sous-estimer largement les effets du vent. Nous avons donc utilisé les «Recommandations de la Convention Européenne de la Construction Métallique» pour le calcul des effets du vent sur les constructions (règles CECM). Selon ces règles, et en cumulant volontairement des hypothèses considérées comme pessimistes, la pression statique équivalente à appliquer sur le tablier et les piles a été estimée à 350 kg/m² en service (hors coefficient 1,5). Pour les justifications en construction, cette pression était réduite à 200 kg/m², ce qui cor-

INTERVENANTS:

Maître d'ouvrage:
État

Maîtrise d'œuvre:
DDE de l'Aveyron -
Service des Routes et
Ouvrages d'Art

Bureaux d'études:
EFG Toulouse
SETRA-CTOA - Division
des Grands Ouvrages
d'Art

Organisme associé:
CSTB

respond sensiblement au rapport 125/200 du Fascicule 61 Titre II.

Ces calculs ont conduit à prévoir des piles assez massives et fortement armées à la flexion. Nous pensions que les hypothèses faites plaçaient l'ouvrage largement en sécurité et que la détermination des caractéristiques du vent dans le site et des coefficients aérodynamiques du tablier pourrait permettre de réduire les dimensions et les quantités d'armatures. Pour des raisons de délais et de coût, ces études n'ont pas été entreprises.

Études d'APOA de la solution à quatre voies

Pour l'étude d'APOA de la solution à quatre voies, l'étude des effets du vent a été réalisée à l'aide du programme RAFALES, élaboré par SOGELERG et dont dispose le SETRA. Ce programme permet d'évaluer par une analyse spectrale, l'amplitude des oscillations induites par le vent dans une structure souple.

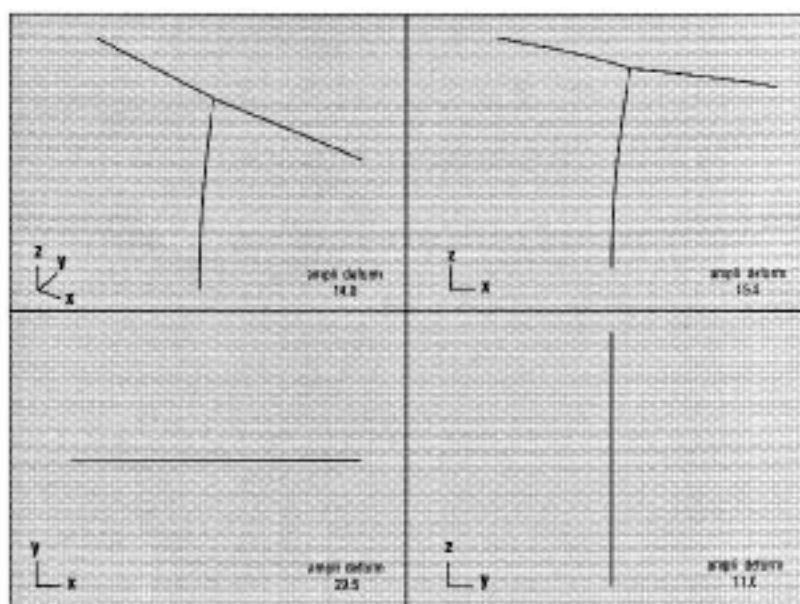
Cependant, nous ne disposons pas d'un modèle de vent ni des caractéristiques aérodynamiques du tablier. Les calculs ont donc été menés avec des valeurs approchées égales à celles retenues pour les études préliminaires du pont de Millau. Par ailleurs, l'adoption de valeurs de calcul de la vitesse et de la turbulence du vent plus faibles pour les justifications en construction que pour celles en service n'est fondée sur aucun élément objectif. Contrairement aux études antérieures nous avons donc retenu les mêmes hypothèses qu'en service, soit un vent de période de retour égale à 50 ans.

Les résultats des calculs ont montré que la justification de la résistance des piles principales ne posait pas de problème en service : un ferrailage constitué de barres HA32 au pas de 25 centimètres, sur chaque face des voiles, est amplement suffisant et donne un ratio de ferrailage inférieur à 1%.

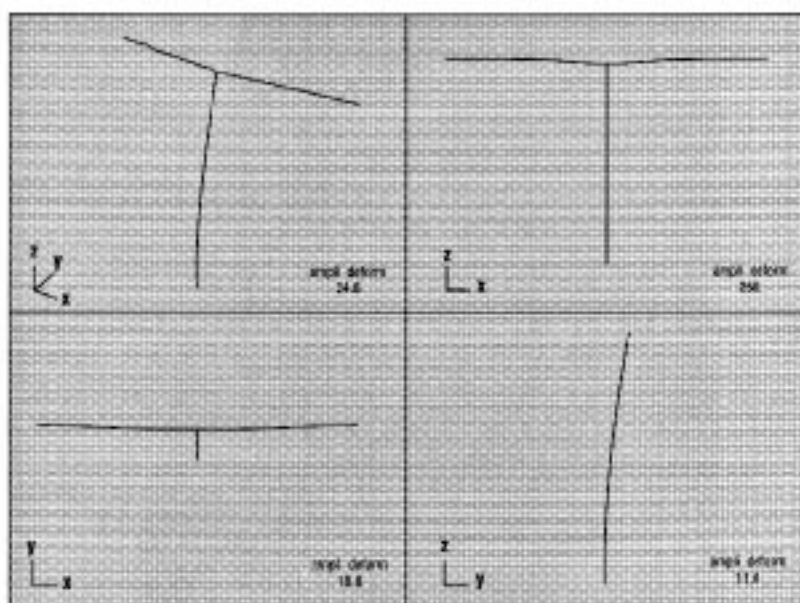
Par contre, la justification en construction nécessitait la mise en place d'un ferrailage de l'ordre de 3%, soit deux barres HA32 au pas de 12 centimètres sur chaque face, hors zone de recouvrement.

La figure 3 montre les deux modes propres de la structure dont l'excitation par le vent turbulent entraîne de fortes sollicitations dans le fût de pile. Le mode n° 1 est un mode de flexion de la pile, de type déséquilibre de fléau, le mode n° 3 est un mode de flexion de la pile, dans le sens du vent.

On peut remarquer que la contribution du mode numéro 1 n'est pas prise en compte par les règles de la CECM.



Mode n° 1 - Fréquence = 0.13844.



Mode n° 3 - Fréquence = 0.26894.

Les résultats de ces calculs nous ont donc amené à rechercher une solution technique de stabilisation du fléau, permettant de garder le coffrage de la pile et de limiter le ferrailage à environ 1%.

Étude du CSTB

Parallèlement à ces calculs d'APOA, une commande a été passée au CSTB pour :

- déterminer le modèle de vent au moyen d'un recalage climatologique et d'une étude sur maquette topographique en soufflerie ;
- déterminer les caractéristiques aérodynamiques du tablier.

Figure 3 : Tanus - Viaduc sur le Vieux - Construction de la pile P3 - Modes propres.

	Viaduc de Tanus AFOA	Viaduc de Tanus DCE	Pont de Normandie Vent du Sud-Ouest
Vm (m/s) au niveau du tablier	39,0	34,3	36,5
σ_u (m/s)	5,3	6,3	5,0
σ_v (m/s)	4,7	6,0	4,3
σ_w (m/s)	2,9	4,7	3,2

Tableau 1 : principales caractéristiques du vent.

Mode n° 1		$\frac{X1_{DCE}}{X1_{AFOA}} = \frac{1,45}{0,83} = 1,75$
Mode n° 3		$\frac{X3_{DCE}}{X3_{AFOA}} = \frac{0,14}{0,20} = 0,70$

Tableau 2 : calculs RAFALE - Coordonnées généralisées.

Le tableau 1 présente les principales caractéristiques du vent dans le site, résultant de cette étude :

- vitesse moyenne Vm au niveau du tablier, en réduction de 12% ;
- σ_u , σ_v , σ_w , écart-type des composantes longitudinale, latérale et verticale de la fluctuation.

On constate, par rapport au modèle approché, une augmentation de plus de 60% de l'écart-type de la composante verticale de la fluctuation, donc une augmentation prévisible de l'excitation du mode 1. Par contre, la réduction de la vitesse moyenne du vent tend à diminuer l'excitation du mode 3.

Les mesures des caractéristiques aérodynamiques du tablier ont également montré que la dérivée du coefficient de portance par rapport à l'incidence du vent était plus importante d'où une augmentation encore prévisible de l'effet du mode 1.

Les coordonnées généralisées des modes 1 et 3, obtenues à l'aide du programme RAFALES (tableau 2), confirment ces orientations :

- mode n° 1 : augmentation de 75% des sollicitations dues à la turbulence du vent ;
- mode n° 3 : réduction de 30% des sollicitations dues à la turbulence du vent.

DCE - Mise au point du projet

Compte tenu des résultats précédents le problème de la stabilisation du fléau en construction subsistait et a donc nécessité la mise au point d'un système de stabilisation.

La démarche du calcul a consisté à déterminer la longueur maximale de fléau pour laquelle il n'est pas nécessaire de mettre de dispositif particulier, en limitant le ferrailage à 1%. Passée cette longueur qui s'avère égale à 52,30 mètres, la mise en place d'un système de stabilisation est nécessaire.

Deux grands types de solutions ont été étudiés :

- système de stabilisation par câbles uniquement ;
- ou système de stabilisation par palée (avec ou sans câble).

Pour chacun de ces deux types de solutions, plusieurs possibilités ont été envisagées. Finalement les deux systèmes de stabilisation les plus intéressants se sont révélés être :

- la solution avec 4 câbles 37T15 verticaux ancrés dans des massifs au sol (fig. 4) ;
- la solution avec mise en place d'une palée métallique en Profils Reconstitués Soudés (PRS) (fig. 5).

La première solution est plus simple de mise en œuvre même si elle impose un renforcement du câblage de fléau par 4 câbles 27T15 extérieurs. La solution PRS pose plus de problème pour le suivi géométrique : l'inclinaison de la palée induit des efforts horizontaux sous l'effet des charges verticales correspondant à la fin de la construction du fléau.

Nous avons donc retenu la solution 4 x 37T15 pour l'appel d'offres.

Par ailleurs ces études nous ont conduit à ancrer les piles dans le rocher par quatre puits marocains de trois mètres de diamètre pour éviter des décompressions excessives de la semelle.

Conclusion

Pour conclure, on peut noter que les études des effets du vent sur le viaduc de Tanus ont conduit à mettre en œuvre des dispositions relativement lourdes et coûteuses ; mais on peut toutefois faire quelques remarques.

Tout d'abord, le viaduc de Tanus est un cas particulier de par la taille des fléaux et la hauteur des piles, mais aussi de par la forte turbulence du vent. L'importance des sollicitations nous a d'ailleurs conduit à nous demander si nous n'avions pas été exagérément prudents et à faire un calcul sur un fléau plus classique. Nous avons fait ce calcul avec

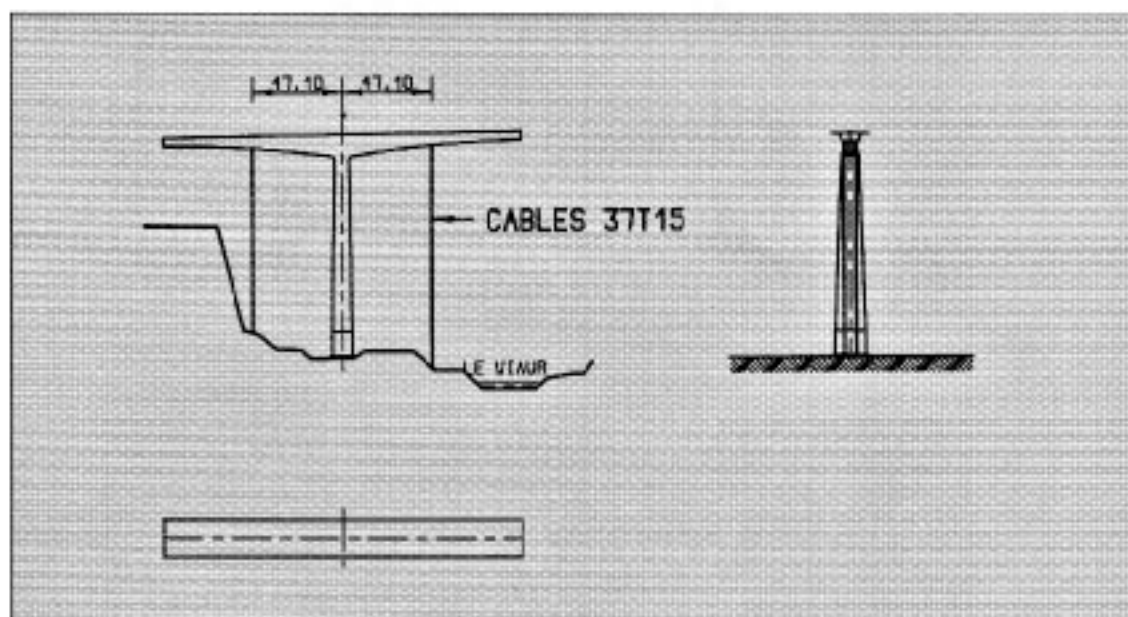


Figure 4 : solution avec 4 câbles 37T15 verticaux ancrés dans des massifs au sol.

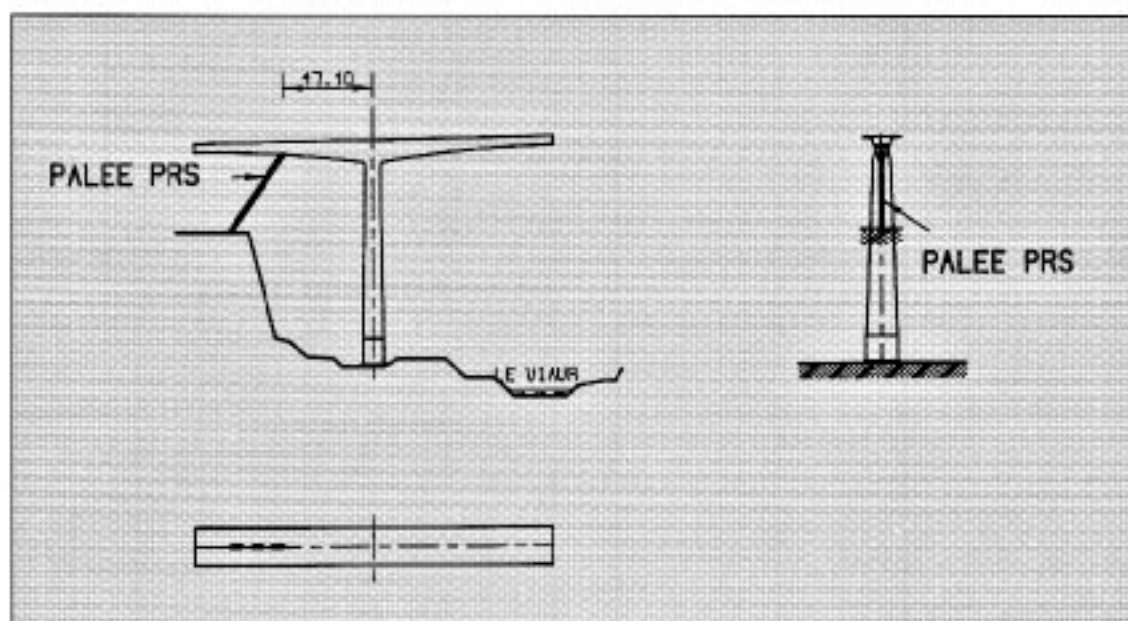


Figure 5 : solution avec mise en place d'une palée métallique en Profils Reconstitués Soudés (PRS).

un fléau d'environ 100 m de long, une pile de 40 m de hauteur et un vent un peu moins turbulent (le vent du Sud-Ouest sur le site du pont de Normandie). Les résultats montrent que dans ce cas plus courant on n'observe pas de problème particulier.

On notera également que la linéarisation et le cumul quadratique des efforts conduisent à un résultat défavorable; on considère simultanément les moments de flexion maxima dans les deux directions. Des solutions à ce problème sont le calcul par

pas de temps avec simulation numérique du vent ou la réalisation de maquettes aérodynamiques.

Enfin, nous avons retenu les mêmes caractéristiques de vent en construction et en service en l'absence d'élément permettant une réduction, et il peut donc paraître intéressant d'étudier plus avant ce problème. ■

E. BOUCHON
J. LEFÈVRE