

Passage supérieure de la Gracieuse

Autor(en): **Monod, H. / Guex, J.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **89 (1963)**

Heft 26: **Autoroute Genève-Lausanne, fascicule no 2**

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-66362>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

PASSAGE SUPÉRIEUR DE LA GRACIEUSE

par H. MONOD, ingénieur dipl. EPUL - SIA, Prilly, et J. GUEX, ingénieur, collaborateur

Introduction

La proximité immédiate de l'autoroute et des voies CFF dans la région de Morges a hâté la solution de divers problèmes posés depuis de nombreuses années, notamment la suppression du passage à niveau de Morges-Saint-Jean. Son remplacement par un passage inférieur à piétons, combiné avec la desservance des quais de la halte, supprimait pour les véhicules la seule liaison nord-sud située à l'est de la ville par la rue des Philosophes, dans une zone en plein développement. Une nouvelle jonction entre les routes cantonales (Lausanne) Préverenges-Morges (RC 1) et Lonay-Morges (RC 78) s'imposait donc.

Une zone encore relativement peu bâtie, à environ 400 m à l'est de l'ancien passage à niveau, permettait l'établissement d'une nouvelle route dans des conditions relativement favorables ; de l'amont à l'aval, celle-ci s'élève à travers champs pour franchir l'autoroute et les voies CFF par un passage supérieur, puis redescend en utilisant le terrain gagné par le voûtage d'un ruisseau — le Bief — et le comblement de son vallon. Le profil en long était donc imposé par la topographie locale et les hauteurs libres à réserver pour l'autoroute et les voies ferrées. Le pont constitue le sommet du raccordement vertical, dont le rayon est de 1700 m. De part et d'autre, la pente est respectivement de 2,7 et 5,4 %.

La chaussée, de 7,00 m de largeur, est bordée de deux trottoirs de 2,25 m chacun.

Géotechnique

L'exécution de plusieurs sondages a révélé un terrain de qualité médiocre. A faible profondeur, on trouva des glaises bleues très plastiques, à forte teneur en eau naturelle (22 à 38 %), de faible poids spécifique (1,75) et dont l'angle de frottement interne tombait par place à 12°, alors que la cohésion est pratiquement nulle. Les essais ont permis de constater que les tassements s'effectuaient rapidement, même sous de faibles charges.

En profondeur par contre, on a cru rencontrer des sols de meilleures qualités dont le poids spécifique était plus élevé, la teneur en eau naturelle faible, la résistance au cisaillement plus élevée. On constatait enfin que la limite supérieure des sols de bonne qualité se trouvait de manière générale, à une profondeur croissante à mesure que l'on se rapproche du lac.

L'expertise montrait toutefois que la constitution de remblais de hauteur limitée était possible moyennant un certain nombre de précautions. Quant au pont, la qualité médiocre des sols à faible profondeur, la variation en épaisseur de ces couches aptes à produire des tassements différentiels considérables, la grandeur en général de ceux-ci, conduisaient à prévoir un système de fondation avec pieux de manière à appuyer l'ouvrage sur les couches inférieures de meilleure qualité.

Conception de l'ouvrage

La situation des têtes de l'ouvrage d'art a été déterminée à l'amont par le gabarit de l'autoroute, à l'aval par la limite de hauteur admissible des remblais. Le pont a une longueur totale de 157,20 m ; il comprend quatre travées de 34,10 et 36,50 m, complétées par deux porte-à-faux de 8,00 m à chacune des extrémités. Le système porteur est constitué par une poutre continue à caisson reposant sur cinq piles élastiques. Il s'agissait en effet de concilier les exigences géométriques de l'ouvrage, dictées notamment par la largeur de l'autoroute — et qui conduisaient logiquement vers une solution en béton précontraint — et les caractéristiques défavorables du sous-sol.

La solution adoptée est légère et permet un réglage du niveau des appuis au fur et à mesure que les tassements se produisent. A cet effet, chacune des piles est munie de niches à vérins. Les appuis du tablier sont ponctuels et peuvent être surélevés par l'adjonction successive de plaques de plomb au fur et à mesure des besoins. Si l'esthétique de l'ouvrage en a peut-être quelque peu pâti, le résultat escompté a été atteint.

Le partage des contraintes par parts sensiblement égales sur chacun des massifs de fondation, mais aussi la répartition des risques face à l'incertitude du sous-sol, nous a conduit à supprimer les culées classiques et à reporter tous les efforts longitudinaux sur les piles. Les forces dues au retrait et au fluage sont partiellement libérées lors du levage des extrémités du pont. Les autres efforts sont amortis par des appuis de néoprène, dont l'épaisseur varie de 42 à 56 mm, et par l'élasticité naturelle des piles en béton armé, qui ne dépassent pas 50 cm d'épaisseur pour une hauteur de 7,00 m.

Il était à prévoir que le tassement des piles intermédiaires serait plus faible que celui des extrémités, le

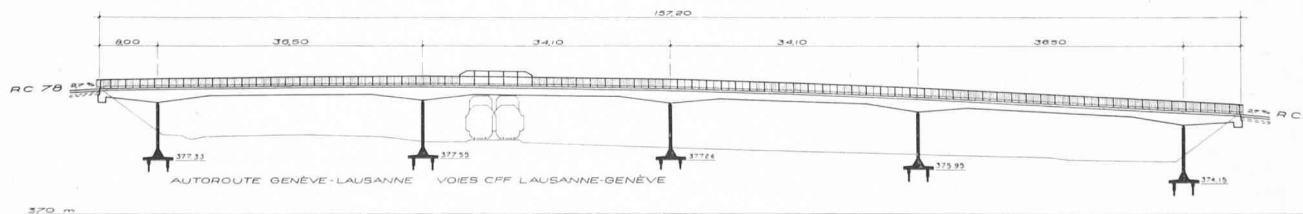


Fig. 1. — Elevation de l'ouvrage d'art.

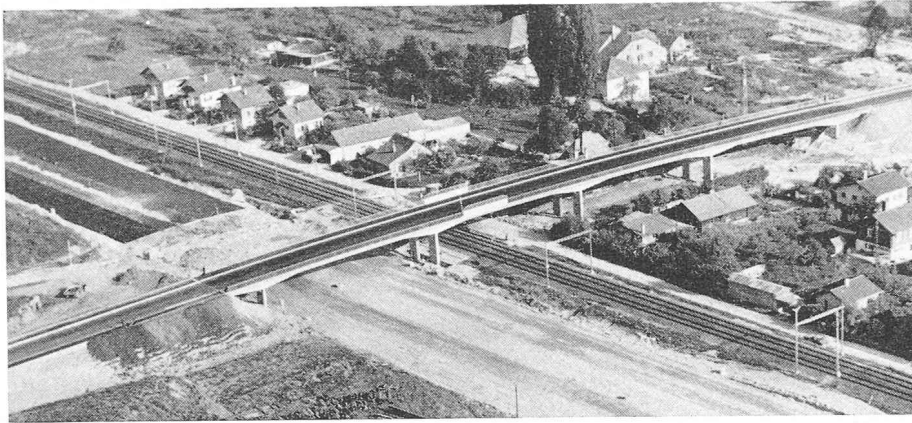


Fig. 2. — Vue générale.
Aérophoto Würgler, Lausanne.

pois du pont étant beaucoup moindre que celui des remblais de la route d'accès, ceux-ci entraînant l'affaissement des fondations situées dans leur voisinage. Il était donc illogique de créer précisément là une construction massive, difficile à stabiliser.

Fondations

A l'origine, il était prévu huit pieux de 50 t sous chaque pile, de 12 à 15 m de longueur, de 50 cm de diamètre, ces pieux étant reliés entre eux par un massif en béton armé. Ils devaient être inclinés à 1/6 ou 1/5, pour absorber les efforts horizontaux.

Lors de la mise en soumission, les délais donnés par la plupart des entreprises spécialisées pour le fonçage des pieux étaient incompatibles avec le programme des travaux. Aussi fallut-il recourir à l'entreprise et au système de pieux qui donnaient les délais les plus courts. Les pieux furent forés dans un diamètre plus gros, 75 à 85 cm, à l'aide d'une machine Benoto. De ce fait, il n'a pas été possible de foncer des pieux inclinés et les efforts horizontaux ont dû être absorbés par la forte armature des pieux verticaux.

Le forage est exécuté avec une cuillère spéciale qui extrait les matériaux. Un tubage en acier maintient les parois du trou et n'est retiré qu'au moment du bétonnage. Les dispositions adoptées n'ont pas permis l'exécution de bulbes à la base des pieux. Le béton n'est damé que par la chute de la benne qui le contient et ne pénètre pas dans la terre. La face des pieux est donc relativement lisse et leur adhérence limitée. C'est pour

cela que la Direction des travaux a demandé un essai de charge, afin de vérifier leur tenue et permettre d'évaluer les tassements différentiels probables.

Ces essais ont été exécutés sur un pieu de la fondation n° 5 et un pieu de la fondation n° 4. Nous donnons ci-contre le résultat de l'essai du pieu de cette dernière, qui a été fait sous des charges de 27,5 t, 55 t et 85 t. Les tassements ont été respectivement de 3, 16 et 42 mm.

Les tassements du pieu de la fondation n° 5 étaient nettement plus faibles, et comme la présence du remblai rendait toute évaluation difficile, il a été admis que les tassements différentiels seraient importants. Les poussées horizontales provoquent une dissymétrie de charge susceptible de créer des concentrations d'efforts sur certains groupes de pieux, par suite de l'absence d'inclinaison. Leur charge effective peut dépasser la charge d'essai d'environ 20 %.

Le projet fut remanié et le socle de liaison des pieux étendu à une dalle de 4,20 × 10,25 m, exerçant, indépendamment des pieux, une contrainte moyenne sur le sol de 1,1 kg/cm² à vide et de 1,7 kg/cm² lorsque le pont est chargé. En définitive, chacune des fondations est constituée d'un complexe « radier sur pieux », l'un des éléments soulageant l'autre dans une mesure indéterminée. Le seul moyen d'action sur le comportement de l'ouvrage restait donc le réglage subséquent du tablier en cas de tassement dépassant la tolérance admissible déterminée par le calcul.

Piles

Les déformations du tablier dues au retrait, au fluage et à la température, doivent être absorbées par l'élasticité des piles et les appuis au néoprène. Les maxima de ces déplacements et leur répartition entre le néoprène et le béton sont données dans le tableau ci-après :

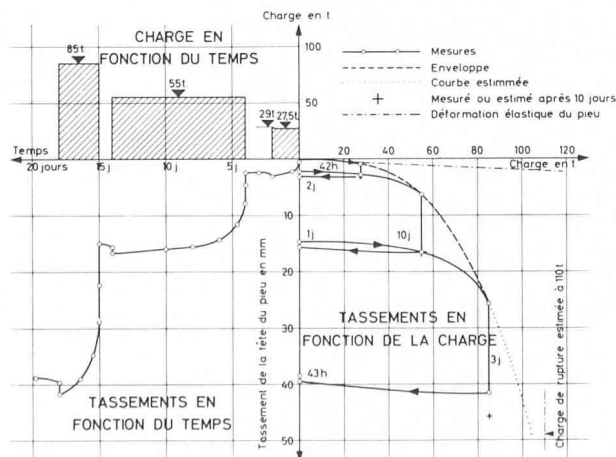


Fig. 3. — Essai de charge d'un pieu de la fondation 4 (longueur utile : 12,50 m ; diamètre moyen : 78 cm).

	Piles 1 et 5	Piles 2 et 4	Pile 3
Déplacement maxim. du tablier (effets cumulés de la température, du retrait et du fluage)	43 mm	32 mm	0
Part prise par l'élasticité de la pile	16 mm	16 mm	0
Part prise par l'appui au néoprène	27 mm	16 mm	0

Quoique les normes SIA ne l'exigent pas, il a été tenu compte des efforts de freinage des véhicules, une seule piste étant freinée. Compte tenu de tous ces efforts, la contrainte du béton à la base des piles ne dépasse pas 142 kg/cm² sur l'arête.

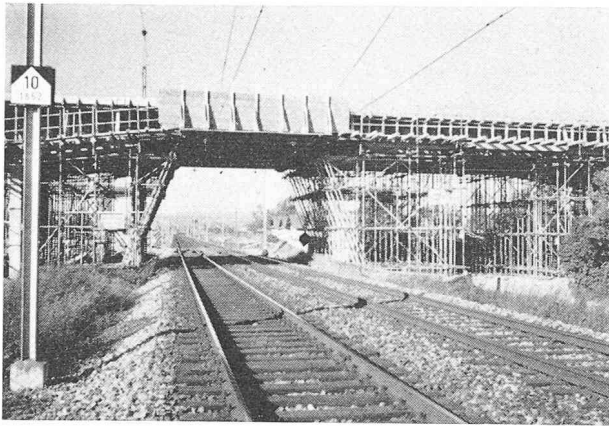


Fig. 4. — Echafaudage sur les voies CFF.

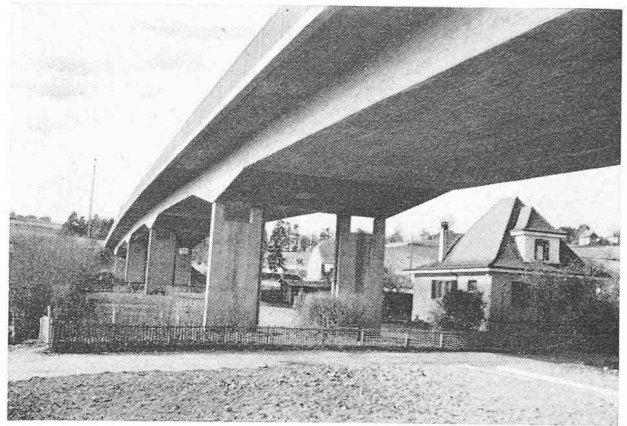


Fig. 5. — Détail de la superstructure.

Tablier précontraint

Le désir de limiter le plus possible la pente de la route d'accès et d'augmenter le rayon du raccordement vertical impliquait la réduction de la hauteur de construction au droit des voies CFF, dont le gabarit d'espace libre est le plus élevé. La poutre à caisson est composée de cinq nervures avec goussets, d'une dalle inférieure de 12 cm et d'une dalle supérieure de 16 cm formant support du revêtement. La hauteur de construction entre goussets est de 93 cm en moyenne, soit environ $\frac{1}{40}$ de la portée. Au droit de chaque pile, une entretoise très rigide assure la liaison entre les nervures ; elle sert également de point d'appui aux vérins et aux cales lors du relèvement du tablier.

La précontrainte, système BBRV, est assurée par vingt câbles de 170 tonnes chacun, complétés par un câble de 45 t dans le bord extérieur de chaque trottoir et destiné à lutter contre la fissuration due aux efforts secondaires, provoqués notamment par les variations de température et le retrait du béton. A trois exceptions près, tous ces câbles ont la longueur du pont, les autres constituant un renforcement des travées extrêmes.

Le volume du béton est de $0,730 \text{ m}^3/\text{m}^2$ de pont et le poids des armatures atteint $36 \text{ kg}/\text{m}^2$, câbles de précontrainte non compris.

Le tableau ci-contre donne l'état de contrainte du béton dans les quelques sections caractéristiques du tablier.

Sections (contraintes en kg/cm^2)	A la mise en précontrainte sans les surcharges		Retraits et fluages terminés surcharges max.	
	σ inf.	σ sup.	σ inf.	σ sup.
Appuis 1 et 5	— 55	— 40	— 70	— 24
Travées 1 et 4	— 84	— 49	— 7	— 115
Appuis 2 et 4	— 29	— 50	— 75	— 7
Travées 2 et 3	— 78	— 28	— 14	— 81
Appui 3	— 23	— 44	— 65	— 7

Les flèches élastiques dues aux surcharges sont les suivantes :

	Travées 1 et 4	Travées 2 et 3
Flèches positives	+ 34 mm	+ $2\frac{1}{4}$ mm
Flèches négatives	— 21 mm	— 21 mm
$+\frac{F}{L}$ max.	1/1060	1/1410

L'imperméabilisation du tablier est constituée par une couche d'asphalte coulé à chaud, de 2 cm. La surface de roulement est assurée par un tapis bitumineux de 3 cm. Comme il s'agit d'un ouvrage urbain, les trottoirs sont munis de bordures en granit, type normalisé USPR.

Relevons enfin que des dalles de transition entre le pont et le remblai, d'une longueur de 4,0 m, sont solidaires du tablier. Comme le joint métallique de la chaussée est suffisamment souple pour subir la déformation angulaire, il ne se produit aucune perturbation dans la chaussée lors du soulèvement du tablier, qui peut s'effectuer sans interrompre le trafic.

Exécution

L'exécution de deux essais de pieux et les conclusions pessimistes qui en ont été tirées ont quelque peu retardé

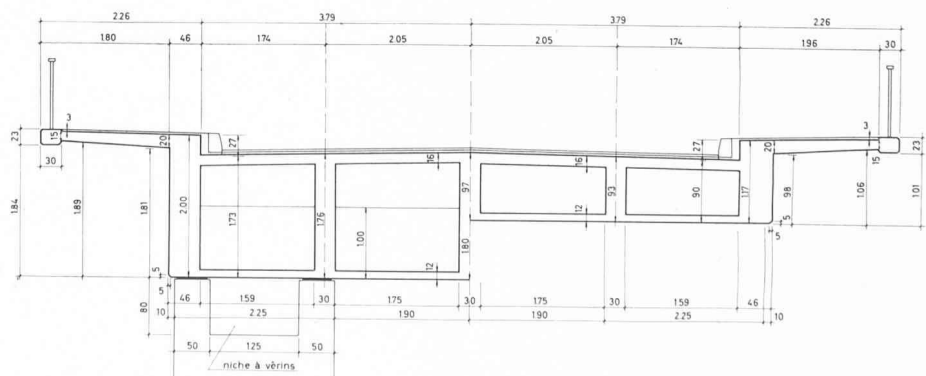


Fig. 6. — Coupe transversale sur appui et en travée.

Date	Contre- poids nord		Pile 1		Travée 1		Pile 2		Travée 2		Pile 3		Travée 3		Pile 4		Travée 4		Pile 5		Contre- poids sud	
	L	G	L	G	L	G	L	G	L	G	L	G	L	G	L	G	L	G	L	G	L	G
18.7.62 Mise en précontrainte à 75 %	-21	-22	-13	-11	+ 2	+ 3	-13	-12	+ 3	+ 4	-14	-13	+ 1	+ 2	-13	-13	+ 7	+ 7	-13	-11	-22	-24
30.8.62 Mise en précontrainte à 100 %	-46	-43	-26	-21	+15	+17	-14	-16	+16	+16	-14	-16	+ 9	+10	-15	-14	+30	+29	-39	-36	-81	-81
9.10.62 Après relevage : appui n° 1 : 31 mm . . . appui n° 5 : 39 mm . . .	-32	-29	- 1	+ 4	+38	+41	-16	-17	+ 9	+ 9	-16	-17	+ 5	+ 4	-14	-14	+57	+55	- 1	- 2	-51	-53
20.3.63 Après un hiver	-46	-39	- 7	- 1	+41	+45	-16	-17	+10	+10	-16	-19	+ 7	+ 5	-14	-14	+56	+56	-12	- 9	-66	-66

L : repères côté Lausanne.
G : repères côté Genève.
* La mise en place du remblai d'accès sud a eu lieu entre le 18.7 et le 30.8.63 ;
il a été compacté énergiquement au moyen d'une plaque vibrante, ce qui
explique le tassement important de la pile 5 pendant cette période.

l'allure du chantier. Les travaux de génie civil, exécutés par l'entreprise A. Morel S.A., ont été ralentis par la venue de l'hiver. C'est ainsi que la fouille de fondation n° 2, qui a été ouverte à la mauvaise saison, a vu son fond s'élever de plus d'un mètre en quelques semaines par la poussée plastique du sol. Cet état déplorable du sous-sol explique pourquoi il a fallu huit mois pour les fondations et moins de six mois pour construire l'ouvrage d'art proprement dit.

Il a été utilisé un béton à trois composantes dosé à 300 kg de CP normal par m³. La résistance minimum exigée sur cube à 28 j. est de 400 kg/m² ; la plupart des cubes ont atteint en fait une résistance de 430 kg/m², avec une dispersion de + 10 %.

Le bétonnage du tablier a débuté par la dalle inférieure près des appuis, puis en travée. Les nervures et la dalle supérieure, sans les trottoirs en porte à faux, ont été coulés par tranches limitées par les entretoises sur appuis. Quant aux trottoirs en porte à faux, il a été fait usage de retardateurs de prise ; le matin, au début du bétonnage, il était ajouté 1/2 % de retardateur, pourcentage augmenté au cours de la journée, jusqu'à 3 % le soir, puis les mêmes proportions étaient reprises le lendemain matin. Il était possible de pervibrer la première tranche du matin avec la dernière tranche du soir précédent, dont la prise n'avait pas encore débuté, et d'assurer ainsi une bonne liaison entre les étapes.

Etant donné la topographie des lieux et le faible poids mort du tablier, l'échafaudage ne posait pas de problèmes particuliers. On a utilisé un étayage tubulaire vertical. Le seul point critique a été le passage sur les CFF. C'est en effet l'échafaudage qui a donné la hauteur libre de l'ouvrage sur les voies. Le minimum admis pendant la durée des travaux a été de 5,45 m. Le coffrage, les entretoises, le platelage de protection des lignes de contact et les poutrelles-supports occupent au minimum 35 cm, ce qui a donné une hauteur libre sous l'ouvrage fini de 5,80. Or, pour un ouvrage court, les CFF demandent 5,60 à 5,70.

Comportement de l'ouvrage

Des repères de nivellement ont été placés de chaque côté du tablier, au droit des piles, au centre des travées et à l'extrémité des porte-à-faux.

Le contrôle de ces repères permet de calculer les tassements différentiels des appuis. Le tablier peut supporter sans inconvénient des dénivellations d'appuis consécutifs de 2 cm.

A fin août 1962, les piles n° 1 et n° 5 présentaient, par suite de la présence des remblais, des tassements de 23 et 37 mm respectivement, alors que les autres piles ne dépassaient pas 17 mm. Ces deux piles ont été relevées de 31 et 39 mm au début d'octobre, à la mise en service de l'ouvrage d'art. Depuis, les tassements se sont stabilisés et il est fort probable qu'il ne sera plus nécessaire d'y revenir.

Le tableau ci-après donne quelques chiffres sur le comportement de l'ouvrage.

Conclusions

Le passage supérieur de la Gracieuse ne présentait pas à première vue de difficultés particulières, ni par la disposition des lieux ni par ses dimensions. Mais le sous-sol exigeait des précautions particulières. Nous avons préféré adopter une solution souple, tendant à prévoir une correction progressive des tassements, plutôt que vouloir résoudre définitivement le problème, soit en cherchant un sous-sol de qualité à une grande profondeur, ce qui aurait entraîné un renchérissement des fondations, soit en choisissant un système porteur parfaitement statique, par exemple une poutre « Cantilever », qui aurait provoqué certaines difficultés de réalisation et d'entretien des joints intermédiaires. L'expérience nous a montré que le réglage des appuis est simple, rapide et peu coûteux. La tolérance de dénivellation des appuis doit évidemment être suffisante pour que la nécessité du relevage ne soit pas trop fréquente. A cet effet, la limitation de la hauteur de construction correspondait également à notre désir d'avoir un tablier relativement déformable.

Le coût de construction s'élève à Fr. 430/m² de pont, dont Fr. 53/m² pour les pieux. Compte tenu des conditions locales, ces chiffres montrent que la solution adoptée est rationnelle.

Nous nous plaisons à souligner l'esprit de collaboration qui a régné tout au cours du chantier avec le Bureau cantonal des autoroutes, ainsi qu'avec chacune des entreprises W. Gardiol S.A. et A. Morel S.A.