

Les TOARC 3 et 4 ont démarré en janvier 2006 et sont réalisés par un groupement comprenant les entreprises DTP Terrassements et Pompéani, le tunnel et le viaduc ont été notifiés fin septembre 2006 et sont réalisés respectivement par le groupement, Campenon Bernard Méditerranée, Spie Batignoles, Corse Travaux, Via Corsa et par le groupement Campenon Bernard Méditerranée, Spie Batignoles, Richard-Ducros, Corse Travaux, Corse Européenne d'Entreprise. Le TOARC 2 a été notifié dans le courant du mois de décembre 2007 et les travaux ont débuté en avril 2008 pour une durée de 23 mois hors intempéries.

A ce jour, le planning des travaux est le suivant :

- TOARC 1, 3, 4 et viaduc terminés pour la fin 2008 ;
- Tunnel fin des travaux novembre 2009 ;
- TOARC 2 terminé fin 2009.

Les travaux de signalisation, d'éclairage des carrefours, d'aménagements paysagers et de traitements de talus seront réalisés en 2009 et début 2010.

La mise en service de la déviation est prévue dans le courant du premier semestre 2010.

Conférences

Les ponts en encorbellement en béton précontraint (Pont sur le Vecchio et Pont d'Abra)

Jean VASSORD, ARCADIS

Pont du Vecchio - Pont d'Abra

2 Ouvrages exceptionnels de conception similaire

Pont du Vecchio

Le cahier des charges du concours lancé en 1981 par la DDE demandait de concevoir un ouvrage permettant :

- D'améliorer le tracé pour atteindre une vitesse de référence de 60 km/h.
- De respecter le site naturel du Vecchio qui se trouve dans le Parc Naturel Régional, en limitant au maximum l'impact et notamment l'abattage des arbres.
- De s'accorder avec l'ouvrage ferroviaire d'Eiffel inscrit à l'inventaire des monuments historiques et avec l'arche en maçonnerie du pont routier



Contraintes particulières du site

- Vallée profonde avec des versants abrupts.
- Zone de granits monzonitiques de forte résistance mécanique assez fracturé, mais permettant toutefois de prévoir des semelles superficielles.
- Nécessité de maintenir pendant toute la durée des travaux, la circulation sur la RN193, aucun itinéraire de déviation n'étant envisageable et de maintenir également l'accès au site de baignade situé juste à l'aplomb de l'ouvrage.
- Nécessité de rétablir un accès au futur délaissé de la RN pour permettre aux touristes de profiter des vues sur le vallon du Vecchio et sur l'ouvrage d'Eiffel.

Démarche conceptuelle de l'équipe Arcadis + B. Mikaelian

Pour respecter les critères de tracé, de préservation du site et de maintien des accès aux délaissés, il était donc indispensable d'avoir un ouvrage :

- situé au débouché du vallon,
- avec une très grande portée centrale environ 140 m,
- et franchissant en rive l'actuelle RN193.

Les solutions à haubans => Conflit visuel avec les piles du pont Eiffel

Les solutions en arc ou à béquille => Massifs dans les versants et donc des terrassements importants.

Les solutions en bowstring => Difficiles à construire par manque de place et de possibilité d'appuis provisoires

Solution retenue

Ouvrage à 3 travées mal proportionné avec une grande travée centrale de 137.50m en alignement droit franchissant l'ensemble des gorges et 2 travées de rive d'équilibrage très courtes et courbes de 42.25 m avec culées contrepoids.

Afin de limiter les déséquilibres, on a donc cherché :

- A alléger la travée centrale, d'où l'idée d'élégissement des âmes,
- A alourdir au contraire les travées de rive avec une section en caisson,
- A créer des dispositifs anti-soulèvement constitués de tenons passant dans des portiques solidaires des culées. Côté Sud, la culée est elle-même ancrée au

rocher par des tirants actifs ; côté Nord, la culée est une boîte-lest.

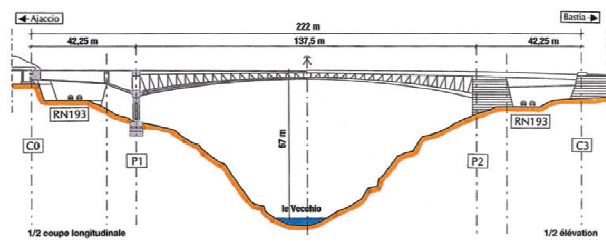
Traitement architectural

Le travail de l'architecte B. Mikaelian a été fondamental et a conduit à cet effet d'arc tendu et transparent. Ceci a été obtenu :

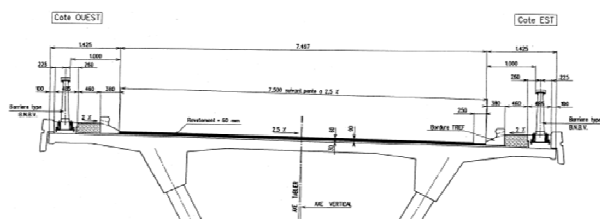
- Avec le pas et la forme de triangles des âmes inclinées,
- Avec la forme du hourdis inférieur de section croissante en hauteur et en largeur en direction des appuis,
- En masquant les piles et la partie fortement variable en hauteur des travées de rive, donnant ainsi un aspect de massif d'appui,
- Avec la qualité imposée pour les parements des âmes, des murs masques, des culées et des corniches.

Lors des études d'APOA, une autre solution, soutenue par M. Virlogeux, a été étudiée. Elle consistait à remplacer les âmes trapézoïdales béton par des treillis métalliques. Toutefois, la commission travaux de l'Assemblée Territoriale de Corse a décidé le 25 janvier 1995 de ne lancer la consultation que sur la solution béton, pour rester conforme à la solution retenue au terme du concours.

Caractéristiques de l'ouvrage



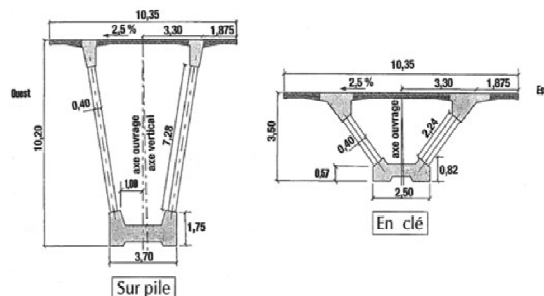
- Ouvrage à 3 travées : 42.25 m - 137.50 m - 42.25 m
- Largeur utile 10.35 m avec :
 - 2 voies de circulation soit 7.50 m entre bordures TRIEF,
 - 2 trottoirs de 1 m avec barrière de sécurité à barreaudage vertical (BNBV).
- Tracé en plan :
 - Cercle R = 150 m puis clothoïde,
 - Alignement droit sur 124.28 m,
 - Clothoïde puis cercle R = 120 m.
- Profil en long :
 - Pente à 5% puis parabole R = 4500 m.



Caractéristiques principales

Travée centrale

- Hauteur variable de 10.20 m sur appui à 3.50 m à la clé.
- Membrure inférieure variant de 3.70 m x 1.75 m sur appui à 2.50 m x 0.57 m à la clé.



Travée de rive

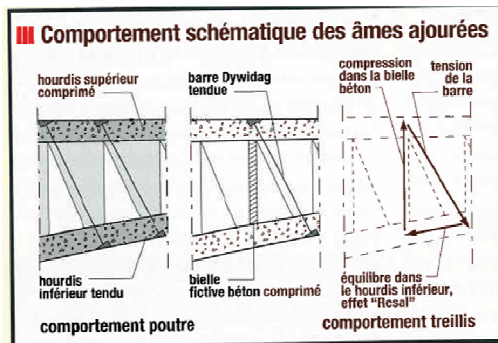
Hauteur variable de 10.20 m sur appui à 5.50 m sur les 12 premiers mètres puis de 5.50 m à 4 m sur culées.

Fonctionnement des âmes ajourées

Les âmes ajourées inclinées constituent l'originalité structurelle du tablier en lui conférant un mode de fonctionnement particulier.

Les âmes n'étant pas continues, l'effort tranchant ne peut pas cheminer par cisaillement de façon classique tout au long du tablier.

On a donc plutôt un fonctionnement en treillis avec des montants verticaux comprimés et des diagonales tendues sous l'effet des charges extérieures.



Mais la raideur des panneaux est telle que leur inertie propre ne peut plus être négligée. On n'est plus dans le schéma classique de montants et diagonales articulés.

On a au contraire une flexion et donc un cisaillement dans ces panneaux, ce qui réduit notablement les déformations.

L'étude de la structure est donc délicate car on ne peut pas utiliser un calcul classique de poutre à âmes pleines et il est difficile de trouver un treillis équivalent.

Pour les études d'APOA et de Projet, nous avons opté pour des calculs avec un programme d'éléments finis sous forme de coques, en tenant compte du phasage de construction

par superposition d'états et des effets du retrait fluage de manière forfaitaire. Ceci qui représente des calculs assez lourds.

Pour les études d'exécution, Razel TM avec l'aide de Michel Marchetti ont repris le problème à la base et on mis au point une méthode spécifique permettant de définir non pas un treillis équivalent, mais des barres équivalentes à chaque panneau, qui associées à des barres complémentaires dans le hourdis supérieur donnent des résultats très satisfaisants; résultats validés par comparaison ceux du modèle éléments finis d'Arcadis.

Cette méthode, basée sur la théorie du coin élastique, consiste à modéliser aux éléments finis chaque panneau isolé pour en déterminer des caractéristiques géométriques et mécaniques équivalentes.

Ceci permet ensuite d'utiliser un programme tel que ST1 et prendre ainsi facilement en compte les effets de la précontrainte, les phases de construction et les effets de retrait-fluage; sous réserve bien sûr de connaître la bonne loi de fluage.

Habillage des piles

Eléments préfabriqués accrochés sur des poutres horizontales, elles mêmes fixées sur des poteaux verticaux.



Pont du Vechio - Phases de construction



Equipage mobile



Coulage de la travée de rive

Pont d'Abra

Le contexte

Première opération routière d'envergure financée au titre du P.E.I. (Plan Exceptionnel d'Investissement), l'aménagement de la RN196 au droit du pont d'Abra sur le Taravo était un projet essentiel pour l'amélioration de l'axe Ajaccio-Bonifacio.

La route était très étroite et sinueuse, souvent verglacée et l'ouvrage de franchissement du Taravo ne permettait pas le croisement des véhicules.

Les études d'avant-projet ont mis en évidence que l'aménagement sur place (élargissement du pont et rectifications ponctuelles) n'améliorait pas suffisamment les caractéristiques fonctionnelles et entraînerait des terrassements importants, néfastes à une bonne intégration dans le site.

Il a donc été décidé de concevoir un tracé neuf plus court, permettant de créer un créneau de dépassement, le franchissement du Taravo se faisant sur un ouvrage neuf.

Contraintes de site

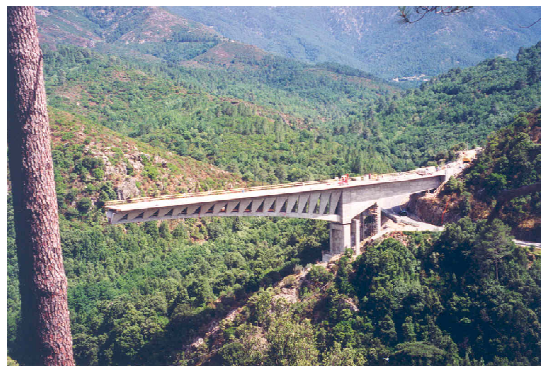
- Vallée assez encaissée avec un versant rive gauche abrupt et boisé et un versant rive droite moins marqué, plus dénudé avec des terres utilisées pour l'élevage.
- Remblais très importants au droit des culées.
- Présence d'un vieux pont du XVème siècle, classé monument historique, et donc volonté du Maître d'Ouvrage de respecter le site, de le mettre en valeur et d'avoir un ouvrage esthétique.



Construction du fléau



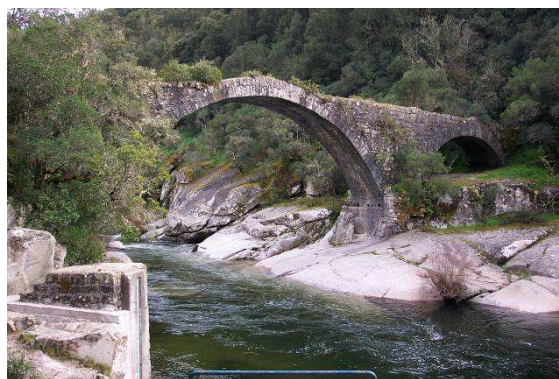
Equipage mobile bas



Fin du premier fléau



Pont du Vecchio



La CTC, sur les conseils de Monsieur Paulik du CETE, a consulté deux architectes pour envisager différentes solutions :

- Berdj MIKAELIAN avec un pont en béton précontraint
- Charles LAVIGNE avec un pont à haubans.

Sur le plan technique, la CTC s'est appuyé sur le CETE de Lyon pour la solution à haubans et sur Arcadis pour la solution en béton.

N'ayant pu départager ces deux solutions, il a été décidé de lancer les études de Projet et la Consultation des entreprises sur la base de ces deux structures.

La CTC a lancé en 2003 un appel d'offre pour la Maîtrise d'Œuvre, au terme duquel elle a confié au groupement ARCADIS-TRC-ECEP-SILENE, une mission complète de Maîtrise d'œuvre pour cet ouvrage ainsi que pour les raccordements routiers de part et d'autre.

Les résultats de la consultation pour les travaux lancée en 2005 ont conduit à retenir la solution béton (solution à haubans 10.4 M€, structure béton précontraint 8.9 M€ soit 17% d'écart).

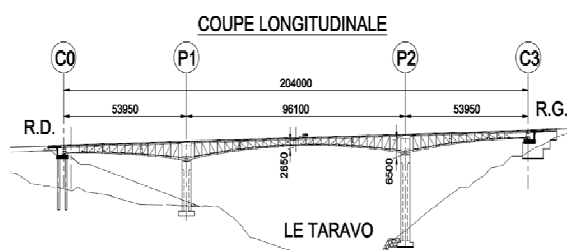
Conception de l'ouvrage

Alors que le principe des âmes ajourées sur le pont du Vecchio était justifié par la recherche d'un allègement de la travée centrale pour des raisons structurelles, sur le pont d'Abra, ce choix est essentiellement esthétique.

Cette disposition offre une légèreté et une transparence qui dans une vallée encaissée renforce son caractère aérien.

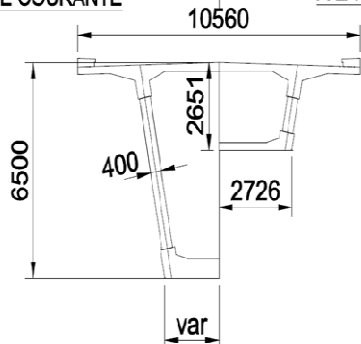
Caractéristiques générales

L'ouvrage comporte trois travées continues : 53.95 m, 96.10 m et 53.95 m. Le tablier de largeur totale 10.56 m supporte une chaussée de 7.50 m et deux passages de service de 1 m. Le tracé en plan est rectiligne et la pente constante à 2.6%.



COUPE TRANSVERSALE

ZONE COURANTE



COUPE TRANSVERSALE

A LA CLE

côté C0 et sur un massif en sol renforcé côté C3. Les pieux prévus au DCE côté C0 ont été supprimés à l'exécution compte-tenu de la bonne qualité du remblai et du terrain d'assise.

Les piles sont constituées par un fût octogonal de section constante surmonté d'un chapiteau s'évasant légèrement à l'encastrement avec le tablier.

La pile P1 de 18 m de hauteur est fondée sur les arènes granitiques par l'intermédiaire d'un massif en gros béton tandis que la pile P2 de 31.50 m de hauteur est directement encastrée dans le rocher affleurant.

Tablier

C'est un caisson en béton précontraint de hauteur variable (6.50 m sur pile et 2.65 m à la clé) avec des âmes inclinées ajourées.

Le hourdis supérieur comporte 2 nervures longitudinales au droit des âmes et une dalle d'épaisseur 25 cm.

Le hourdis inférieur a une épaisseur variable de 0.60 m sur pile à 0.25 m à la clé.

Les âmes d'épaisseur constante 40 cm ont une forme trapézoïdale avec une hauteur variant de 3.70 m sur pile à 1.10 m à la clé.

L'ouvrage est découpé en 2 VSP de 7 m de longueur et 13 voussoirs de 3.35 m par $\frac{1}{2}$ fléau.

La précontrainte est constituée par 4 familles :

- Des câbles de fléau : 2 x 13 câbles 7T15 par $\frac{1}{2}$ fléau ;
- Des câbles éclisses : 2 x 4 câbles 12T15 en travée centrale ;
- Des câbles extérieurs : 2 x 2 câbles 27T15 ;
- Des barres $\varnothing 50$ ou $\varnothing 40$ ou $\varnothing 36$ dans les âmes.

Comparaison Pont d'Abra / Pont du Vecchio

Au niveau du schéma statique :

Le Pont du Vecchio comportait une très grande travée centrale de 137.50 m franchissant l'ensemble des gorges et 2 travées de rive d'équilibrage très courtes avec culées contrepoids.

L'élégissement des âmes permettait d'alléger la travée centrale tandis que les travées de rive étaient volontairement alourdies.

Sur le Pont du Taravo, l'ouverture du site a permis de concevoir un ouvrage à 3 travées bien équilibrées avec des piles fondées en fond de vallée.

Au niveau de la forme du tablier :

Le principe d'âme à inclinaison variable, accentuant la variation de largeur du hourdis inférieur et son effet d'arc très tendu n'a pas été repris ici pour des questions de facilité d'exécution. Par contre, l'épaisseur du hourdis inférieur a été volontairement réduite pour conserver des âmes les plus importantes possibles et donc des ouvertures maximales.

Au niveau de la précontrainte :

Le schéma de câblage est par contre très similaire. Il reprend en particulier le principe de barres de précontraintes placées dans les panneaux d'âmes, variante proposée sur le Vecchio par RAZEL pour remplacer les

Fondations et appuis

Tous les appuis sont fondés superficiellement. Compte-tenu des faibles réactions d'appui sur culées, celles-ci sont fondées directement en crête de remblai

câbles de précontrainte extérieure disposés en harpe initialement prévus.

- Au niveau du mode de construction :

Du fait du déséquilibre des travées sur le pont du Vecchio, les travées de rive étaient coulées sur cintre; seule la travée centrale était construite en encorbellement. Sur le pont d'Abra, la construction se fait par encorbellements symétriques.

Etudes du tablier

L'ouvrage est plus petit que le Pont du Vecchio, mais ce n'est pas pour cela qu'il est plus simple à étudier.

La suppression de la variation d'inclinaison des âmes et du devers du caisson et le fait que l'ouvrage est parfaitement rectiligne ont nettement simplifié la géométrie du tablier, mais la réduction de la hauteur des sections et en particulier de la hauteur du hourdis inférieur (volonté architecturale pour accroître la partie ajourée) ont conduit à rendre plus complexe la mise en place des aciers passifs et la précontrainte.

Malgré la réalisation d'un voussoir d'essai, ce point est resté un point très délicat tout au long du chantier.

Au niveau du mode de calcul, RAZEL TM a bien sûr repris la même méthode que pour le pont du Vecchio.

Un contrôle externe a été effectué par GTM, Daniel FOISSAC à l'aide d'un modèle ANSYS avec l'appui de Pierre WYNIECKI.

Ces modèles ont permis de valider une nouvelle fois les résultats des calculs de RAZEL.

Par ailleurs, il faut noter que comme pour le pont du Vecchio, une instrumentation du tablier a été mise en place.

Méthodes de construction

Piles

Les fûts octogonaux, de hauteur 18.1 et 31.7 m ont été réalisés par levées successives de 3.35 m de haut avec des coffrages bois.

Le coffrage intérieur reposait sur une plate-forme à rochets, manutentionnée à la grue.

La plate-forme extérieure était auto-élevatrice, reposant sur quatre poteaux métalliques à rochets contreventés.



Ferrailage des piles

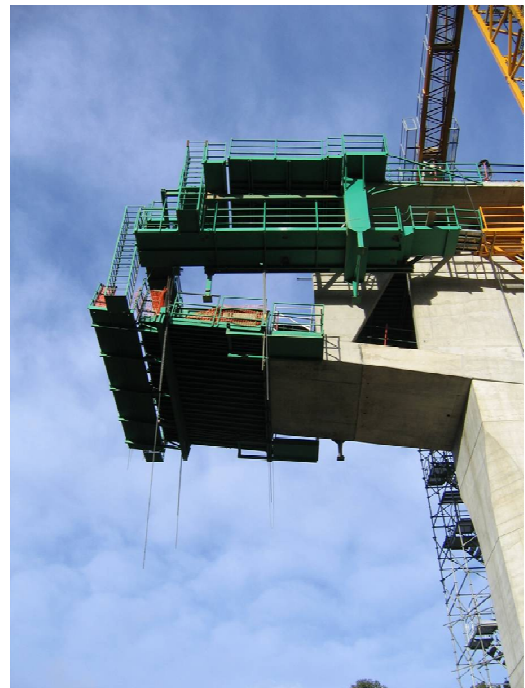
VSP :

Ils sont réalisés en trois phases :

- Hourdis inférieur
- Ames et entretoises
- Hourdis supérieur et bloc supérieur

Pendant les phases 1 et 2, l'ensemble des coffrages étaient prévus appuyés sur les quatre poteaux de la plate-forme auto-élevatrice.

Après l'accident qui s'est produit en février 2007 lors de l'installation de la plate-forme du VSP2 sur ces poteaux, l'Entreprise a choisi de reconstruire un étalement complet autour de la pile.



Construction du voussoir V1

Fléaux :

Les fléaux sont construits de manière classique par encorbellements successifs à l'aide d'équipages mobiles (13 paires de voussoirs de 3.35 m de long).

Comme pour le pont du Vecchio, les âmes sont préfabriquées et mises en place, non pas dans l'équipage, ce qui aurait pour conséquence de le solliciter fortement, mais en l'accrochant au voussoir précédent à l'aide d'une "pince" et d'un dispositif d'appui et de réglage.

La conception de chaque paire d'équipage est par contre différente de celle du Vecchio, avec un schéma plus classique.

L'ossature porteuse est constituée de deux poutres treillis latérales suspendues à une structure en "C" au moyen de tiges précontraintes et avec des butées en arrière sous le hourdis.

Le coffrage du hourdis inférieur est appuyé sur une poutre transversale avant suspendue aux poutres principales et une poutre arrière brélée au béton du voussoir précédent.

Le coffrage des encorbellements du hourdis supérieur est appuyé sur les poutres principales et une poutre latérale

auxiliaire. La table intérieure prend appui sur deux poutres tiroirs reposant sur la poutre transversale avant de l'équipage et suspendues à l'arrière sur le voussoir précédent.



Equipage mobile



Construction du fléau

Cycle de construction

Le cycle de construction d'un voussoir courant (du V3 au V12), organisé sur une semaine, est le suivant :

Jour 1 :

Relevé topo

Décoffrage extérieur (fond de moule et encorbellements) des 2 équipages (R_c béton=18MPa)

Mise en tension des barres de précontrainte de 2nd lit et des câbles de fléau (R_c =23MPa)

Décintrement des 2 équipages et avancement de l'équipage n°1

Jour 2 :

Réglage équipage n°1, pose des âmes

Avancement et réglage de l'équipage n°2, pose des âmes

Jour 3 :

Activation à 45t des suspentes principales

Ferraillage complémentaire (coupleurs), coffrage des goussets et masques des équipages 1&2

Coffrage intérieur et pose des armatures de hourdis supérieur

Bétonnage de hourdis inférieur

Jour 4 :

Activation des suspentes avant du fond de moule à 12,5

Retention des suspentes principales à 60t (R_c =15MPa)

Coffrage des boîtes, masques

Jour 5 :

Bétonnage de hourdis supérieur

Enfilage des câbles de fléau, décoffrage des masques

Mise en tension des barres de précontrainte de 1er lit (voussoir n-3)



Clavage en rive



Intérieur de la travée centrale



Clavage central



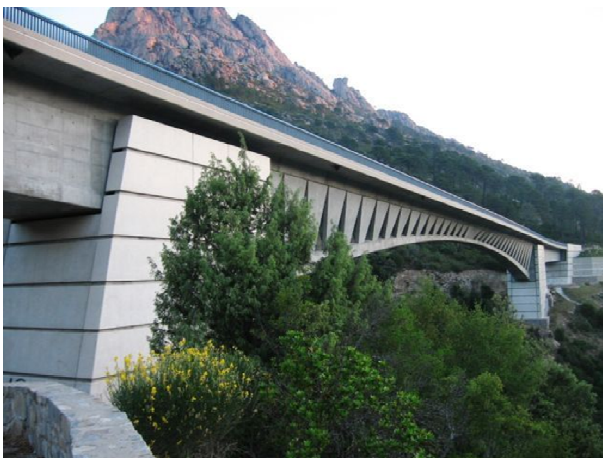
Ouvrage terminé



Le pont sur le Vecchio et le pont d'Abra : le point de vue de l'entreprise, la mise au point des projets et leurs réalisations, les enseignements tirés de l'expérience

Michel PLACIDI, RAZEL

Le pont sur le Vecchio



Analyse du projet de base et premières observations

- Un ratio de précontrainte très élevé. Après analyse, ceci s'est avéré être dû à :
 - une précontrainte des travées de rive, nécessaire en phase provisoire
 - une précontrainte extérieure inclinée très forte, nécessitée par le besoin de remonter les efforts tranchants dans un schéma classique, avec limitation du cisaillement dans les panneaux
 - une précontrainte cyclique courte, n'allant pas jusqu'à l'appui
 - ceci conduisait à des contraintes normales sur appui à vide très fortes en fibre supérieure et très faibles dans le hourdis inférieur (*pratiquement pas d'effet Résal malgré la forte pente du hourdis inférieur près des piles*)
- un équipage mobile très lourd (*hauteur importante du tablier et nécessaire rigidité en torsion*)
- un schéma statique d'appuis non symétrique (*fixe sur P1 et glissant sur P2*)
- un système d'anti-soulèvement arrière complexe (*deux tenons chargés non symétriquement*)
- une organisation de chantier lourde et délicate (*deux équipages mobiles et une place limitée*)

Les modifications apportées par notre variante

- Travées de rive coulées sur un cintre général (*suppression de la précontrainte provisoire de rive*)
- Panneaux d'âme préfabriqués accrochés au tablier déjà réalisé (*et non posés dans l'équipage mobile*)
- Un seul équipage mobile de conception très originale (*comportant deux parties distinctes, un équipage bas et un équipage haut, chacun de type équipage par dessous avec fonctionnement en tiroir*)
- Brelâge provisoire des voussoirs de la travée centrale et câblage de fléau avec câbles plongeant, (*ce qui en fait s'est transformé, au cours de la mise au point du projet d'exécution, par un câblage de fléau droit et une précontrainte inclinée dans les panneaux d'âme de façon à faciliter le cheminement des efforts principaux dans le fonctionnement en treillis, cette précontrainte étant constituée de barres de diamètre 36, 40 ou 50 mm., ceci a en outre permis de supprimer les nervures transversales du hourdis supérieur*)
- Dissociation dans la conception des piles de la fonction appui de celle d'habillage (*voiles indépendants sur une ossature support*)
- Un tenon excentré sur les culées inversées (*réduction sensible de la torsion*)
- Des appareils d'appui en néoprène fretté sur les piles (*schéma statique symétrique*)
- Une attention particulière à la conception des coffrages (*régularité et teinte des parements*)

Des travées de rive coulées sur cintre avec appuis maintenus pendant la construction du fléau



- Accès par l'arrière et construction de chaque fléau « à l'avancement »
- Un seul équipage mobile de conception originale (en réalité un équipage pour le hourdis supérieur et un équipage pour le hourdis inférieur)
- Des panneaux d'âmes préfabriqués non pas posés dans l'équipage mais tenus par des fixations au voussoir précédent



Spécificité des calculs d'exécution

- Une étude particulière du fonctionnement de la structure compte tenu de son caractère spécifique (effectuée avec l'appui de Michel Marchetti) :
- Un calcul 2D à l'aide d'un modèle unifilaire ST1 : descente de charge et mise au point de la flexion longitudinale générale (approche pour la prise en

compte des panneaux d'âmes ajourés, section réduite d'effort tranchant, dont la valeur est déterminée pour chaque section par un programme de calcul spécifique).

- Un calcul spatial à l'aide d'un modèle ST1-3D : vérification des critères d'intégrité des matériaux dans les panneaux, ajustement de la flexion longitudinale et prise en compte du fluage scientifique (modélisation spatiale avec barres équivalentes représentant les panneaux d'âmes trapézoïdaux à l'aide de logiciels de calculs spécialement écrits pour cette occasion).

Aménagement de la précontrainte

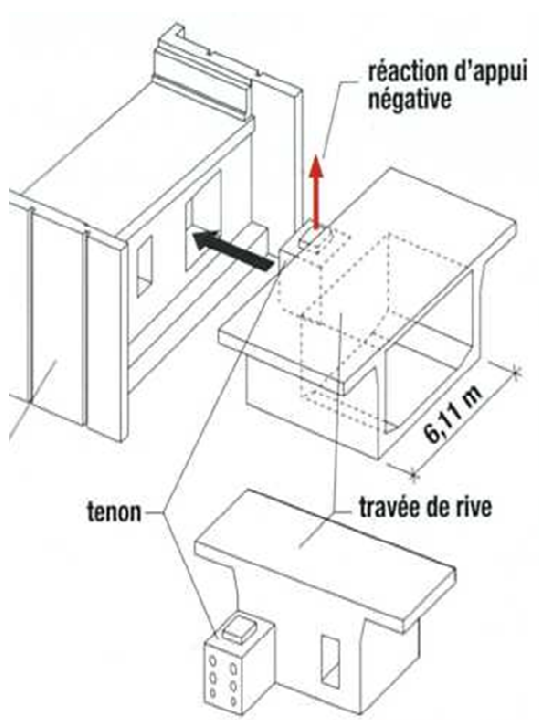
Cet aménagement de la précontrainte a permis de réduire le poids total d'acier HR de précontrainte de 65 t, en passant de 153 t à 88 t, ce qui a représenté, compte tenu des unités différentes, une économie de 25 % sur le seul poste précontrainte

Aménagement structurel des piles dissociant fonction « appui » de la fonction « habillage »



Travées de rive très courtes, donc culées inversées à réactions négatives

Un seul tenon d'anti-soulèvement, excentré pour effacer la torsion dans le tablier due à la forte courbure des travées de rive



Extrême complexité de la géométrie du tablier

- Réduction de la largeur du hourdis inférieur vers la clé
- Les panneaux d'âmes préfabriqués sont inscrits sur des surfaces gauches
- Les panneaux de coffrage sont variables en largeur et en angles



Soin de l'exécution, qualité des parements et le résultat :
Un ouvrage d'une grande beauté

Les enseignements tirés de l'expérience du Pont sur le Vecchio

- Les aménagements apportés dans le cadre de notre variante ont tous été validés, et d'ailleurs reconduits sur le pont d'Abra.
- La principale difficulté rencontrée était liée à l'extrême complexité de la géométrie du tablier.

Le pont d'Abra sur le Taravo



Analyse du projet de base et propositions variantes

- Le concepteur semblait avoir bien intégré les enseignements tirés de l'expérience du pont sur le Vecchio et il avait notamment simplifié grandement la géométrie du tablier et celle des panneaux d'âmes
- Nous avons donc reconduit nos principales propositions, notamment celles concernant les méthodes de construction, simplement adaptées à la configuration de l'ouvrage (trois travées avec deux fléaux symétriques identiques)
- La principale modification que nous avons proposée en variante concernait l'encastrement de ces deux fléaux sur les piles, ce qui permettait de supprimer les appareils d'appui fixes et glissants qui étaient prévus.

Même conception d'équipage mobile en deux parties



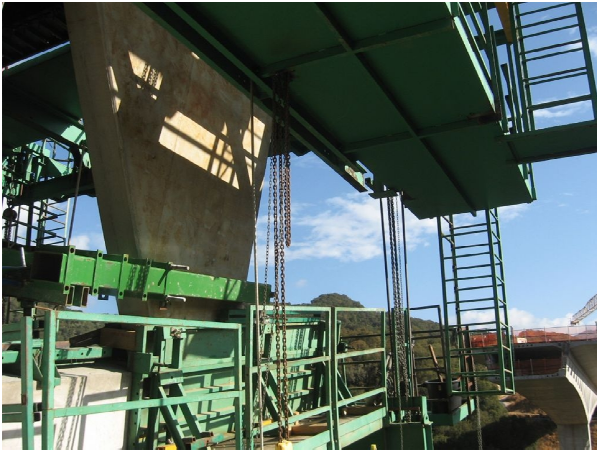
Même principe de décalage des arrêts de bétonnage entre hourdis supérieur et inférieur



Même disposition pour la préfabrication et la mise en place des panneaux d'âmes



Même principe du dispositif de maintien provisoire des panneaux pendant le bétonnage des hourdis



Construction des extrémités des travées de rive sur cintre en coffrages traditionnels



Construction successive d'un premier fléau puis du second avec une seule paire d'équipage, puis clavage dans la travée centrale



Encastrement des fléaux directement dans les têtes de pile

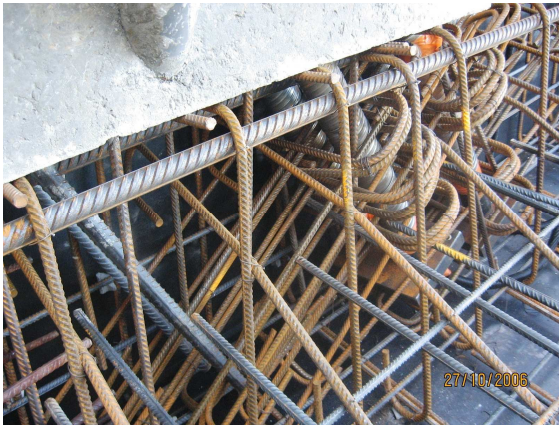


... et un fonctionnement en portique

Les difficultés rencontrées sur le pont d'Abra

- La similitude qui a été faite à partir des rapports de portée des travées centrales des deux ouvrages Abra et Vecchio ($96,10 / 137,50 = 0,70$) a laissé penser qu'il était possible de réduire dans ce même rapport les dimensions de coffrage des différentes parties de la structure (goussets, retombées et remontées de hourdis, largeur d'ancrage des panneaux, etc...)
- L'expérience a montré que les problèmes d'encombrement, de croisement des armatures et de positionnement des barres de précontrainte auraient nécessité des zones de liaison panneaux d'âmes / hourdis quasiment identiques dans les deux ouvrages (*devant des impossibilités majeures, nous avons dû changer certaines côtes*)
- D'où les plus extrêmes difficultés rencontrées pour concevoir les ferrailages des nœuds de jonction panneaux / hourdis inférieur, puis à mettre en place les armatures passives et les barres de précontrainte dans ces zones.

Extrême difficulté de disposer toutes les armatures actives et passives et de bétonner ce nœud de jonction compte tenu de l'exiguïté de la place dont on dispose et de la densité du ferrailage nécessaire



Néanmoins, malgré ces grandes difficultés d'exécution, ...
... un ouvrage très beau aussi et parfaitement bien réussi

Conclusion

Ce type de structure très original, en caisson à âmes ajourées (puisque'il s'agit de deux premières mondiales), est intéressa pour des ouvrages de grande ou très grande portée (plus de 150 m) car plus léger et présentant un meilleur rendement mécanique,

par contre, il est à éviter absolument, sauf pour des raisons précises (esthétiques ou architecturales) lorsqu'il s'agit d'ouvrages de petite ou moyenne portée à cause de la grande complexité qu'il génère et du surcoût que cela entraîne

Les ponts à béquilles et en arc en béton précontraint : Le pont d'Altiani

Bertrand LENOIR, SECOA,

Le site

- Le pont génois sur le Tavignano
- La chapelle St Jean
- Une aire d'arrêt pour visiter le site
- Les conditions géotechniques
- Les études hydrauliques

Les études hydrauliques

- Un bassin versant de 492 km² au droit du pont d'Altiani
- Les débits de crue pris en compte résultent de l'enveloppe de diverses approches (Crupeix, Shypre...) =>
 - Crue décennale débit Q10 = 693 m³/s
 - Crue centennale débit Q100 = 1622 m³/s

Débit capable de l'ouvrage actuel non submergé = 2500 m³/s

Pour une crue centennale :

Rehaussement de 5 cm à 50m à l'amont

Rehaussement de 2 cm à 300m à l'aval

Tirant d'air résiduel de 4.10m sous l'intrados de la clé de l'arc

Le projet

- La forme de l'arc
- Les piles
- Les pyramidions
- Le schéma statique

Les hypothèses de calcul : effets thermiques

- Compte tenu des conditions climatiques spécifiques de la Haute Corse, les effets thermiques sont définis par référence aux Eurocodes :
- Eurocode 1 : Actions sur les structures - Partie 1-5 : Actions générales - Actions thermiques
- EN 1991-1-5 Mai 2004
- Annexe nationale à la NF EN 1991-1-5 :2004
- EN 1991-1-5/NA Février 2008
- La valeur du coefficient de dilatation thermique du béton et des aciers de toute nature est fixée à 10-5 m/m/°C dans les calculs.
- Les effets de la température sont regroupés en deux types de cas de charge :

- les cas de charge rares,
- les cas de charge fréquents.
- **Les calculs sont à conduire avec le module de déformation longitudinale sous charges de courte durée d'application pour le béton (module instantané).**
- Ainsi, les notions de module différé pour les variations thermiques lentes et de module instantané les variations thermiques rapides sont abandonnées.

Variations uniformes de la température

- On distingue les variations de température rares et les variations de température fréquentes, ces dernières sont considérées comme égales soit à 60% soit à 50% des variations rares selon les cas à distinguer comme explicité ci-dessous.
- **Les cas rares** de variation uniforme de la température correspondent aux températures extrêmes suivantes pour la structure :
 - $T_{\text{max}} = 42^{\circ}\text{C}$
 - $T_{\text{min}} = -10^{\circ}\text{C}$
- Ces températures extrêmes sont à considérer comme des écarts par rapport à la température de référence $T_0 = 15^{\circ}\text{C}$ réputée représenter la température d'origine, à la date où la configuration définitive de la structure est réalisée.
- Ainsi, les écarts extrêmes de température uniforme à considérer dans les calculs sont :
 - Augmentation de température : $\Delta T_{N,\text{exp}} = 42 - 15 = 27^{\circ}\text{C}$
 - Diminution de température : $\Delta T_{N,\text{con}} = -10 - 15 = -25^{\circ}\text{C}$
- **Les cas fréquents** de variation uniforme de la température correspondent à 60% des écarts rares (soit donc $+16.2^{\circ}\text{C}$, -15°C) lorsque la variation de température est cumulée à l'effet des charges d'exploitation pour constituer des cas de charges d'ELS rare, et à 50% des écarts rares lorsque la variation de température est considérée seule pour constituer des cas de charges d'ELS fréquent.

Gradients thermiques dans le tablier

- Les gradients thermiques à prendre en compte dans le tablier sont des gradients linéaires (méthode 1 de l'Eurocode), ils expriment la

différence de température entre la fibre supérieure et la fibre inférieure du tablier.

- L'entrepreneur considère deux cas rares de gradient thermique :
 - $\Delta T_{M,\text{heat}} = 12^{\circ}\text{C}$ (fibre supérieure plus chaude)
 - $\Delta T_{M,\text{cool}} = -6^{\circ}\text{C}$ (fibre inférieure plus chaude)
- Les effets des gradients thermiques sont calculés en utilisant la valeur instantanée du module du béton.
- Les gradients thermiques fréquents sont pris égaux à 50% des gradients thermiques rares
- Durant les phases de construction, les gradients thermiques fréquents seront pris en compte dans le tablier.

Cumul des variations thermiques uniformes et des gradients thermiques

- Pour les cas de simultanéité de variation thermique uniforme et de gradient thermique, on considère les combinaisons du type :
 - Gradient thermique + 0.35 Variation thermique uniforme
 - 0.75 Gradient thermique + Variation thermique uniforme

Cumul des cas de charges thermiques aux charges d'exploitation

- L'entrepreneur note T_f l'enveloppe des cas de charge thermiques fréquents, T_r l'enveloppe des cas de charge thermiques rares.
- Cumul à l'ELS fréquent :
 - L'entrepreneur cumule T_f à l'état à vide.
- Cumul à l'ELS rare :
 - L'entrepreneur cumule T_r à l'état à vide,
 - L'entrepreneur cumule T_f à l'état à vide et aux charges routières rares.
- Cumul à l'ELU :
 - L'entrepreneur cumule $1,35 T_r$ à l'état à vide pondéré à l'ELU,
- L'entrepreneur cumule $0,8 T_r$ à l'état à vide et aux charges routières pondérées à l'ELU.

Les hypothèses de calcul : spécificités du béton Corse

Module élastique du béton

- Pour le module de déformation longitudinale du béton sous charges de courte durée, on retiendra :
 - $E_i = 8600(f_{c,j})^{(1/3)}$ au lieu de $11000(f_{c,j})^{(1/3)}$

Retrait

- Les effets du retrait sont à évaluer sur les bases de l'annexe 1 modifiée du BPEL99, qui

se substitue à l'annexe 1 correspondante du BPEL91 pour son application aux BHP.

- Le retrait total se décompose en deux parties : le retrait endogène et le retrait de dessiccation.

Mais il faut prendre en compte les modifications suivantes :

- Le retrait endogène doit être multiplié par 4.40
- Le retrait de dessiccation doit être multiplié par 1.15

Fluage

- Les effets du fluage sont à évaluer sur les bases de l'annexe 1 modifiée du BPEL99, qui se substitue à l'annexe 1 correspondante du BPEL91 pour son application aux BHP.
- Le fluage total se décompose en deux parties : le fluage propre et le fluage de dessiccation.

Mais il faut prendre en compte les modifications suivantes :

- Le fluage propre est inchangé
- Le fluage de dessiccation est inchangé ; il ne doit pas être multiplié par 2.00. Mais comme il est quand même affecté par l'incidence du retrait de dessiccation qui est à multiplier par 1.15, il est - de fait - multiplié par 1.15.

Règles relatives au tablier et aux béquilles en béton précontraint

- Les justifications du tablier en béton précontraint sont menées selon les règles du BPEL 91 révisé 99.
- L'enrobage des armatures passives est de 3 cm.
- La résistance caractéristique du béton des béquilles des piles et du tablier est définie par $f_{c28} = 50 \text{ MPa}$
- Pour les justifications des contraintes normales vis-à-vis des états limites de service, les classes de vérification à utiliser sont :
la classe II pour le tablier
la classe III pour les béquilles
- Les études d'exécution devront optimiser le tracé de la précontrainte pour avoir la compression la plus élevée possible sous combinaison permanente dans les sections d'enrobage des câbles et pour se rapprocher des critères de vérification de la classe II
- La justification de l'ouvrage est à faire en prenant en compte les valeurs caractéristiques P1 et P2 de la précontrainte.
- Si l'évaluation systématique des contraintes est effectuée avec la valeur probable P_m de la précontrainte la vérification des contraintes

est effectuée conformément aux prescriptions de l'article 4.10 du BPEL 91 révisé 99 en prenant : $k = 0,02$ et $k' = 0,95$

Le pont en arc d'Altiani

Présentation de l'ouvrage neuf et visite du site avec l'ancien pont génois

Marie-Hélène LOTA-VIDONNE

Présentation du pont génois

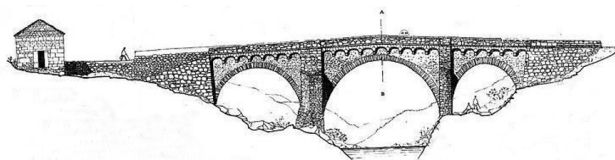


Les ponts génois sont des édifices en pierres caractérisés par un dos d'âne et une ou des arches et un tablier étroit dont la largeur correspondait, selon l'antique norme, au croisement de deux mulets bâtés.

La plupart ont été construits en Corse entre 1284 et la date de rattachement à la France, par l'administration génoise afin de relancer l'économie insulaire en favorisant les échanges.

Le pont d'Altiani a été construit à la fin du 17^{ème} siècle pour remplacer un pont génois plus ancien emporté par une crue du Tavignano en 1697, sur ordre du gouverneur Ambroggio Imperiale, à partir de 1698, par quatre maîtres maçons.

Il a été élargi en 1780 par encorbellement des parapets, sans modification de son architecture initiale, en prévision du charroi.



Le pont tel qu'il se présente aujourd'hui comporte 3 arches, une grande centrale et deux arches latérales plus petites, les deux piles se trouvent ainsi dans le lit majeur du Tavignano.