

## VII. Le poussage cadencé

Autor(en): **Fralong, Claude**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

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

Heft 22

PDF erstellt am: **30.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-79409>

### **Nutzungsbedingungen**

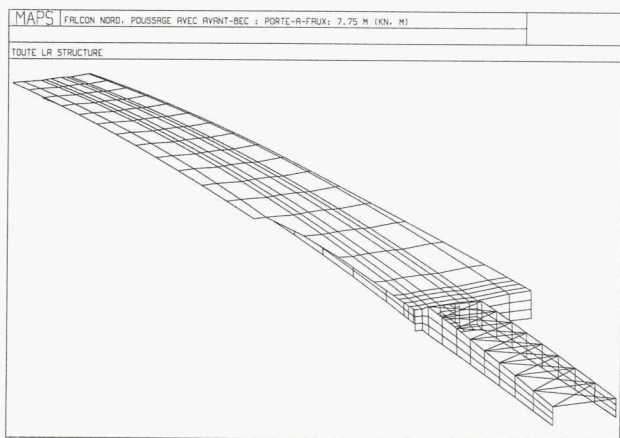
Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

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.



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 approchées 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

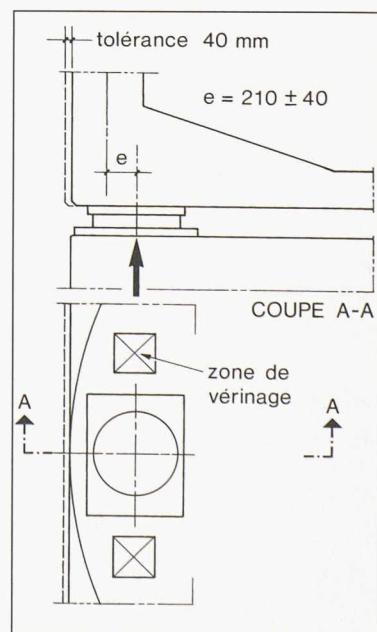


Fig. 1.- Géométrie de la face inférieure du caisson

- nécessité de mesures particulières de frettage de la pile avec une précontrainte circulaire et de mise en place de cornières sur le bord de pile dans la région des appuis de glissements.

Par ailleurs, la rigidité et le faible élancement de l'ouvrage le rend sensible aux dénivellations accidentelles des appuis glissants. Les exigences posées pour un dimensionnement raisonnable du tablier ont fixé les limites suivantes :

- $\pm 2,5$  mm dans le sens longitudinal entre deux appuis
- $\pm 1$  mm dans le sens transversal entre deux appuis sur la même pile.

Le respect de toutes ces exigences a été vérifié grâce à l'incorporation de cellules de mesures dans les appuis glissants, appareils permettant de « peser » le pont en continu. Ces mesures, effectuées toutes les deux secondes, sont transmises à un central de récolte des données, visualisant tous les éléments sur un écran d'ordinateur. Les charges mesurées sont comparées aux charges théoriques calculées par les auteurs du projet, charges majorées et minorées pour respecter les conditions de dénivellation d'appuis énoncées ci-dessus. Un dépassement de ces limites déclenche un signal d'alarme acoustique ainsi que l'arrêt du poussage. Les ingénieurs et les réalisateurs incorporent alors des

plaques métalliques de compensation de 1, 2 ou 4 mm sur les appuis glissants présentant une réaction d'appui trop faible, afin de rétablir la situation, étant entendu que la somme de toutes les réactions d'appuis représente une constante à un moment considéré. Avec l'expérience et après seulement quelques poussages, ces opérations de compensation s'effectuaient avant que soient atteintes les valeurs limites, donc sans interrompre le poussage. Cette méthode informatisée s'est révélée particulièrement efficace.

### 3. Les installations spécifiques pour le poussage

Les installations spécifiques sont au nombre de six :

- aire de fabrication
- poussage et retenue
- appuis glissants
- guidage latéral
- piles provisoires
- avant-bec.

L'aire de fabrication est l'élément essentiel de la réussite et de la précision de l'exécution (fig. 2 et 3).

Elle doit être réalisée au millimètre et être indéformable. Élément très rigide, incorporant le rail de glissement préformé selon la géométrie de l'hélice à axe incliné, elle est fondée sur pieux et liée à la culée de départ du pont côté Viège. L'aire de fabrication inclut tous les

éléments de coffrage des faces extérieures et intérieures du caisson (étape 1 de réalisation) ainsi que le coffrage de la dalle de chaussée (étape 2 de réalisation). Au vu de la géométrie variable de la section, tous les coffrages sont réglables. Il en est résulté les exigences suivantes :

- tassement absolu  $< 2$  mm et tassement différentiel  $< 1$  mm
- nivellement au-dessus de la précision du millimètre pour les rails de glissement
- lubrification des rails de glissement avant chaque poussage
- dispositif de blocage du pont par vérins, sur la culée de départ, entre les étapes de poussage, afin d'empêcher des efforts dus au phénomène de dilatation de l'ouvrage à l'avancement.

Les installations de poussage et de retenue sont réalisées à l'aide du système dit « tire-pousse », constitué de deux paires de vérins pour levage des charges, mais placés horizontalement et travaillant en asservissement mutuel, tirant en avant l'ouvrage et le retenant en tout temps avec une force de 100 tonnes (fig. 4 et 5).

La transmission au caisson des efforts de tirage et de retenue se fait par l'intermédiaire de câbles reliés à une selle fixée à la dalle inférieure du caisson et déplacée à chaque étape.

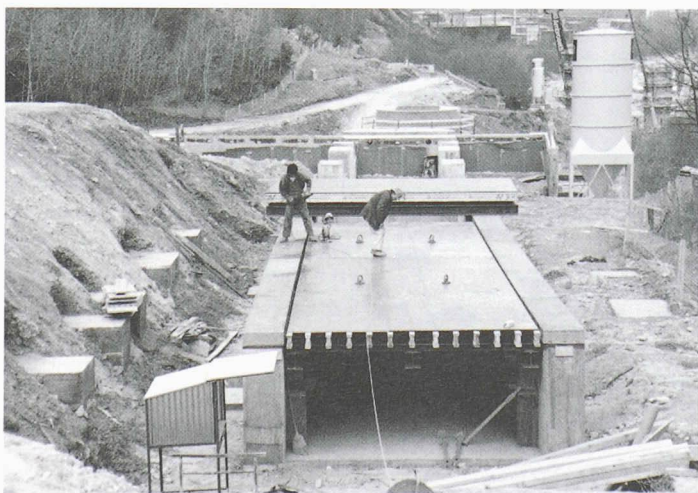


Fig. 2.- Aire de fabrication avec surfaces de glissement

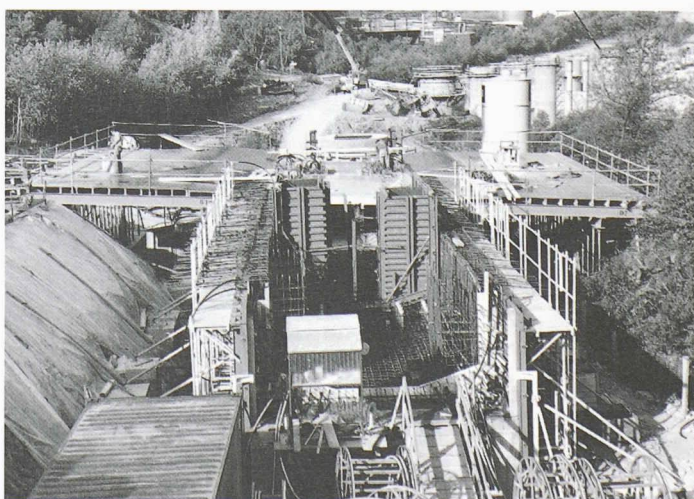


Fig. 3.- Aire de fabrication avec moules de coffrage

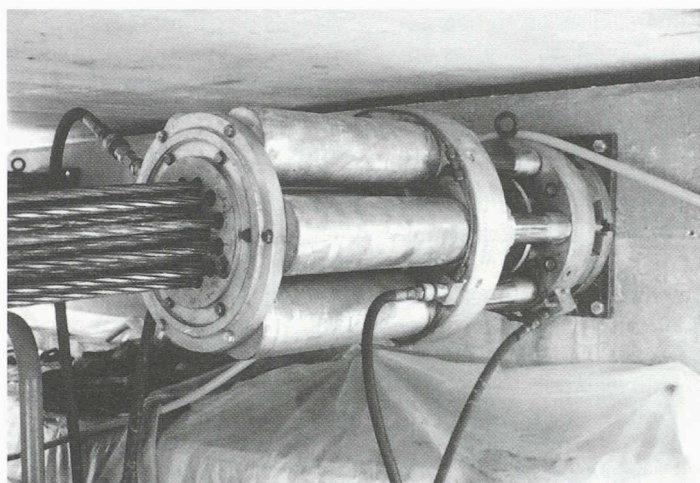


Fig. 4.- Vérin de tirage pour l'avancement

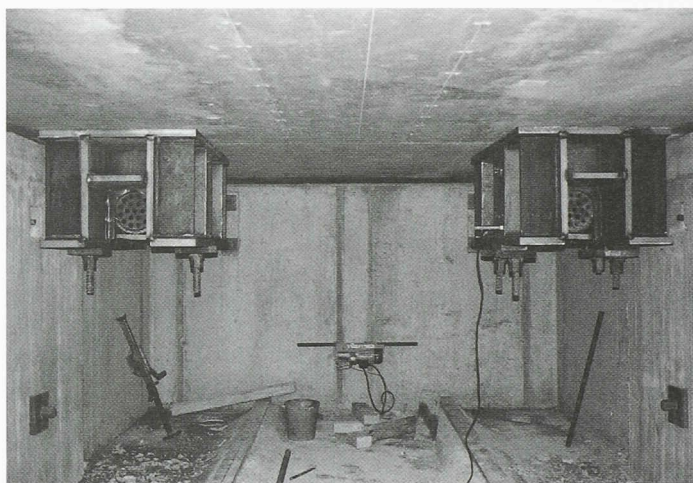


Fig. 5.- Selles de fixation à la face inférieure du caisson

La vitesse d'avancement lors du poussage est d'environ 1 mm par seconde. Il en résulte les exigences suivantes :

- force de tirage de 800 tonnes pour une pente de 3 % à la descente
- force de retenue de 800 tonnes, mais au moins 100 tonnes en tout temps
- interruption automatique des opérations en cas de rupture des circuits hydrauliques, provoquant le blocage du système par serrage des câbles au moyen de clavettes au droit des vérins.

Les appuis glissants sur culées et sur piles provisoires et définitives sont constitués par des plaques de

néoprène fretté de 800 x 700 mm et de 90 mm d'épaisseur, posées sur un lit de mortier synthétique et surmontées de plaques de glissement en acier inox, arrondies aux deux extrémités (fig. 6).

Lors du poussage, des plaques intercalaires de glissement en téflon (face inférieure au contact de la plaque en acier inox avec un coefficient de frottement inférieur à 1 %) et en néoprène (face supérieure au contact du béton, coefficient de frottement supérieur à 10 %), sont mises en place par cycles, ce qui provoque l'avancement du pont.

Les exigences suivantes en découlent :

- excentricité théorique entre l'axe des âmes et l'axe des appuis de glissement de 210 mm avec une tolérance de  $\pm 40$  mm, due à l'absence de talon
- frettage et précontrainte circulaire en tête de pile
- mesure en continu des réactions d'appuis, par télétransmission sur un ordinateur central et compensation des dénivellations d'appuis, si nécessaire, avec des plaques intercalaires 1, 2 ou 4 mm
- mise à disposition de jeux de vérins plats pour d'éventuels relèvements sur les appuis glissants.

Le guidage latéral, constitué de profilés métalliques munis d'une tête de glissement, fixés en tête de pile, a pour fonction d'aider l'ouvrage à respecter sa trajectoire, tout en introduisant des efforts horizontaux compatibles avec le dimensionnement du tablier (fig. 7).

Le concept du guidage a fait l'objet d'études approfondies afin d'en déterminer la nature, le positionnement, ainsi que l'activation en cours de poussage.

Il en est résulté les exigences suivantes :

- équipement de chaque pile, mais sans activation
- charge horizontale maximale introduite par un guide: 40 tonnes
- contrôle optique de la trajectoire

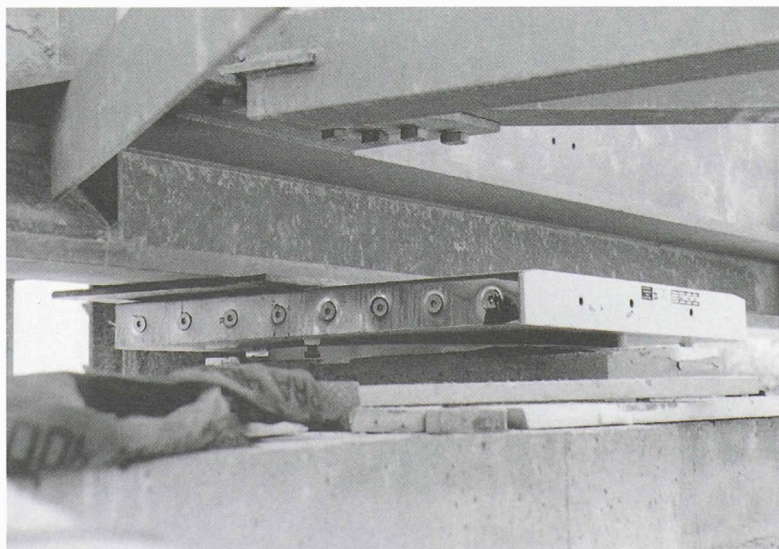


Fig. 6.- Appuis provisoires de glissement

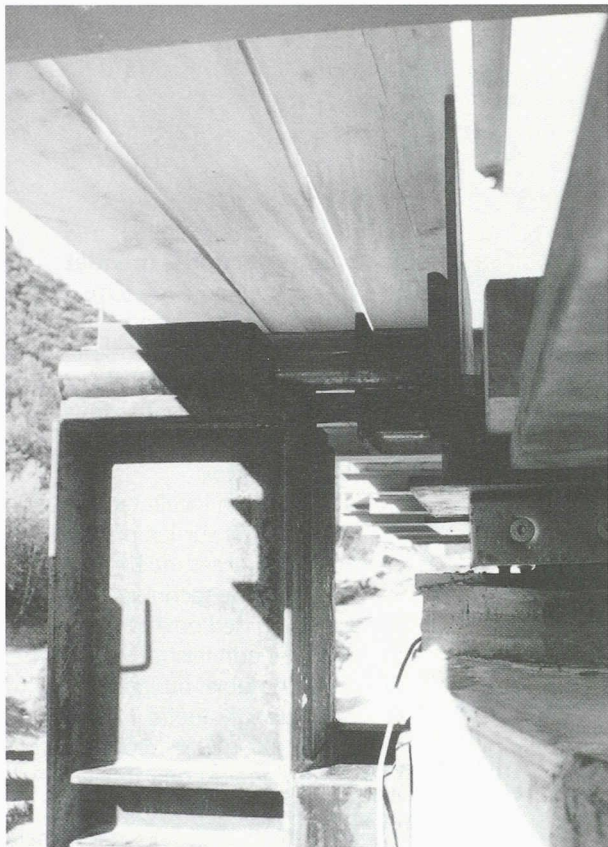


Fig. 7.- Guide latéral

- activation des guides sur la culée de départ, tout à l'avant, et en position intermédiaire environ tous les 250 m, avec un scénario spécifique pour chaque étape de poussage
- interdiction de guider aux emplacements des gaines encore vides de la précontrainte longitudinale parabolique.

Les piles provisoires permettent le poussage avec le dimensionnement de base pour les travées supérieures à 36,50 m. Elles ont été conçues de deux types :

- en éléments de bois assemblés afin de former un ouvrage massif pour les piles provisoires des travées de 45 et 54 m hors du Rhône (fig. 8)
- en éléments de béton centrifugés octogonaux et assemblés par paires pour les piles provisoires des travées de 73 m dans le Rhône (fig. 9).

Ces piles sont toutes récupérables pour l'exécution du deuxième pont.

Il fallait respecter les exigences suivantes :

- stabilisation horizontale par haubanage sur les piles définitives très rigides, de diamètre 5 m
- tassement inférieur à 10 mm et possibilité de réglage des ap-

puis de glissement en tête de pile

- obligation de pieux pour les piles provisoires situées dans le lit du Rhône.

L'avant-bec métallique a pour fonction d'alléger le pont lors de son avancement dans les portées situées en porte-à-faux, avant l'accostage sur la pile suivante (fig. 10).

Il reprend donc des tractions sur ses deux arrêtes et doit être fixé en conséquence à l'extrémité du tablier à l'aide de câbles de précontrainte et de tiges de type Divy-dag.

L'avant-bec mesure 27 m de long, il en résulte :

- une géométrie conforme à celle dictée par l'hélice à axe incliné
- des rigidités prescrites à l'entrepreneur
- un dispositif hydraulique à l'avant pour l'accostage sur les piles
- l'exécution en trois tronçons afin de permettre le démontage, l'avant-bec arrivant à l'intérieur des tunnels de Géronde.

#### 4. Résultats de l'exécution du pont nord

L'opération de poussage du pont nord s'est soldée par un succès total, avec un écart à l'arrivée infé-

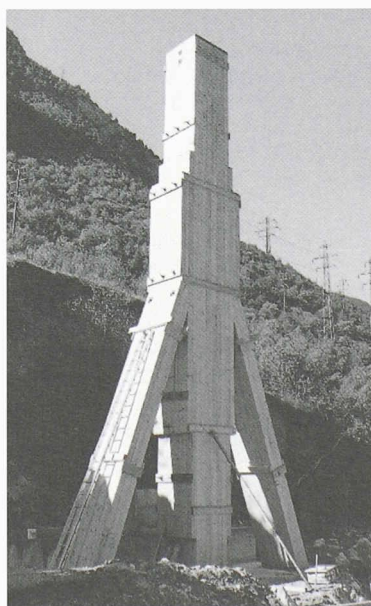


Fig. 8.- Pile provisoire en bois



Fig. 9.- Pile provisoire en béton centrifugé

rieur à 20 mm par rapport à la position théorique, pour une longueur de plus 720 m. Cela a été rendu possible grâce à la grande précision, à la rigidité et à l'indéformabilité de l'aire de fabrication, ainsi qu'à la grande précision du coffrage, et surtout à la compétence de l'équipe de réalisation.

La mesure des réactions d'appui en continu a été très précieuse pour la conduite des opérations, permettant de respecter les bornes imposées.

Cela a assuré une sollicitation maîtrisée des efforts imposés à l'ouvrage, avec comme conséquence une limitation ou une absence de fissuration, permettant de conserver la rigidité théorique de la section et de garantir la durabilité de l'ouvrage.

Les valeurs prescrites pour le poussage, la retenue et le guidage latéral n'ont jamais été dépassées, ce qui atteste du bon fonctionnement de l'ensemble des installations de poussage.

Nous avons noté au total trois incidents, classiques dans ce genre d'ouvrage, consistant à poser de manière erronée les appuis de glissement. A chaque fois, il en résulte une interruption et un relevage de l'ouvrage afin de tourner les plaques de glisse-



Fig. 10.- Avant-bec métallique

ment dans leur position correcte. Les piles provisoires et l'avant-bec se sont révélés très performants, exception faite d'un tassement sous une pile provisoire dû à de mauvaises conditions géotechniques très localisées. Ce problème a été résolu par la mise en place de micro-pieux.

### 5. Conclusions

En apportant le soin nécessaire au projet, en décrivant en détail les équipements souhaités et en prescrivant des exigences sévères au niveau de l'appel d'offres, il est

possible, pour une équipe compétente et motivée, de réaliser par poussage cadencé un ouvrage complexe qui n'était pas destiné a priori à un tel genre de réalisation, – de par sa géométrie complexe – de par sa section constamment variable – de par ses portées inégales – de par l'absence de talons sur la face inférieure du caisson.

Comme pour tout grand ouvrage de génie civil, la réussite dépend de la collaboration totale entre le maître de l'ouvrage, les projeteurs, les experts et les réalisateurs.

## VIII. La direction locale des travaux

Par Stéphane Andenmatten, ing. SIA, M. & S. Andenmatten Bureau d'ing. SA, Sion

### Intervenants pour la construction

#### Maître de l'ouvrage

- Département des transports, de l'équipement et de l'environnement du canton du Valais, service des routes et des cours d'eau, section routes nationales Valais romand
- Office fédéral des routes

#### Etudes et direction locale technique

- Communauté d'étude pour le Viaduc Ile Falcon :
- SD Ingénierie Dénériaz & Pralong Sion SA (pilote)
  - Bureau d'ingénieurs SA, Sierre
  - M. et S. Andenmatten SA, Sion
  - Vincent Mangeat SA, Nyon

#### Experts

- R. Favre, professeur, IBAP – EPFL, Lausanne, avec :
- de Cérenville Géotechnique SA, Ecublens
  - ESM Charif et Mivelaz, St Sulpice

#### Entreprises

- Ambrosetti SA, Genève
- Zschokke SA, Sion

#### Principaux sous-traitants et fournisseurs

- Poussage cadencé et précontrainte longitudinale: Freyssinnet SA
- Précontrainte transversale: VSL SA
- Appuis et raccordements de chaussées, système de tire-pousse: Freyssinnet SA
- Fourniture des bétons: Praz & Cie, Sierre
- Fourniture des aciers d'armature: Consortium c/o Lehner – Tonossi, Sierre
- Etanchéité: STUAG SA

### 1. Introduction – mandat

La communauté d'étude pour le viaduc de l'Ile Falcon a été mandatée par le Service des routes nationales pour la direction locale technique des travaux. Le contrat spécifie la participation des ingénieurs, à savoir :

- la direction locale technique ;
- les métrés sur les plans et listes établis par les ingénieurs ;
- l'assistance technique pour la réception de l'ouvrage.

La partie administrative, financière ou comptable du projet, les travaux de géomètre, les attachements et métrés contradictoires sur place, ainsi que tous les essais en laboratoire et *in situ* sont des prestations exécutées par le maître de l'ouvrage.

D'entente avec ce dernier et avec l'entreprise, il a été décidé de mettre en place un plan d'assurance de la qualité propre à l'ouvrage.

### 2. Objectifs du plan d'assurance de la qualité

Le plan d'assurance de la qualité fixe les pratiques de qualité, les moyens accessoires et le déroulement des activités concernant le contrôle et la réalisation des deux ponts de l'Ile Falcon.

Les objectifs principaux sont :

- de garantir une qualité de l'ouvrage qui soit conforme aux exigences définies dans les conditions particulières du dossier d'appel d'offre ;
- de régler les tâches, les compétences et les responsabilités de chaque intervenant sur le chantier ;
- d'anticiper les événements et de régler les processus afin d'éviter les erreurs ;
- de reconnaître à temps les déviations et d'y remédier sans conséquences pour l'ouvrage ;
- de préparer un dossier complet de l'histoire de la construction des ponts afin de faciliter le travail futur de la maintenance de l'ouvrage.