

# Les dispositions

Ce document décrit les dispositions antisismiques adoptées pour les différents ponts compris dans la seconde traversée du Tage à Lisbonne. Le niveau sismique spécifié est très important, il a donc été nécessaire d'élaborer et de mettre en place des équipements spéciaux tels que :

- des amortisseurs hydrauliques;
- des amortisseurs élasto-plastiques;
- des coupleurs hydrauliques;
- des joints de chaussée à grande capacité de déplacement;
- des appareils d'appuis glissants à grande capacité de déplacement.

## ■ GÉNÉRALITÉS

### Description générale du projet

Les ouvrages les plus importants du projet sont du nord vers le sud (figure 1) :

- ◆ le viaduc nord (488 m de long);
- ◆ le viaduc de l'Exposition (672 m de long);
- ◆ le pont principal (824 m de long);
- ◆ le viaduc central (6531 m de long);
- ◆ le viaduc sud (3825 m de long).

Chaque viaduc comporte 2 x 3 voies.

## Données sismiques

L'accélération maximum du sol a pour valeur 0,5 g. Le spectre de réponse est donné par la figure 2 pour deux emplacements :

- ◆ à l'affleurement de la roche sur laquelle sont fondés le viaduc nord et le viaduc de l'Exposition;
- ◆ dans le lit du Tage constitué de sol mou sur lequel reposent le pont principal, le viaduc sud et le viaduc central.

## ■ PONT PRINCIPAL

### Description de la structure

Le pont principal comporte une travée principale de 420 m et de chaque côté des travées de 62, 71 et 72 m (figure 3).

Les pylônes en H de 150 m de haut sont fondés sur des caissons de 84 x 20 x 14 m pouvant résister à la collision d'un bateau, chaque caisson repose sur 44 pieux de 2,2 m de diamètre (figure 4).

Les piles de transition P1 et P6 sont des structures en portiques; la traverse porte les deux caissons provenant au nord du viaduc de l'Exposition et au sud du viaduc central (figure 5).

Les piles intermédiaires P2, P3, P4 et P5 sont constituées de deux piliers indépendants.

Le tablier de 30,9 m de large est constitué de :

- ◆ deux poutres latérales en béton de 2,6 m de haut dans lesquelles les haubans sont ancrés (figure 6);
- ◆ de poutres métalliques transversales tous les 4,42 m. Au-dessus des piles, les poutres métalliques sont remplacées par des entretoises en béton;
- ◆ une dalle en béton de 25 cm d'épaisseur.

Contrairement aux structures classiques, le tablier n'est pas lié au pylône, dans le but de diminuer la fréquence de résonance du pont et ainsi réduire les efforts au prix, toutefois, de l'augmentation des déplacements.

### Conditions d'appuis du tablier

L'agencement des appareils d'appuis est spécifié sur la figure 7, montrant les mouvements possibles du tablier par rapport aux piles. Des appuis glissants sont utilisés.

Ils sont multidirectionnels sur les piles 2 et 5 et monodirectionnels sur les piles 1, 3, 4 et 6.

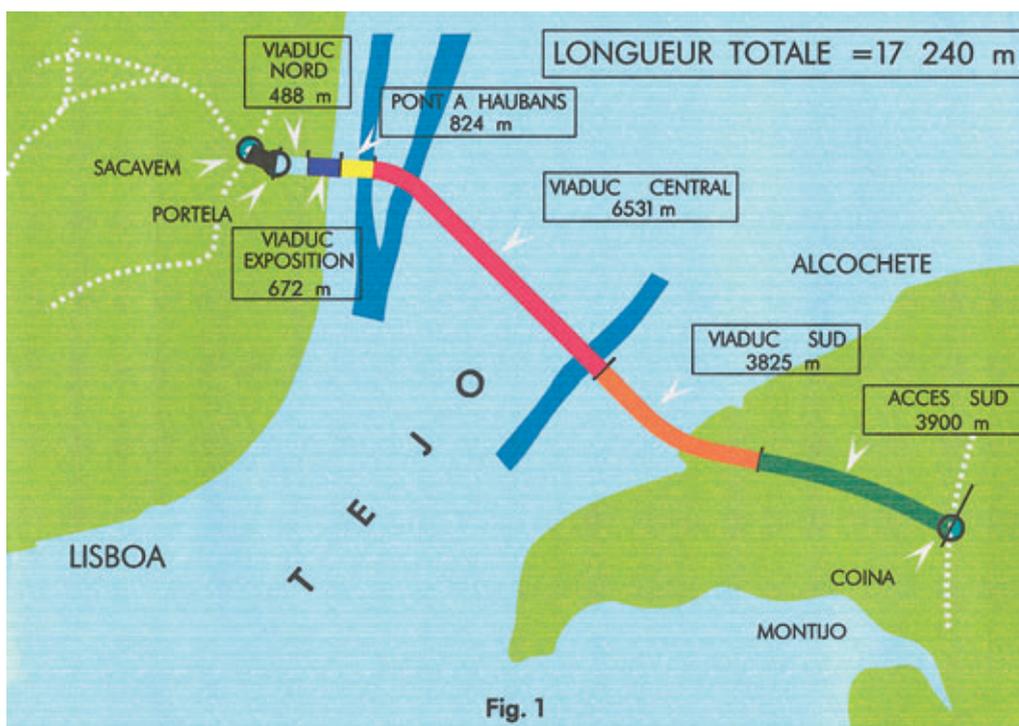


Figure 1  
Ouvrages les plus importants du projet du nord vers le sud

*The biggest structures of the project from north to south*

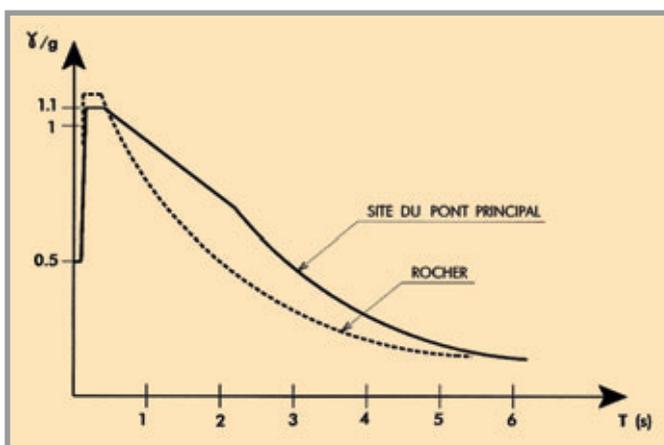


Figure 2  
Spectre de réponse : 5 % d'amortissement  
Response spectrum : 5 % absorption



# antisismiques

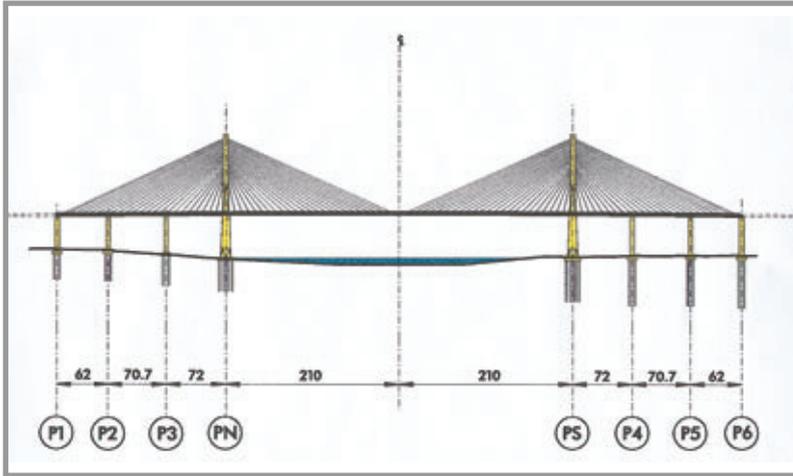


Figure 3  
Élévation  
du pont principal  
*Elevation  
of main bridge*

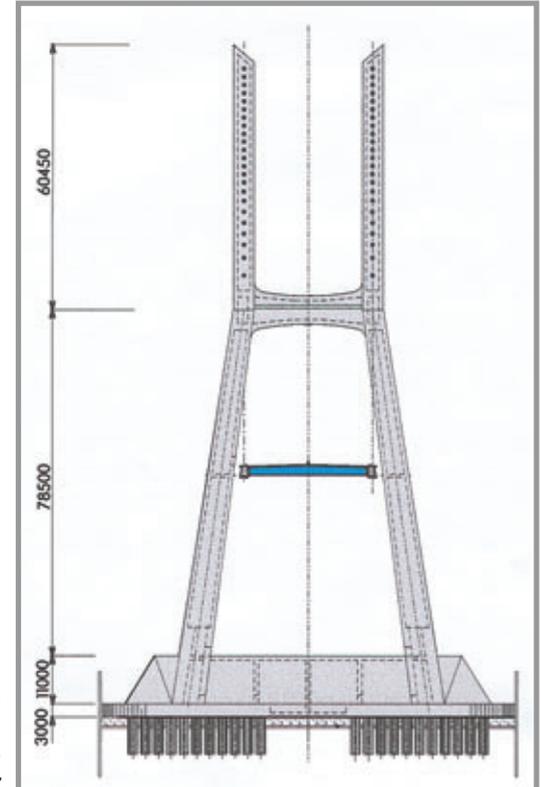


Figure 4  
Élévation  
du pylône  
*Elevation  
of tower*

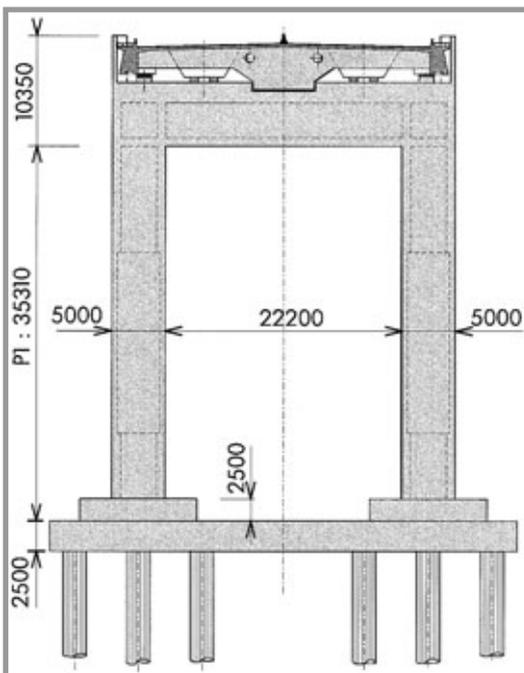


Figure 5  
Piles  
de transition  
*Transition  
piers*

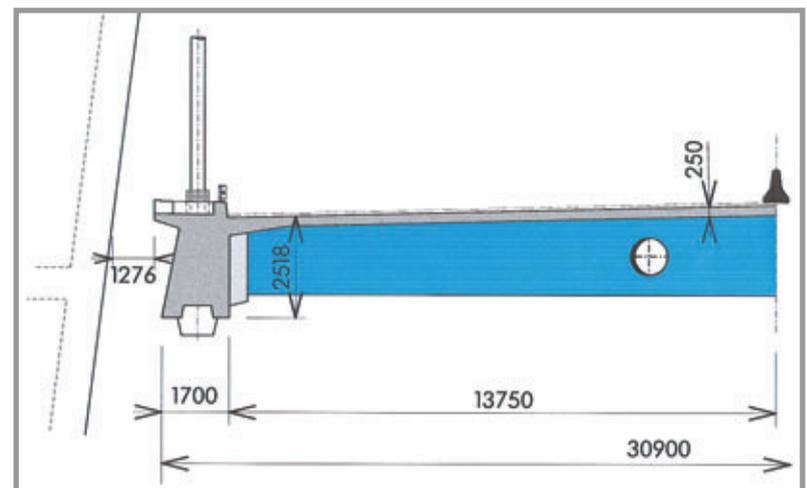


Figure 6  
Coupe type  
du tablier  
*Typical cross section  
of deck*

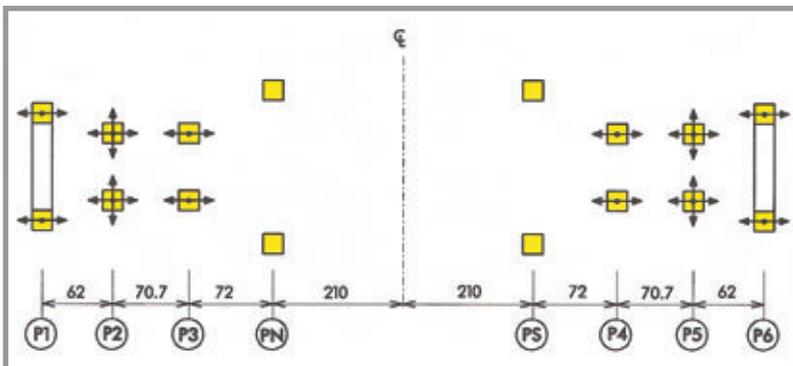


Figure 7  
Appareils  
d'appui  
*Bridge  
bearings*



**Appuis verticaux**

Le tablier est porté uniquement par les six piles. A cause de possibles soulèvements en service, des câbles verticaux sont prévus dans les piles P2, P3, P4 et P5.

**Liaisons longitudinales**

A part les amortisseurs élasto-plastiques décrits ci-après, il n'y a pas de liaison entre le pont et les piles ou les pylônes. Des appuis glissants sont ainsi prévus sur toutes les piles. Le pont est donc stabilisé uniquement par les haubans qui le relie aux pylônes.

**Liaisons transversales**

Le pont est bloqué transversalement sur les piles P1, P3, P4 et P6. De plus, il est lié aux pylônes par des amortisseurs élasto-plastiques.

**Amortisseurs élasto-plastiques**

Les amortisseurs ont été prévus pour limiter les déplacements. Ils sont aussi utiles pour réduire les

contraintes, mais cette action bénéfique n'a pas été prise en compte. A cause de l'amplitude des déplacements, des appareils hydrauliques très volumineux auraient été nécessaires, ce qui a été jugé inacceptable pour des raisons esthétiques. Il a donc été décidé de concevoir des amortisseurs métalliques, utilisant la plasticité du métal pour dissiper l'énergie (figure 8).

Les amortisseurs transversaux sont constitués de consoles encastrées sur les pylônes et sont reliés au tablier par des barres articulées. En service ces amortisseurs travaillent dans leur domaine élastique et agissent comme des supports élastiques horizontaux. Les contraintes dans le tablier dues au vent sont ainsi réduites.

Les amortisseurs longitudinaux sont constitués de consoles encastrées sur le tablier et sont reliés aux pylônes par des barres articulées. Chaque barre comprend un coupleur hydraulique permettant uniquement la transmission de déplacements lents. Ces amortisseurs sont donc inactifs en condition de service mais opérationnels en cas de séisme.

**Analyse modale**

**Modes de vibrations**

Les modes les plus importants de vibration sont reportés sur le tableau I. Le séisme longitudinal agit sur le mode 1. Le séisme transversal agit sur le mode 2 (déplacement du tablier) et sur les modes 17 et 19 (déplacement des pylônes). Le séisme vertical agit sur le mode 3.

Nous pouvons remarquer que la structure choisie pour le pont principal permet d'obtenir, en général, des périodes de vibration de grande valeur et ainsi une faible réponse sismique. Ce n'est pas le cas pour les pylônes dans la direction transversale (pour  $T = 1,2$  s, la pseudo-accélération est  $0,94$  g) mais leur structure leur apporte la solidité nécessaire (figure 9).

**Résultats principaux**

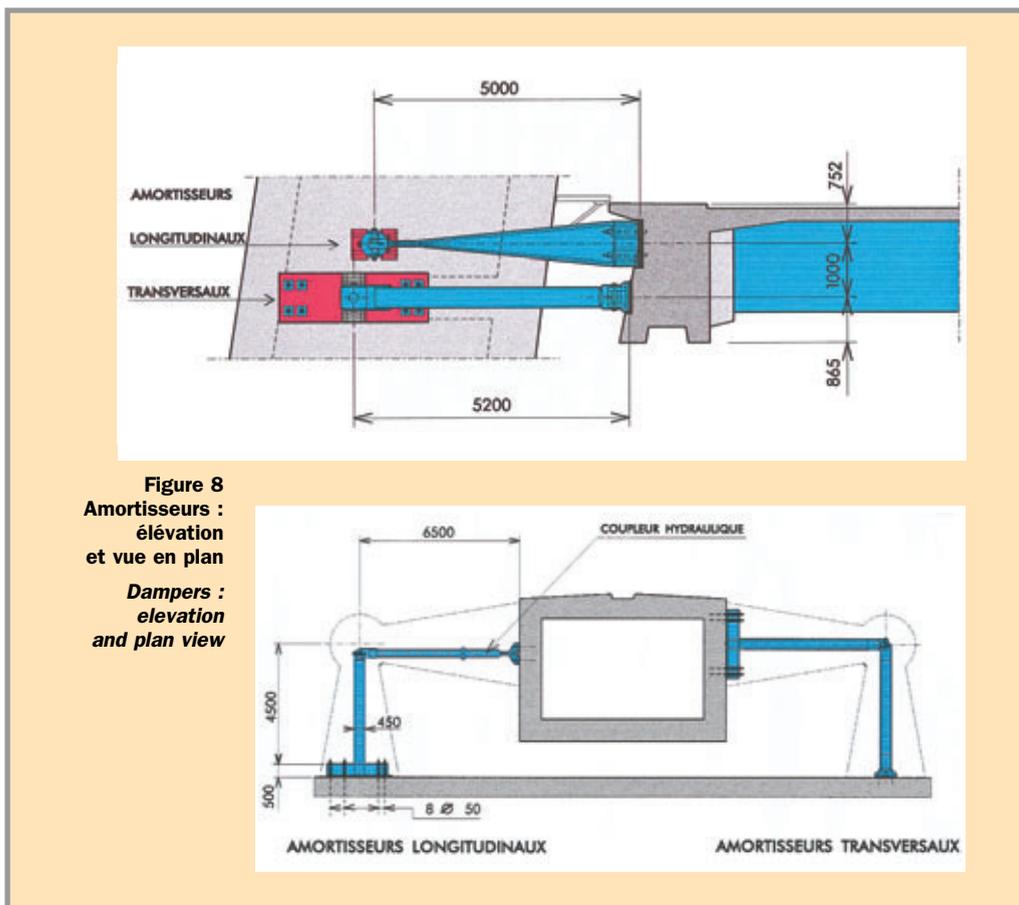
Les déplacements maximums estimés du tablier sont :

- ◆ 1,6 m dans la direction longitudinale ;
- ◆ 2 m dans la direction transversale en milieu de travée ;
- ◆ 1 m dans la direction transversale près du pylône.

**Tableau II**

**Conception des appuis. (\*) Force horizontale transversale équilibrée par un système indépendant**

**Design of bridge bearings. (\*) Transverse horizontal force balanced by an independent system**



**Figure 8**  
Amortisseurs :  
élévation  
et vue en plan  
  
Dampers :  
elevation  
and plan view

**Tableau I**  
Les modes  
de vibrations  
  
Vibration modes

Mode 1	période $T = 6,26$ s	déplacement longitudinal du tablier
Mode 2	période $T = 4,77$ s	déplacement transversal du tablier
Mode 3	période $T = 3,25$ s	déplacement vertical du tablier
Mode 17	période $T = 1,28$ s	déplacement transversal du pylône sud
Mode 19	période $T = 1,17$ s	déplacement transversal du pylône nord

Pile	Force (kN)		horizontale	Déplacement (mm)	
				longitudinal	transversal
	verticale	minimum			
1 et 6	0	12500	0*	1800	0
2 et 5	500	29000	0	1800	850
3 et 4	1000	31000	12500	1800	0

## Conception des amortisseurs

Les amortisseurs ont un comportement élasto-plastique, la limite élastique étant obtenue pour une force de 1500 kN par amortisseur et donc de 6000 kN pour chaque pylône aussi bien dans la direction transversale que longitudinale.

### Modèle utilisé

L'étude de la réponse s'est faite à partir d'un modèle spatial incluant localement des éléments élasto-plastique.

Le calcul n'est donc pas linéaire et est basé sur dix accélérographes compatibles avec le spectre de réponse.

### Résultats

Cette étude a montré que la réduction du déplacement du tablier était de l'ordre de 25 % en moyenne.

Néanmoins, sans doute à cause de leur bande de fréquence, pour certains accélérographes cette réduction s'est avérée négligeable.

### Essais de résistance

Un comportement convenable de l'amortisseur n'est obtenu que si la plasticité survient le long d'une grande longueur de la console. Si ce n'est pas le cas, une rupture locale peut survenir à cause de l'allongement excessif de l'acier.

Les sections qui influent le plus sur les déplacements sont proches de l'extrémité fixe de la console, la conception a donc été faite selon le modèle suivant :

- ◆ évaluation des forces internes maximum en prenant en compte les effets du second ordre ;
- ◆ prise en compte de la loi exacte contrainte-déformation de l'acier au-delà de la limite élastique ;
- ◆ ajustement de la résistance de chaque section pour obtenir un accroissement graduel de la résistance de l'extrémité fixe à l'extrémité libre de la console.

## Conception des appuis

Les appuis doivent supporter des déplacements complètement inhabituels. De plus, les appuis monodirectionnels subissent des forces horizontales importantes comparativement à la charge verticale (tableau II).

## Joints de chaussée

Dans le cas d'un tremblement de terre, les déplacements longitudinaux entre le pont principal et le viaduc de l'Exposition ou le viaduc central sont de  $\pm 2$  m.

Les joints de chaussée sont conçus pour un déplacement de  $\pm 0,7$  m, ils sont donc efficaces pour de petits tremblements de terre uniquement.

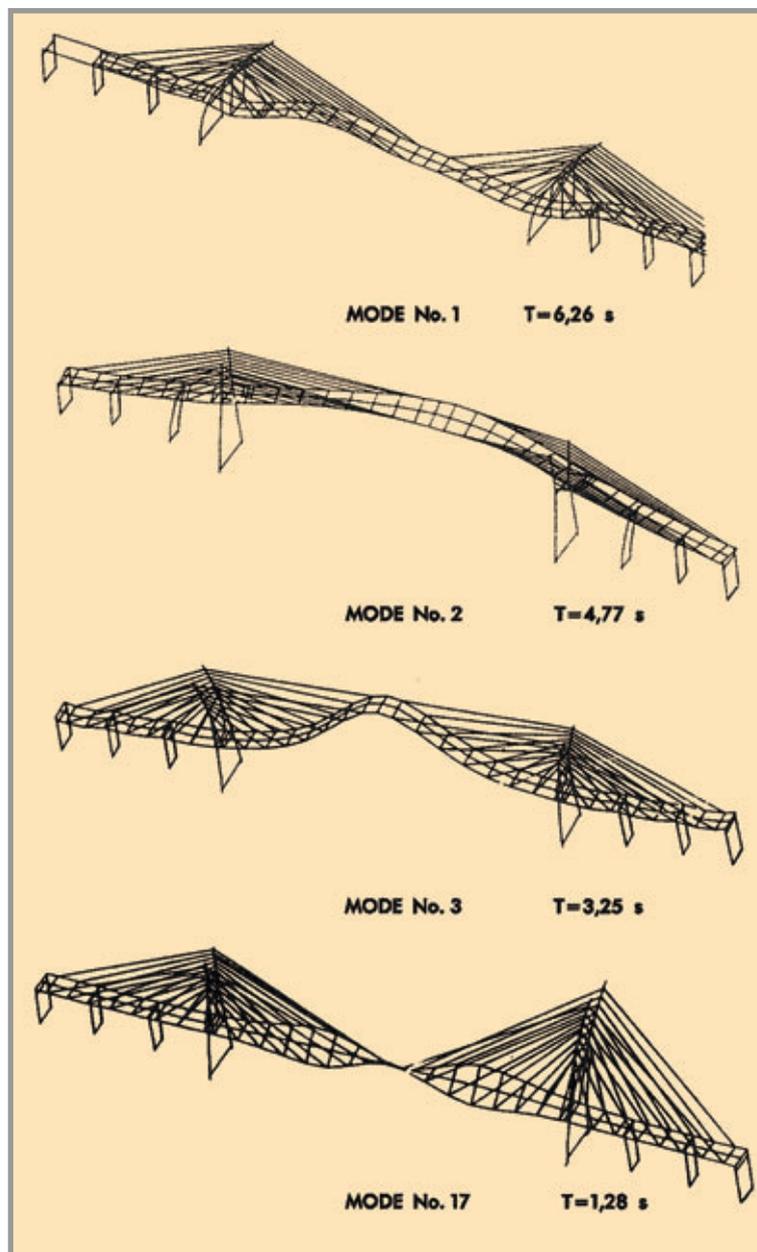


Figure 9  
Modes vibrations  
Vibration modes

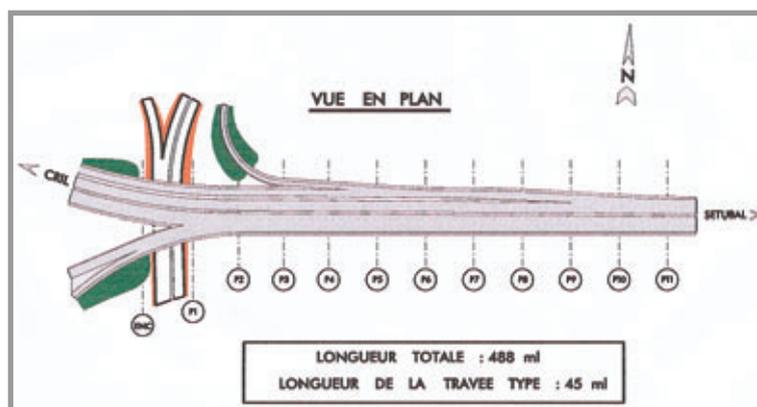


Figure 10  
Viaduc nord.  
Vue en plan  
North viaduct.  
Plan view

## VIADUC NORD

### Description de la structure

Le viaduc nord est une plate-forme de largeur variable conçue pour joindre les voies d'entrée et de sortie à la voie principale. Sa longueur est de 488 m, le viaduc allant de la culée principale jusqu'à la pile de transition vers le viaduc de l'Exposition (figure 10) et sa largeur moyenne est de 45 m. Le ta-

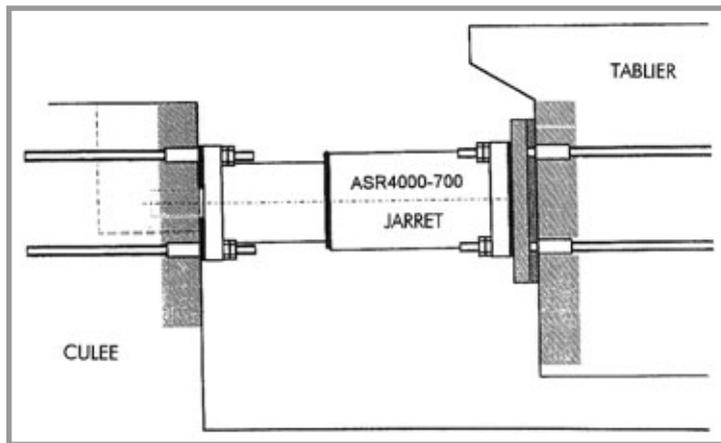


Figure 11  
Amortisseurs  
hydrauliques  
Hydraulic  
dampers



blier est essentiellement composé de cinq poutres longitudinales de 3,4 m de hauteur en béton précontraint. Ces poutres longitudinales sont reliées par des dalles d'épaisseur variable et de portée variable, elles aussi en béton précontraint. Des traverses relient deux poutres longitudinales d'un côté du tablier et trois de l'autre côté. Les traverses sont coulées dans une seconde phase dans le but de faciliter les procédés de construction et sont précontraintes.

Le tablier est construit travée par travée grâce à un échafaudage traditionnel. Il comprend une travée de 47 m de long, trois travée de 42 m de long et sept travée de 45 m de long.

### Amortisseurs hydrauliques

Le tablier est relié à la culée nord par dix amortisseurs hydrauliques (figure 11) conçus pour assurer à la structure un bon comportement en cas de séisme, mais restant inactifs en service. La fixation du tablier à la culée est obtenue dans ce dernier cas par une goupille en acier calibrée pour se rompre uniquement en cas de séisme.

Le comportement du pont durant un séisme longitudinal a été simulé par un calcul non linéaire prenant en compte les caractéristiques des amortisseurs qui produisent une force  $F$  reliée à la vitesse  $v$  par la formule  $F = C v^{0,2}$ ,  $C$  étant une constante. La valeur maximum de  $F$  dans le cas d'un séisme est de l'ordre de 4 000 kN pour chaque amortisseur soit 40 000 kN pour la culée.

### Appuis

Le tablier est porté par la culée et les piles au moyen d'appuis à pot. Ils sont unidirectionnels au niveau des piles (n'autorisant que des déplacements longitudinaux) et multidirectionnels au niveau des culées.

## VIADUC CENTRAL

### Description de la structure

Le viaduc central est principalement composé de travées de 78,62 m, avec des joints de chaussée toutes les neuf travées. Le tablier est composé de deux caissons placés côte à côte (figure 12).

### Appuis

Des appuis fixes sont utilisés sur les deux piles centrales. Les autres appuis empêchent les déplacements transversaux et permettent un libre déplacement longitudinal sauf dans le cas d'un séisme. Ces appuis sont obtenus en utilisant des appuis unidirectionnels associés à des coupleurs hydrauliques (figure 13).

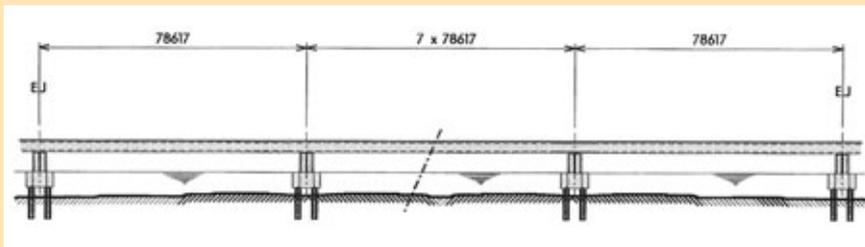


Figure 12  
Viaduc central.  
Coupes longitudinale  
et transversale  
Central viaduct.  
Longitudinal  
and cross  
sections

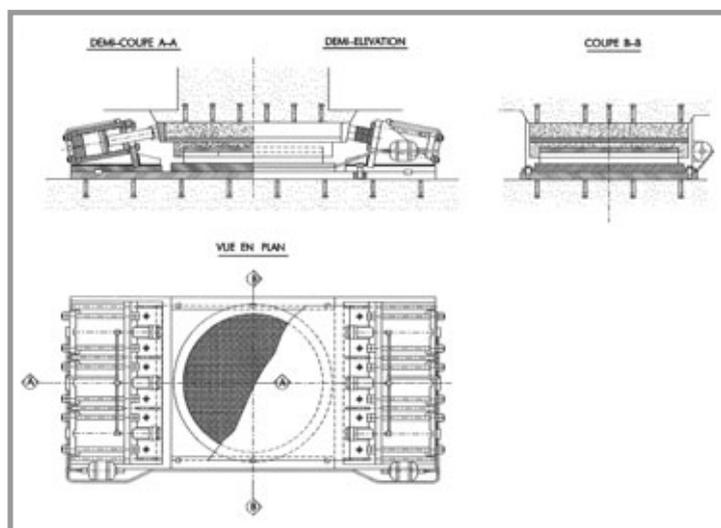
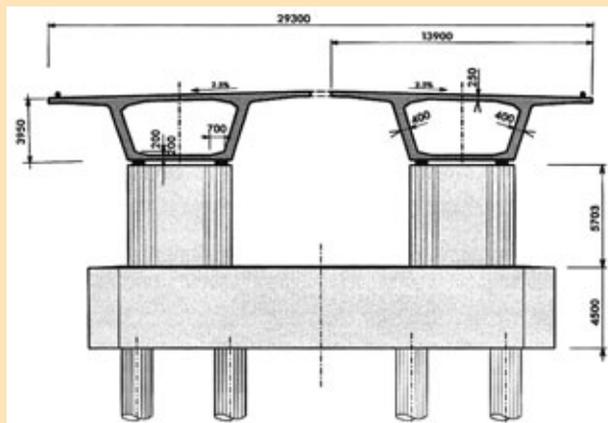


Figure 13  
Appuis  
Bearings

En service, les contractions et les dilatations dues aux écarts de températures sont permises.

Dans le cas d'un séisme, les coupleurs hydrauliques opèrent et la force horizontale est répartie entre toutes les piles.

### Joint de chaussée

Les joints de chaussée doivent pouvoir supporter un déplacement longitudinal de  $\pm 1$  m en cas de séisme (figure 14).

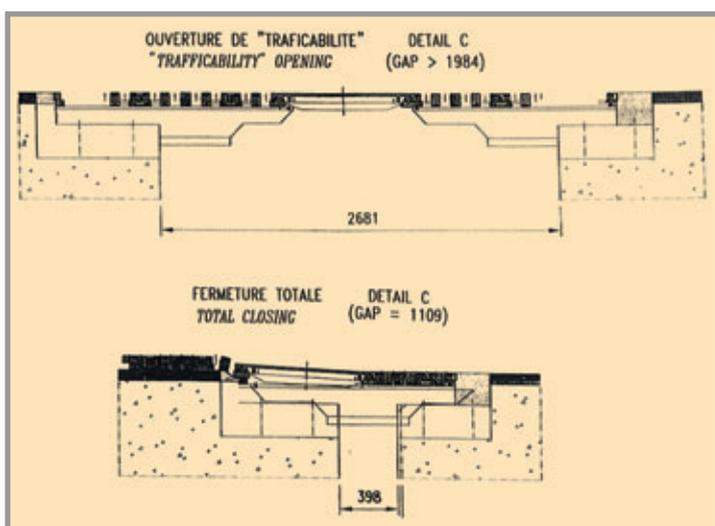


Figure 14  
Joint de chaussée  
Pavement joints

### ENGLISH SUMMARY

#### Earthquake-resistant design

A. Capra

This document describes the earthquake design features adopted for the different bridges of the second crossing of the Tagus in Lisbon. The specified earthquake level is very high, calling for the design and setup of special equipment such as :

- hydraulic dampers ;
- elasto-plastic dampers ;
- hydraulic couplings ;
- pavement joints with high displacement capacity ;
- sliding bridge bearings with high displacement capacity.

### DEUTSCHES KURZREFERAT

#### Die Erdbebenschutzmaßnahmen

A. Capra

Der vorliegende Artikel behandelt die Erdbebensicherung, die bei den verschiedenen Brückenbauwerken der zweiten Lissabonner Tejo-Überquerung umgesetzt worden ist. Das seismische Risiko ist sehr ausgeprägt, so daß Spezialausrüstungen entwickelt und gebaut werden mußten, und zwar :

- hydraulische Dämpfungsvorrichtungen,
- elasto-plastische Dämpfungsvorrichtungen,
- hydraulische Verbinder,
- Fahrbahnfugen mit hohem Verschiebvermögen,
- Gleitlager mit hohem Verschiebvermögen.

### RESUMEN ESPAÑOL

#### Disposiciones antisísmicas

A. Capra

En este artículo se describen las disposiciones antisísmicas adoptadas para los distintos puentes que corresponden a la segunda travesía del río Tajo en Lisboa. El nivel sísmico especificado es de suma importancia, por lo cual ha sido preciso elaborar e instalar equipos especiales, como, por ejemplo :

- amortiguadores hidráulicos ;
- amortiguadores elasto-plásticos ;
- acopladores hidráulicos ;
- juntas de calzada de gran capacidad de desplazamiento ;
- sistemas de apoyo deslizantes, de gran capacidad de desplazamiento.