

VI. Conception et construction de la superstructure

Autor(en): **Robyr, Jérémie / Favre, Jérôme**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **124 (1998)**

Heft 22

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-79408>

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.

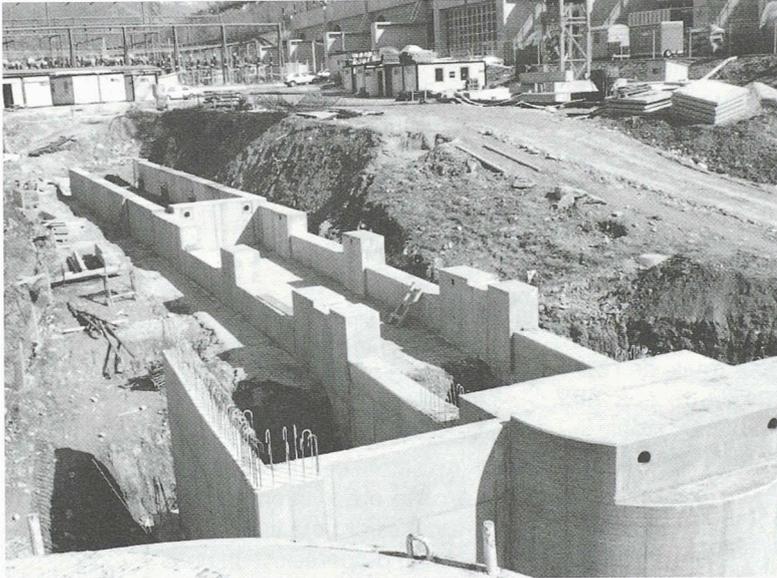


Fig. 4. – Culée Viège liée au banc de poussage et de fabrication

10 m sous le lit du fleuve. Nous avons choisi pour réaliser ces fondations, d'exécuter une enceinte en paroi moulée de 60 cm d'épaisseur et de 25 m de profondeur. La pose des murets de guidage préfabriqués à partir du niveau du Rhône, permet une surpression hydrostatique, variant de 1 à 2 m, de la boue de bentonite. La grande hétérogénéité et la faible cohésion apparente des alluvions fluviatiles à cet endroit ont provoqué quelques difficultés de réalisation des parois moulées. Les hors profils ont dépassé 100 % sur certains panneaux.

Le bouchon étanche prévu en pied de paroi pour diminuer les débits de pompage n'a pas été réalisé, les parois se fichant certainement dans une couche plus fine, limitant ainsi naturellement les débits.

La fondation de 2 m d'épaisseur réalisée au centre de l'enceinte, a été rendue solidaire des parois moulées par des armatures à visser (fig. 5).

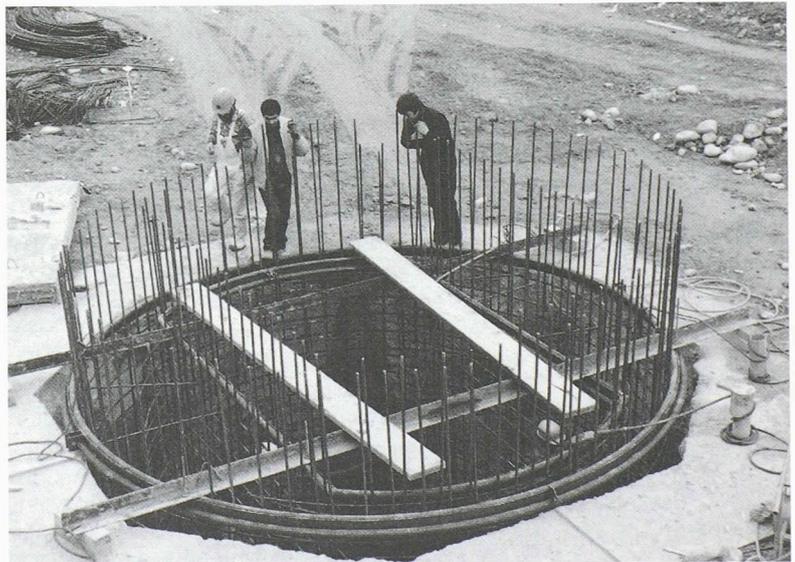


Fig. 5. – Fondation dans le lit du Rhône

VI. Conception et construction de la superstructure

Par Jérémie Robyr, ing. dipl. EPFZ/SIA et Jérôme Favre, ing. dipl. EPFL/SIA, Bureau d'ingénieurs SA Robyr, Zufferey & partenaires, Sierre

1. Rappel de quelques données du concours

La géométrie du tracé autoroutier de la N9 dans cette zone comporte une suite de clothoïdes et d'arcs de cercle.

Rive droite

Les bonnes caractéristiques géotechniques des sols rencontrés ont permis de fonder les piles, le portail des tunnels de Gérondo, ainsi que les culées Sierre sur des semelles superficielles avec des tassements attendus et mesurés d'environ 2 cm. La dimension des semelles varie de 7 x 7 m à 9 x 9 m.

5. Conclusions

Dans cet ouvrage d'aspect uniforme, les fondations ont apporté une touche de diversité à l'exécution. Leur choix a répondu de la manière la plus efficace et la plus économique à la forte variation des conditions géologiques et de réalisation dans le Rhône.

A la sortie des tunnels de Gérondo, les deux chaussées sont séparées de plusieurs mètres alors qu'elles se rejoignent à l'autre extrémité, en direction du bois de Finges.

Le nombre de voies de circulation sur les deux ponts est différent. Ainsi la largeur du tablier est de 16,45 m au nord et de 13,15 m au sud. Comme complication géométrique supplémentaire, il faut aussi noter les surlargeurs pour la piste d'accélération.

L'écartement minimum des piles dans le Rhône est fixé à plus de 70 mètres. La zone touchée par cette condition représente environ le tiers de la longueur totale de l'ouvrage. Sur le reste du tracé, le niveau de la chaussée se profile à quelques mètres au-dessus du terrain naturel.

Côté Sierre, les terrains sis dans l'emprise du projet sont affectés à la zone industrielle. Les aménagistes demandent que la circulation, de part et d'autre de la N9, soit facilitée afin de ne pas entraver le développement économique de la zone.

Cette volonté de transparence et d'absence d'obstacles artificiels est confirmée par les organismes œuvrant pour la protection de la nature. Les raisons invoquées demandent que la faune puisse se déplacer sans entrave sur ce territoire.

En définitive, l'ensemble de ces contraintes conduit à éviter la construction d'un remblai, même partiel, à l'intérieur du périmètre du projet de concours.

2. Les options du projet

L'équipe formée pour l'élaboration de ce projet de concours regroupait des représentants de toutes les spécialités du domaine de la construction.

Le défi relevé par cette équipe pluridisciplinaire visait à offrir un ouvrage original, discret et économique, marquant symboliquement cette ouverture de l'autoroute sur le Haut-Valais.

Durant la phase d'élaboration, quelques idées fortes ont guidé la réflexion des auteurs du projet, il s'agissait en particulier :

- de privilégier une méthode d'exécution permettant une industrialisation de la construction et une rationalisation des étapes d'exécution ;

- de choisir une variante discrète quant à l'impact visuel, sans intention de marquer le paysage par un ouvrage majestueux ;
- de choisir une solution économique adaptée aussi bien aux grandes portées pour l'ouvrage au-dessus du Rhône qu'aux portées traditionnelles des ouvrages de plaine.

La solution retenue s'est imposée lorsque l'équipe a réalisé qu'il est possible de dissocier la géométrie du tablier, support de la chaussée, de celle de la base du caisson, élément résistant de la structure. Suite à cette observation, les options suivantes ont été adoptées.

- La variante proposée est un pont caisson en béton précontraint construit par poussage cadencé. Comme condition particulière, la base du caisson doit s'inscrire dans une courbe non homothétique à celle des bords du tablier.
- Les portées sont des multiples d'un module constant choisi à 9,125 m. Cette disposition facilite la répétition des phases d'exécution. En particulier toutes les discontinuités, telles que les bossages et entretoises sont toujours implantées au même endroit dans l'aire de fabrication et ne nécessitent pas de transformation du coffrage.
- Le choix de la section transversale du type caisson précontraint est idéale en présence de sollicitations alternées. Le béton se moule facilement dans les formes voulues, adaptées à une construction cadencée.
- La largeur de la base du caisson est constante, en revanche les dimensions des âmes sont inégales et leur hauteur moyenne varie entre 2,50 et 3,70 m. De prime abord, ces variations géométriques paraissent contrarier la volonté d'appliquer une méthode d'exécution répétitive. Ces choix se comprennent et se justifient si les coffrages sont conçus pour être simplement réglés à chaque étape, sans modification ou adaptation.

- La précontrainte, appliquée aux différentes étapes d'exécution, est calculée pour que, d'une part, la structure ne se fissure pas durant la construction et que d'autre part, elle satisfasse les exigences normales d'exploitation.

3. Dispositions particulières

La surface de base du caisson s'inscrit sur l'aire latérale d'un cylindre de révolution. Ainsi, la section construite en un endroit bien précis peut se déplacer le long de cette enveloppe en l'épousant constamment sans se décoller. La vérification de cette condition géométrique est à la base des constructions poussées.

Le moule qui façonne cette base du caisson est constitué latéralement de deux rails métalliques fixés au radier nervuré de l'aire de fabrication. Leur construction a été réglée avec une tolérance de ± 1 mm.

Cette exigence est vérifiée sur le chantier avec ce type de matériau. En revanche, la maîtrise des autres phases d'exécution avec une telle précision est plus aléatoire. Certaines inexactitudes liées à l'exécution et les déformations de matériaux doivent être tolérées et font partie des impondérables du chantier.

Cette évidence acceptée, les auteurs du projet et l'expert ont adopté la méthode du pesage de l'ouvrage durant le poussage. Cette solution, en comparant les réactions effectives avec celles calculées, offre la possibilité de corriger les écarts géométriques repérés en intercalant des plaques de compensation. Une explication plus détaillée du procédé est donnée dans l'article consacré au poussage cadencé. Il suffit d'insister ici sur la volonté de tout mettre en œuvre pour éviter une fissuration prématurée de l'ouvrage durant la construction.

Le choix d'une géométrie du bord du tablier non homothétique aux faces du caisson engendre des porte-à-faux de longueur variable.

Les dimensions extrêmes des consoles sont comprises entre 3,50 m et 7,50 m. En revanche, l'excentricité entre l'axe médian du caisson et le milieu de la chaussée sur une même section transversale reste inférieure à 2,50 m. Il faut aussi noter les hauteurs inégales des âmes du caisson, du fait que le tablier est projeté avec un dévers moyen de 7 % environ et que le hourdis inférieur est dessiné horizontal.

Cette géométrie très tourmentée et ces dissymétries ne sont pas optimales pour le bétonnage d'une section transversale de pont en une seule étape. Deux ateliers distincts et consécutifs sont organisés sur l'aire de fabrication.

- Le premier, à l'arrière, est affecté au bétonnage du U du caisson. Les coffrages latéraux dépassent vers la partie inférieure et se règlent dans le sens vertical juste sous l'armature de liaison caisson/dalle. Les coffrages intérieurs sont des caissons métalliques, qui se posent sur la face inférieure de l'aire de fabrication. Ils se règlent en élévation à la cote déterminée en fonction de l'épaisseur du hourdis inférieur. Des compartiments sont aménagés pour recevoir ou non, soit les bossages de la précontrainte, soit les entretoises sur appui. Des niches latérales sont aménagées localement pour faciliter le bétonnage. Ces éléments dépassent vers le haut de la section et s'adaptent facilement à toutes les variations de dimensions des âmes du caisson.

Pour le décoffrage, les faces latérales s'écartent du béton au moyen de vérins hydrauliques et sont abaissés. Les modules intérieurs sont retirés avec la grue de chantier et entreposés pour une prochaine réutilisation.

- Le coffrage des consoles de dalle comporte transversalement une première zone incurvée de 2,50 m de longueur permettant d'épaissir la naissance du porte-

à-faux. La partie d'extrémité qui la continue est rectiligne. Cette disposition facilite le calibrage des consoles à la dimension voulue en fixant le coffrage de bord de dalle sur la zone horizontale. Les réserves pour les têtes de la précontrainte transversale sont toujours positionnées selon le même rythme et incorporées dans ces coffrages de bord. La réutilisation de ces évidements est assurée. Le coffrage de la dalle intérieure du caisson est monté de manière traditionnelle. Ces opérations s'intercalent durant les temps morts de la journée du lundi, par exemple lorsque les spécialistes effectuent les mises en tension de la précontrainte et que tout l'effectif n'est pas mobilisé pour le poussage.

- Le coffrage des bordures latérales est assuré par un chariot mobile. Cette exécution n'est pas liée à la cadence hebdomadaire et planifiée en fonction de l'occupation de la main-d'œuvre sur le chantier.

Toutes ces opérations sur les cintres de coffrage s'effectuent par simples réglages et n'exigent pas de transformation de l'installation. Ainsi la volonté d'appliquer une exécution répétitive est satisfaite.

La précontrainte appliquée à cet ouvrage se subdivise en trois catégories distinctes.

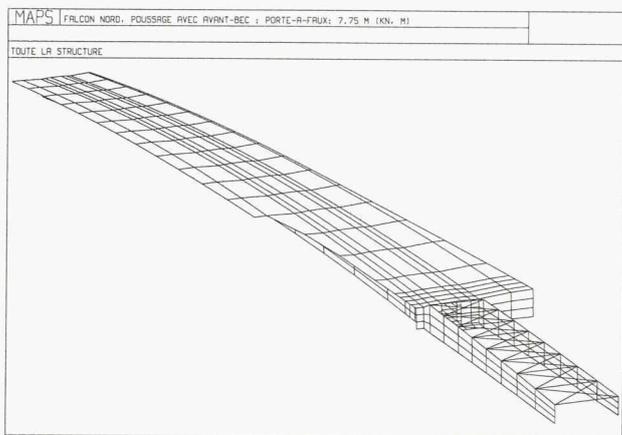
- La précontrainte rectiligne, spécifique aux ponts poussés, assure une compression centrée suffisante pour éviter que la structure se fissure sous l'action des sollicitations alternées. Deux particularités typiques de cet ouvrage sont intéressantes à relever.

Tout d'abord le taux de cette précontrainte centrée n'est pas constant le long de l'ouvrage. Globalement le nombre de câbles de précontrainte est inversement proportionnel au moment de résistance des sections transversales. Cette caractéristi-

que, comme la hauteur du caisson, croît en direction du centre de l'ouvrage et il en découle une diminution de la force de précontrainte. L'image de la répartition du nombre de câbles qui en résulte, montre une concentration de cette précontrainte aux extrémités du pont.

Ensuite la distribution de ces câbles à l'intérieur de la section transversale et leur position respective doit satisfaire la condition que la résultante de ces forces s'applique au centre de gravité de la section homogène du béton. Ce lieu géométrique variant dans des proportions non négligeables le long de l'ouvrage, le câblage adopte un tracé non rectiligne et s'incurve dans le tablier pour centrer cet effort normal.

- La précontrainte transversale du tablier est importante dans le cas d'un ouvrage où les consoles sont de longueur variable. Si les déformations permanentes ne sont pas maîtrisées, le bord de la chaussée ondule de manière irrégulière et cet effet nuit au confort des usagers. Pour se prémunir contre un tel inconvénient, l'hypothèse de calcul admise fixe une rotation nulle sous l'action du poids propre au point de jonction entre le porte-à-faux et les âmes du caisson.
- La précontrainte ondulée est typique des ouvrages comportant des portées inégales. La mise en tension de ces câbles intervient dès que l'ouvrage est dans sa position définitive. Durant le poussage, le nombre de gaines vides en attente dans l'âme du caisson, réduit la section résistante à l'effort tranchant. Pour favoriser la diffusion de la réaction d'appui au poussage, les câbles sont soit concentrés sur l'une des faces de l'âme soit décalés en élévation pour éviter que deux gaines soient positionnées l'une à côté de l'autre. Cette disposition réserve une épaisseur de matière suffisante à



Modélisation de la structure par le logiciel MAPS

assurer le développement des bielles comprimées dans le béton, mais complique singulièrement la pose des câbles.

Sous l'action de cette précontrainte, les flèches à long terme dans les portées de 73,0 m sont limitées à 65 mm.

4. Modélisation

L'ensemble des calculs d'exécution a été effectué à l'aide du logiciel MAPS. Le module poutre spatial a été utilisé pour tout ce qui touche à la vérification structurale et le modèle coque a servi à vérifier l'état de service. Ces deux modélisations ont été confrontées pour s'assurer de la concordance des résultats.

Les études particulières de détail suivantes ont été abordées avec

les éléments coques de ce logiciel :

- diffusion des contraintes dans les âmes du caisson sous la réaction d'appui excentrée au poussage ;
- simulation du poussage de la structure partielle ou totale en assimilant les frottements d'appui à des forces de rappel de piles cylindriques ayant une force de rappel équivalente au frottement ;
- calcul des réactions d'appui durant les phases du poussage pour les opérations de pesage du pont. La géométrie exacte du tablier et des caissons est facilement modélisée ;
- vérification des contraintes principales durant l'exécution avec l'action de la précontrainte effectivement appliquée sur les sections.

5. Conclusions

L'exemple du concours du viaduc de l'île Falcon démontre que le travail en équipe est très enrichissant et porteur de succès. Par le partage des connaissances et des expériences se dessine souvent une solution originale, adaptée aux conditions particulières et satisfaisant aux exigences du maître de l'ouvrage.

Cette démarche consensuelle s'applique aussi bien au stade de la conception d'un projet qu'à celui de son exécution.

et adaptées aux saisons, au-delà des mesures de cure traditionnelles, par un refroidissement ou un chauffage de l'enceinte bétonnée ou à bétonner.

De plus, une telle industrialisation conduit à un coût de l'ouvrage relativement bas.

Par ailleurs, un rythme hebdomadaire très cyclique des opérations minimise les erreurs humaines.

2. Les défis majeurs

La géométrie de l'autoroute, formée de clothoïdes en situation et d'un raccordement vertical en profil en long, ne prédisposait pas l'ouvrage à être réalisé par poussage cadencé. Ce problème a été résolu par l'inscription du caisson dans une hélice à axe incliné et le positionnement de la dalle de chaussée dans le strict respect de la géométrie imposée.

L'absence de talon sur la face inférieure du caisson, voulue pour des raisons esthétiques, a conduit aux effets suivants (fig. 1) :

- excentricité de 210 mm entre l'axe de l'appui de glissement et l'axe des âmes
- marge d'erreur permise dans la trajectoire de 40 mm

VII. Le poussage cadencé

Par Claude Pralong, ing. dipl. EPFZ/SIA, DS Ingénierie Dénériaz et Pralong Sion SA

1. Avantages de la méthode

La méthode du poussage cadencé se révélait d'emblée intéressante pour l'exécution d'environ 1,5 km de pont et pour une utilisation du même moule à 84 reprises. De même, il était possible d'utiliser à deux reprises l'avant-bec, les piles provisoires et les appuis de glissement.

Par ailleurs, cette méthode de construction rendait l'ouvrage indépendant des conditions d'exécution dans le Rhône.

Il faut également relever la haute qualité possible dans la mise en place des matériaux, grâce à une installation quasiment de préfabrication foraine, garantissant des conditions uniformes d'exécution

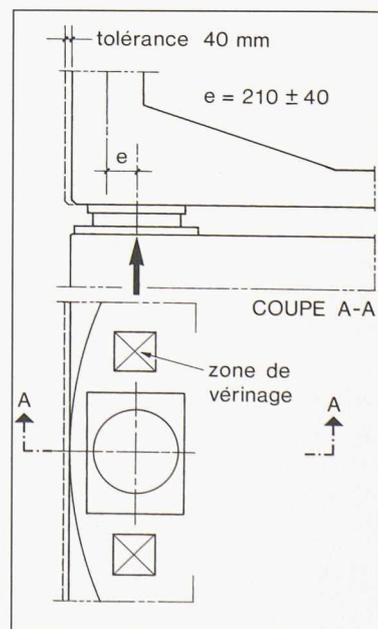


Fig. 1.- Géométrie de la face inférieure du caisson