

LE PONT D'ABRA SUR LE TARAVO

Loïc MORVAN

Collectivité Territoriale de Corse

Jean VASSORD

Arcadis Lyon

Jean-Paul BASTIANESI

TRC

Lionel GINESTE, Daniel FOISSAC

GTM Construction

Guillaume PLANTE, Jean VLEMELINX

RAZEL



1. PRÉSENTATION

La R.N. 196 est le seul axe routier d'importance permettant de relier Ajaccio et le sud de la Corse jusqu'à Bonifacio.

La zone d'étude se situe entre deux sections déjà aménagées, dans le relief vallonné de la rivière « le Taravo ». A cet endroit, la vallée du Taravo est très encaissée et forme un méandre contournant un petit relief collinaire. Le versant est très abrupt et boisé en rive gauche en opposition avec une rive droite moins marquée et plus dénudée, avec la présence de terres agricoles utilisées pour l'élevage.

L'aménagement projeté a pour objectif d'améliorer les caractéristiques techniques de ce tronçon de 2000 m, qui sont mauvaises (tracé sinueux, pont actuel de 70 m ne disposant que d'une voie, zone verglacée en période hivernale), et d'en profiter pour créer un créneau de dépassement de 1000 m environ.

Les contraintes principales du projet sont :

- Construction d'une voie nouvelle et d'un ouvrage d'art de 200m environ à proximité d'un pont génois classé (Pont du XVème siècle).
- Intégration de l'aménagement dans le paysage en particulier pour les remblais très importants au droit des culées de l'ouvrage et pour les déblais qui peuvent atteindre au droit de certains profils une vingtaine de mètres.
- Rétablissement des accès privés avec un bon niveau de sécurité (visibilité...).
- Problèmes de stabilité à court terme et à long terme des talus de déblai fortement en pente.
- Maintien de la circulation pendant toute la durée des travaux.

Les études d'avant projet ont mis en évidence que l'aménagement sur place (élargissement du pont actuel et rectifications ponctuelles) conduirait à des terrassements imposants, néfastes à une bonne intégration dans le site, et n'améliorerait pas suffisamment les caractéristiques fonctionnelles. C'est pourquoi, seule la nature du pont de 200 m variait dans le dossier de concertation soumis à l'avis des administrations et des collectivités. Au terme de cette phase, deux solutions n'ont pu être départagées et le maître d'ouvrage a donc décidé de lancer l'appel d'offre sur la base de ces deux structures, afin de laisser le seul critère économique départager deux options dont les caractéristiques esthétiques avaient suscité autant d'enthousiasme l'une que l'autre.



Solution n°1 – Pont en béton précontraint à âmes ajourées



Solution n°2 – Pont à haubans

Compte tenu de la différence substantielle entre ces deux projets au cachet architectural équivalent (solution haubans : 10,4 M€, solution béton précontraint : 8.9 M€, soit 17 %), le pont à âmes ajourées a été retenu pour être le futur viaduc du franchissement du Taravo.

2. LA FILIATION DE LA STRUCTURE DU TABLIER

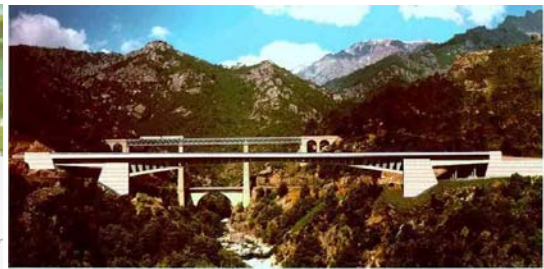
La structure retenue présente une géométrie exceptionnelle :

- elle offre une légèreté et une transparence qui dans une vallée très encaissée renforce son caractère aérien ;
- le fonctionnement mécanique de cet ouvrage est très éloigné des ponts caissons classiques, du fait des âmes ajourées, ce qui nécessite des études pointues ;
- la réalisation s'appuie sur la mise au point de méthodes propres à cette géométrie complexe pour assembler des parties coulées en place et des pièces préfabriquées.

Cet ouvrage sera le deuxième du genre avec le pont du Vecchio, achevé en 1999. Si les dimensions sont plus modestes (204 m contre 222), les âmes sont élégées sur toute la longueur du tablier et la distribution des trois travées, devant s'adapter à la topographie, est différente.



Pont sur le Taravo
54,0 m-96,0 m-54,0 m
(Esquisse de M. Mikaelian)



Pont du Vecchio
42,5 m-137,0 m-42,5 m

3. SUIVI SPÉCIFIQUE DE LA CONSTRUCTION DU PONT

Compte tenu du caractère exceptionnel du pont, le maître d'ouvrage a souhaité réaliser une instrumentation de la structure du tablier et une étude spécifique du comportement rhéologique du béton, matériau de base de cet ouvrage.

Le dispositif d'auscultation continue de la structure du tablier, confié à un groupement spécialisé dans l'instrumentation et la conception des ouvrages d'art, sera très utile pour la surveillance et la maintenance, car le fonctionnement mécanique de ce pont est tout à fait particulier : mesure des déplacements, des contraintes, des réactions d'appui et de la température. La principale originalité de cette étude est de débiter dès la construction de l'ouvrage permettant ainsi au groupement chargé de l'instrumentation et du suivi de l'ouvrage d'être associé à la conception du pont. Elle sera complétée par une étude numérique portant sur les effets des gradients thermiques (modélisation 3D avec des éléments multifibres).

Le béton approvisionné par une centrale située à plus d'une heure de route du site, a fait l'objet d'un contrôle assidu de la part du Laboratoire Départemental de Corse du Sud, dans le cadre d'un contrôle extérieur renforcé, qui consiste pour l'essentiel à vérifier la qualité du béton depuis sa mise au point jusqu'à sa mise en œuvre. Cela impliquait notamment une forte présence et une grande réactivité. En outre, le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées a pour mission de définir au mieux la rhéologie de ce matériau (étude mécanique des roches, et évaluation du fluage du béton sous différentes hypothèses).

4. CAISSON DU PONT D'ABRA À ÂMES AJOURÉES

4.1. Caractéristiques générales

L'ouvrage comporte 3 travées continues : 53.95 m – 96.10 m – 53.95 m.

Le tablier de largeur totale 10.56 m supporte une chaussée de 7.50 m et 2 passages de service de 1 m. Le tracé en plan est rectiligne et la pente constante à 2.6 %.

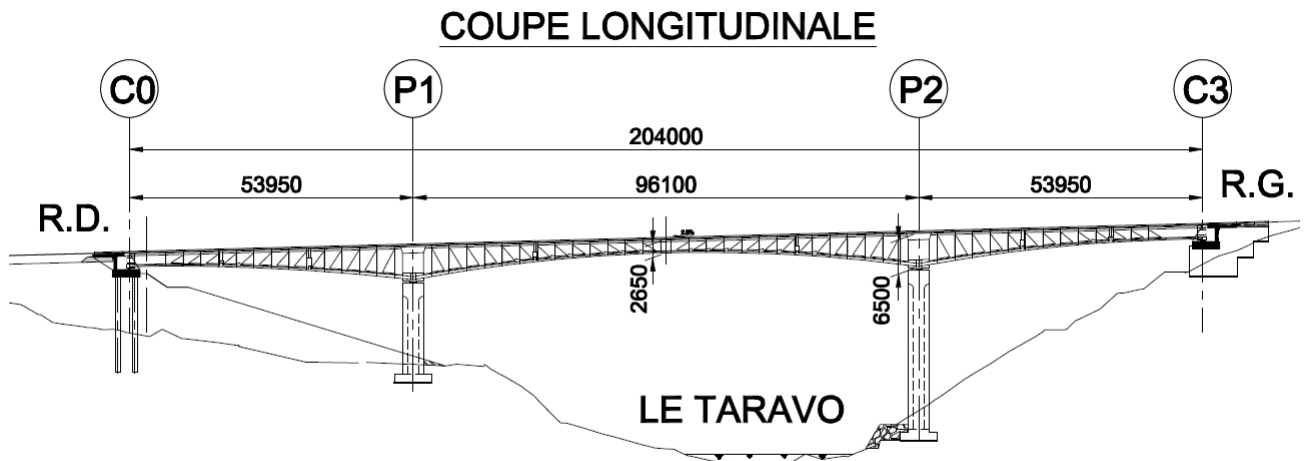
Fondations et appuis

Tous les appuis sont fondés superficiellement.

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



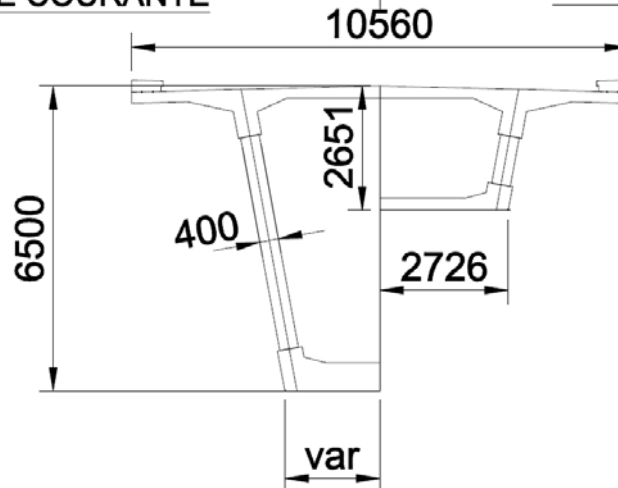
Coupe longitudinale

COUPE TRANSVERSALE

ZONE COURANTE

COUPE TRANSVERSALE

A LA CLE



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 ½ fléau.

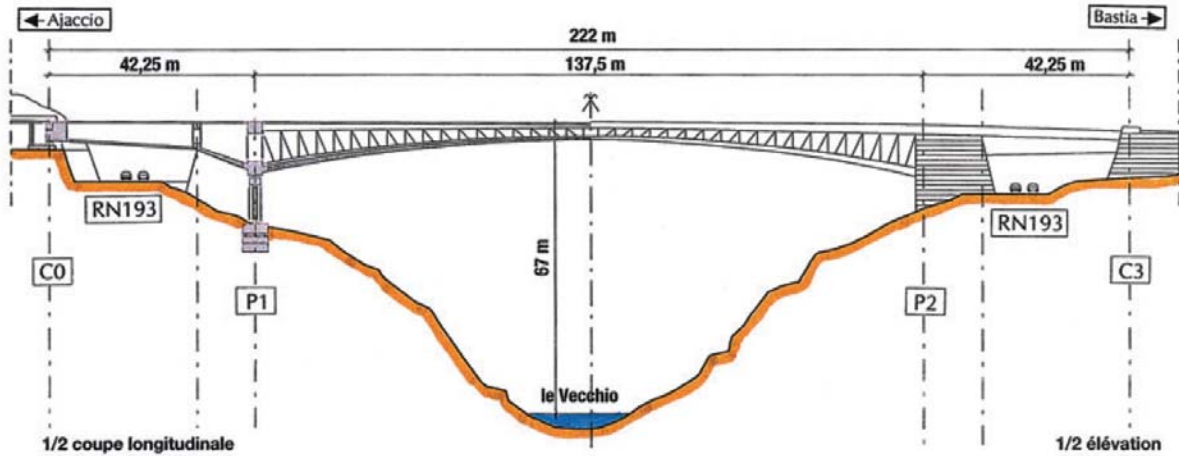
La précontrainte est constituée par 4 familles :

- Des câbles de fléau : 2 x 13 câbles 7T15 par ½ fléau ;
- Des câbles éclisses : 2 x 4 câbles 12T15 en travée centrale ;
- Des câbles extérieurs : 2 x 2 câbles 27T15 ;
- Des barres Ø50 ou Ø40 ou Ø36 dans les âmes.

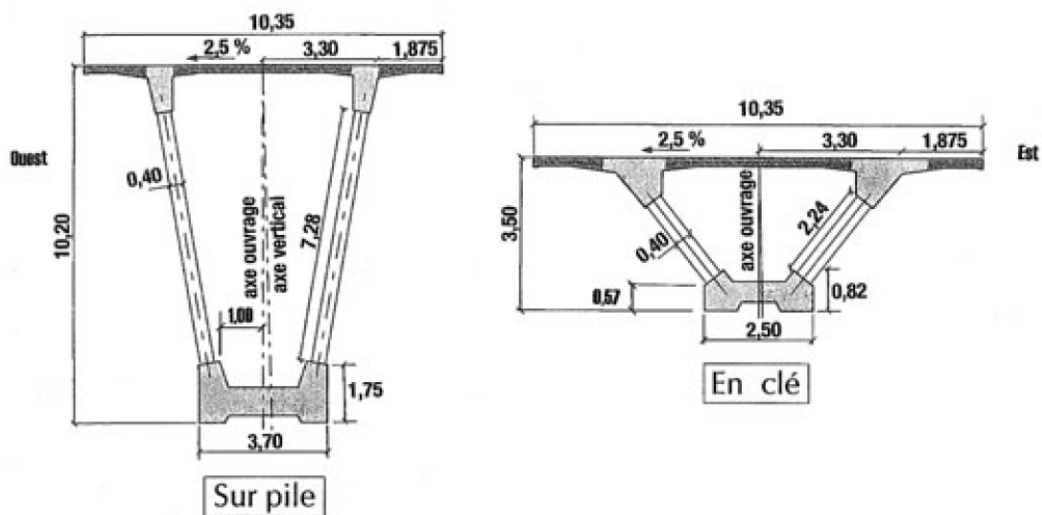
4.2. Comparaison avec le pont du Vecchio

Cet ouvrage reprend le principe des âmes ajourées du Pont du Vecchio (ouvrage également conçu par l'équipe B. MIKAELIAN Architecte et ARCADIS Bureau d'Etudes (ex. EEG).

Ce système offre une légèreté et une transparence tout à fait remarquable. En contrepartie, il nécessite des études plus complexes liées au fonctionnement particulier de ces âmes, intermédiaires entre celui d'un caisson à âmes pleines et un treillis.



Coupe longitudinale



Coupes transversales

Ces 2 ouvrages diffèrent cependant sur de nombreux points :

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'élargissement 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 et avec un mode de construction en encorbellement symétrique.

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 câbles de précontrainte extérieure disposés en harpe initialement prévus.

5. ÉTUDES DU TABLIER

5.1. Fonctionnement du tablier

Les âmes ajourées inclinées constituent l'originalité structurelle du tablier en lui conférant un mode de fonctionnement particulier, tout à fait analogue à celui du pont du Vecchio réalisé par l'entreprise Razel en 1997. Les âmes n'étant pas continues, l'effort tranchant ne peut pas cheminer par cisaillement de façon classique tout au long du tablier. La géométrie des panneaux permet cependant d'envisager un fonctionnement assez proche de celui d'un treillis. Cependant la rigidité des panneaux dans le plan des âmes ne permet pas de négliger leur encastrement dans les hourdis et donc d'appliquer la théorie classique du treillis avec montants et diagonales articulés.

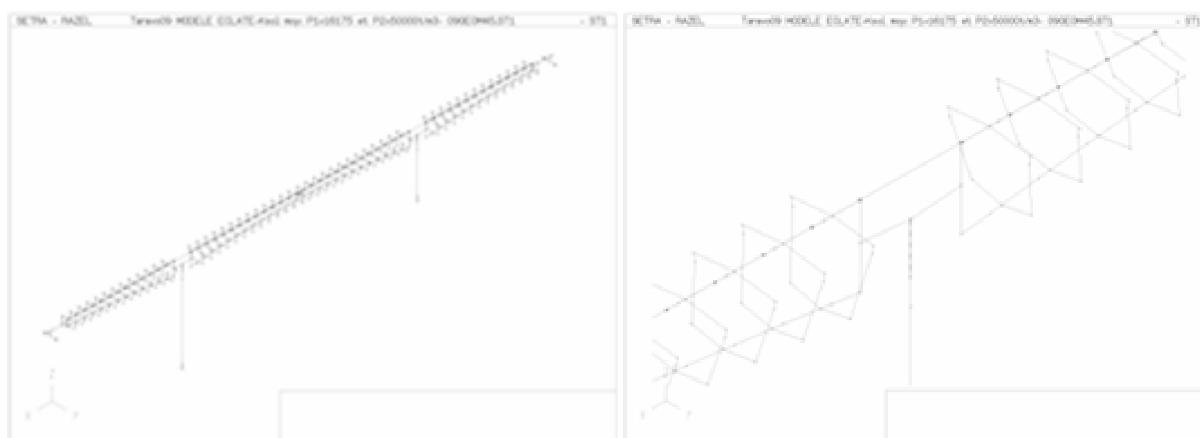
C'est pourquoi l'étude du comportement général à l'effort tranchant d'une poutre à âmes ajourées a été faite par Razel T.&M. en collaboration avec Michel Marchetti, lors de la construction du Pont sur le Vecchio. Basée sur la théorie du « coin élastique » tronqué et sur l'équilibre global du panneau dans le fonctionnement à la flexion de la poutre, cette étude a conduit à mettre au point une méthode de calcul spécifique et des programmes d'application «GS», «EQUIV» et «VERPAN». Cette méthode présente le grand avantage de pouvoir utiliser le programme ST1 du Setra pour la prise en compte du phasage de construction et des effets du fluage du béton, ce que n'aurait pas permis un programme aux éléments finis. Cette méthode, ayant donné toute satisfaction pour Pont du Vecchio a été reconduite pour les études d'exécution du tablier du Pont d'Abra.

5.2. Modèles et programmes de calcul

Deux modèles de calcul à l'aide du programme ST1 du Setra ont été nécessaires :

- le premier modèle est de type « unifilaire 3D ». Pour les éléments « poutre » de ce modèle, l'inertie de flexion prise en compte correspond à celle des deux hourdis seuls, la section réduite à l'effort tranchant équivalente des âmes ajourées étant déterminée par le programme « GS ». Ce modèle, prenant en compte le phasage et les effets du fluage a permis le dimensionnement de la précontrainte longitudinale, la mise au point du tracé des câbles, la vérification des contraintes normales dans les hourdis ainsi que l'établissement de la descente de charges
- le deuxième modèle est appelé « modèle éclaté 3D ». Les hourdis, inférieur et supérieur, sont modélisés par des séries de poutres. Les panneaux gauches et droits sont modélisés, pour chaque âme, par des poutres équivalentes dont la géométrie et les caractéristiques mécaniques sont déterminées par le programme « EQUIV ». Ce modèle permet de tenir compte des barres de précontrainte des panneaux, du phasage précis de construction de chaque voussoir (réalisation du hourdis inférieur, puis mise en place des panneaux préfabriqués, et enfin réalisation du hourdis supérieur), ainsi que du fluage. Le programme « VERPAN » permet à partir des résultats du programme ST1 aux extrémités des poutres des panneaux de vérifier les contraintes « béton », de valider les barres de précontrainte mises en place et de déterminer les armatures passives des panneaux. Les contre-flèches de construction des fléaux ont été calculées avec ce modèle.

Au titre du contrôle externe, un modèle aux éléments finis à l'aide du programme « ANSYS » a permis de valider sur des cas unitaires la méthode de calcul utilisée.



Vues du modèle dit « éclaté »

5.3. Contrôle externe des études

Le contrôle externe des études du tablier a fait l'objet dans son déroulement, de deux contre calculs à partir desquels la validation des résultats de l'étude d'exécution a pu être entérinée.

Un premier modèle, établi à partir du logiciel ST1, nous a permis de valider pour les phases de service et de construction, les descentes de charges ainsi que la distribution des efforts dans le tablier et le piles encastrées.

L'option d'une modélisation filaire éclatée pour la définition de la structure du tablier à été retenue pour ce contre calcul, avec par comparaison avec le modèle de calcul d'exécution, une définition moins détaillé des liaisons âmes hourdis et le choix du maintien d'un comportement de type élément de poutre pour les barres représentatives des âmes.

Le phasage de construction ainsi que la définition de la précontrainte ont été introduit dans le modèle à partir des données du chantier.

Les résultats obtenus a partir de cette modélisation ont montrés une très bonne cohérence avec les calculs d'exécution, permettant ainsi la validation des réactions d'appuis et de la précontrainte à partir des efforts obtenus sur les parties avec âmes pleines du tablier (VSP, clavage, sections coulées sur cintre).

Le tableau ci après donne quelques valeurs de comparaison entre les modèles ST1, de contrôle et d'exécution.

Pile P1	FX (t)	FZ (t)	MY (mt)
Exécution	220 / -99	2604 / 2847	-3525 / -582
Contrôle	226 / -100	2867 / 2917	-3608 / -349

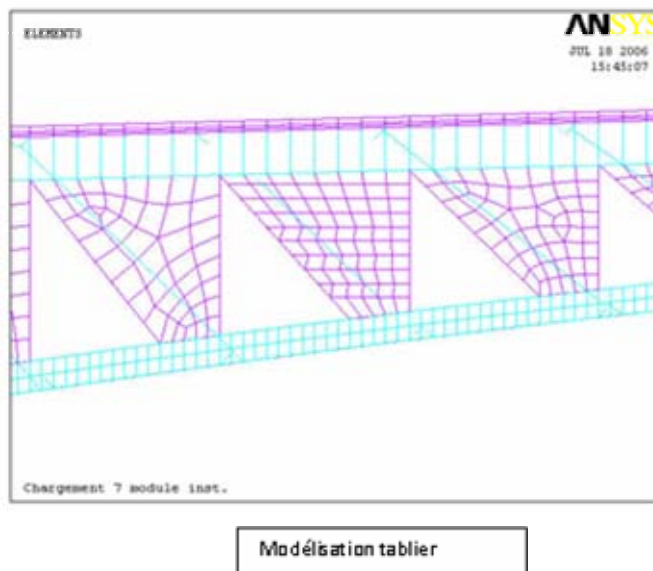
Si le contre calcul ST1 est bien adapté à la validation du comportement d'ensemble de l'ouvrage, il n'est pas représentatif en ce qui concerne l'étude de la distribution des efforts et des contraintes dans les âmes ainsi qu'à la jonction hourdis âmes.

Pour valider les calculs d'exécution, nous avons procédé à une modélisation aux éléments finis de l'ouvrage par l'intermédiaire du logiciel ANSYS.

Deux modélisations ont été établies.

Un modèle complet de l'ouvrage (tablier-appuis-fondations) à partir duquel nous vérifions pour quelques cas de chargements élémentaires, la cohérence avec les résultats ST1des calculs d'exécution (efforts-déplacements).

Une fois ce modèle validé, nous avons isolé un tronçon du tablier, du voussoir V2 à V7, sur lequel nous étudions la distribution des contraintes dans les éléments d'âmes, l'objectif étant la validation du ferrailage déterminé pour les calculs d'exécution à partir de l'enchaînement de différents programmes de calculs.

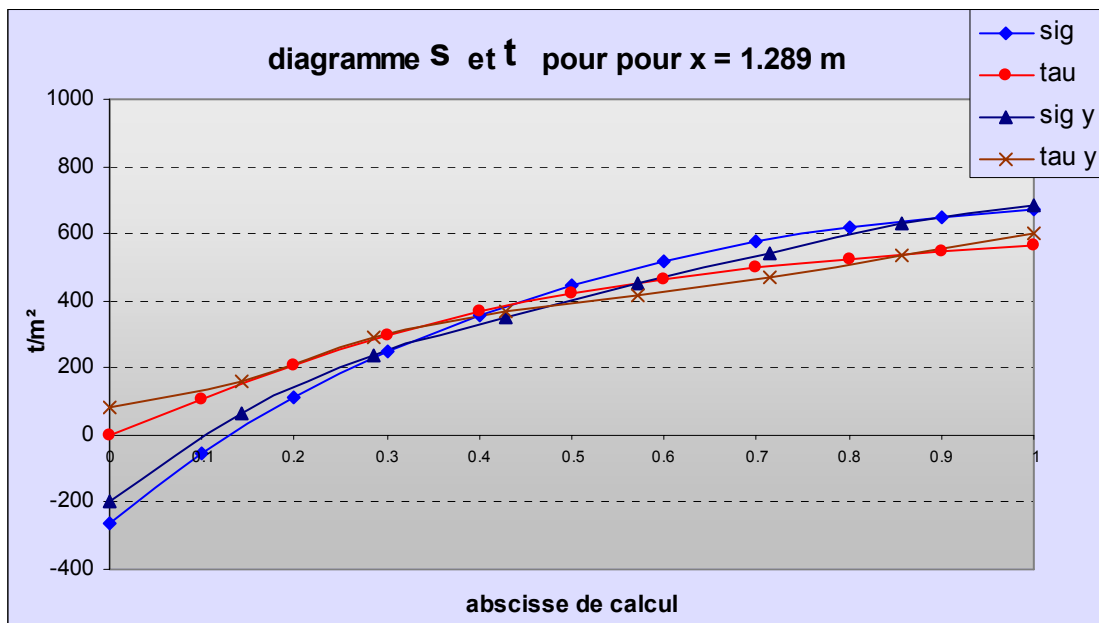


Ces vérifications ont été réalisées en appliquant aux coupures du modèle, les torseurs issus des calculs d'exécution pour des chargements élémentaires.

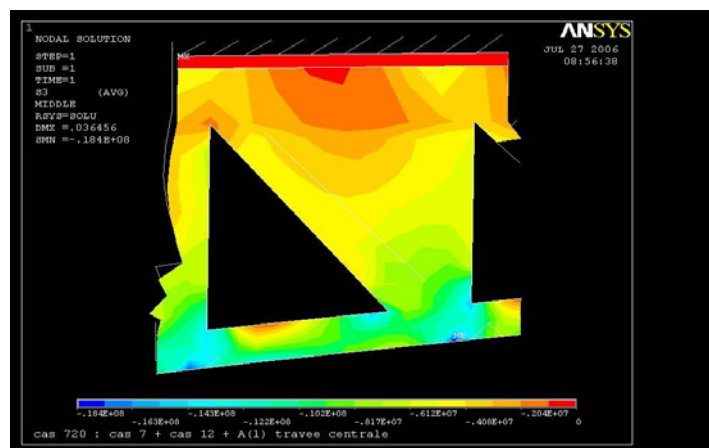
Entre les coupures sont appliquées les charges relatives aux torseurs sur les coupures ainsi que la précontrainte des âmes.

La comparaison de la distribution et de l'intensité des contraintes dans les âmes entre les deux études, c'est traduite sous la forme de graphiques tels que ci après, sur lesquels on trouve les valeurs des contraintes des calculs d'exécution Tau – Sig et celles déduites des calculs ANSYS soit SigZ et Tau y, pour différentes sections de calculs réparties sur la hauteur de l'âme.

Ces comparaisons ont permis de valider les calculs d'exécution du tablier ainsi que le ferrailage et la précontrainte des âmes.



Bilan comparaison des contraintes



Distribution des contraintes dans l'ame

6. DÉROULEMENT DES TRAVAUX

6.1. Réalisation des appuis et des voussoirs spéciaux

Piles

Les fûts des 2 piles caissons, hautes de 18,1m et 31,7m, de 40cm d'épaisseur, ont été réalisés par levées successives de 3,35m de haut, au moyen de coffrages intérieur et extérieur en bois. Le coffrage intérieur reposait sur une plateforme octogonale à rochets de conception classique, manutentionnée à la grue. La plateforme extérieure était autoélevatrice, reposant sur 4 poteaux métalliques à rochets contreventés et eux-mêmes fondés sur la semelle de pile. Le système auto-élevateur était composé de 4 vérins reliés à une centrale hydraulique, permettant le grimpage de la plateforme par pas successifs de 80cm.

Les équipements intérieurs de visite (échelles à crinolines, paliers) étaient mis en place au terme de la construction du fût, avant réalisation du chevêtre.

Les chevêtres, après dépose du noyau de coffrage intérieur ont été bétonnés après pose d'une prédalle formant coffrage perdu en appui sur 2 HEB métalliques engravés dans les parois du fût. (photos 1 & 2)



Voussoirs sur piles

VSP1

- Phase 1 (hourdis inf., longueur 11m): fonds de moules posés sur décintreurs et coffrages de jouées métalliques des équipages mobiles pour les encorbellements du hourdis inférieur avec panneaux coffrant + charpente spécifiques à l'aplomb du chevêtre de pile.
- Phase 2 (âmes et entretoise, longueur 7m): surélévation des outils de phase 1 avec réemploi de l'ensemble des panneaux du coffrage de pile équipés pour la circonstance d'étais de stabilisation pour les âmes + coffrage tunnel du trou d'homme de section trapézoïdale ménagé à travers l'entretoise (longueur 4m)
Pour l'ensemble des phases 1&2, l'ensemble des coffrages est appuyé sur profilés HEB 400 (4 primaires et 2 secondaires) reposant en tête des 4 poteaux de la plateforme autoélevatrice
- Phase 3 (hourdis sup. et entretoise, longueur 5,4m): après dépose des outils de phase 1 & 2, mise en place des coffrages d'encorbellements d'équipages mobiles + vaux spéciaux complémentaires en bois
Les 2 coffrages d'encorbellements prennent appui sur 2 chevêtres transversaux étayés sur les encorbellements du hourdis inférieur de phase 1. (photos 3, 4, 5)



VSP2

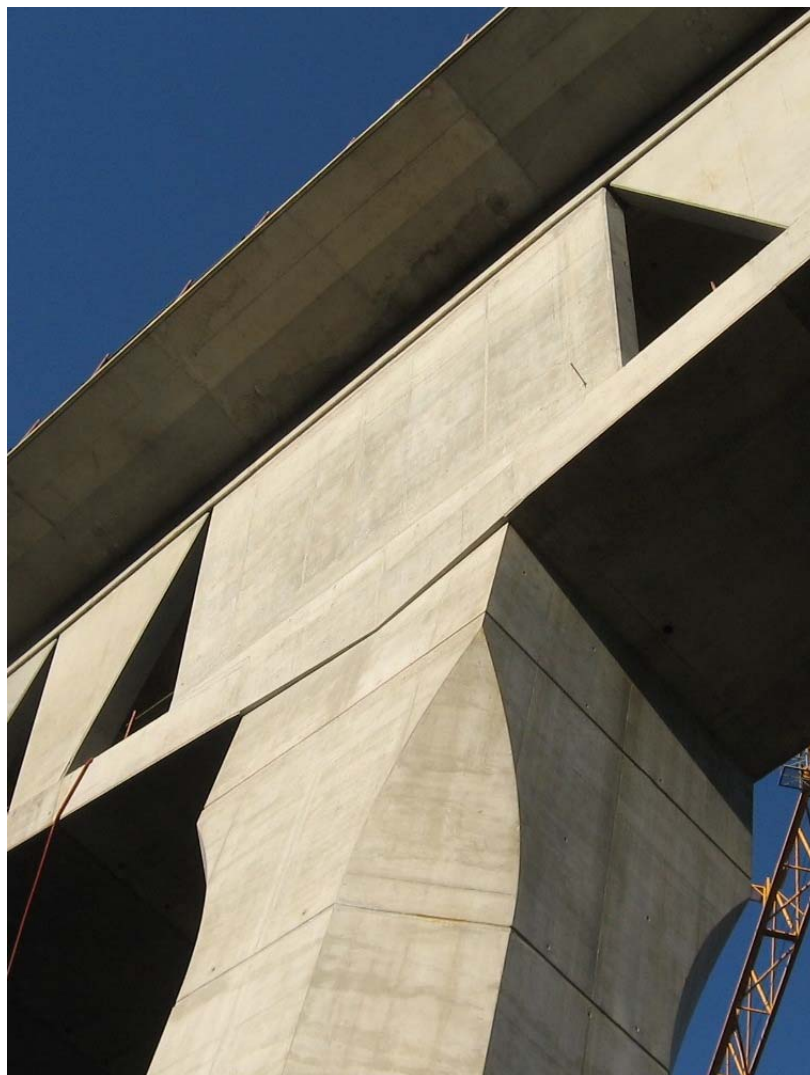
Afin réaliser le VSP2 entièrement en temps masqué (hors chemin critique) simultanément à la réalisation des voussoirs du 1er fléau, un outil spécifique (entièrement bois) a été conçu. Le phasage reste cependant identique à celui du VSP1.

Phases 1, 2, 3 : lot de coffrages bois intérieurs et extérieurs de grandes dimensions, décomposé en :

- Coffrage hourdis inférieur : 2 fonds de moules
- Coffrage extérieurs : 5 paires de banches de 2,5m de long
- Coffrage intérieur : 2 paires de banches en « L » + 2 vaux complémentaires pour le coffrage de l'entretoise



Les banches et fonds de moules extérieurs reposent sur une plateforme générale de 14m*12m supportée par un étalement. (hauteur : 30m) appuyé sur la semelle (photos 6, 7, 8)



Construction sur cintre des voussoirs de travées de rive

L'achèvement du tablier en extrémité de chaque travée de rive se décompose en 2 voussoirs (sur culée, Lg. 1,85m et sur cintre, Lg. 3,60m) construits au moyen de coffrages bois sur étalement général.

Ces voussoirs spéciaux, de hauteur constante (2,65m) et à âmes pleines, sont entièrement bétonnés en place. Leur réalisation comporte 2 phases : hourdis inférieur, puis âmes et hourdis supérieur.

Côté C0, ces voussoirs (ainsi que celui de clavage) ont été réalisés après achèvement complet des voussoirs courants par encorbellements successifs. (photo 9)



Côté C3, la réalisation de ces voussoirs a été anticipée et achevée (décoffrage et démontage partiel de l'étalement compris) simultanément à la 12ème paire de voussoirs courants afin de dégager le gabarit nécessaire à l'avancement des poutres de l'équipage mobile côté rive pour exécuter la 13ème (dernière) paire de voussoir.

Le voussoir de clavage a ensuite été entièrement réalisé au moyen de l'équipage mobile par «sur-encorbellement», en transférant le poids du voussoir sur l'étalement partiellement démonté (photos 10, 11).



6.2. Phasage, réalisation et suivi des fléaux

Le phasage de réalisation du tablier adopté est le suivant :

- réalisation du VSP1
- réalisation du fléau 1 et du VSP2,
- réalisation du fléau 2, des VSC0 et VSC3
- réalisation successive des 3 voussoirs de clavage : VSC0/fléau 1, VSC3/fléau 2, fléau1 / fléau 2

La construction de chacun des 2 fléaux s'est effectuée par encorbellements successifs de 13 paires de voussoirs de 3,35m de long. La hauteur des voussoirs varie paraboliquement de 6,5m à 2,65m. Les 104 panneaux d'âmes de l'ensemble des 2 fléaux, d'un poids unitaire de 8,3 t à 2,4 t ont été préfabriqués pendant la construction du fléau 1 et du VSP2 sur une plateforme spécifiquement aménagée au pied de la pile P1.

Les équipages mobiles

La paire d'équipages mobiles a été conçue pour tenir compte du phasage spécifique de réalisation des voussoirs dû en particulier à l'intégration dans le cycle de la mise en place des âmes préfabriquées.



Chaque équipage, de type « par en-dessous », comprend les ensembles suivants :

ossature porteuse composée de 2 poutres treillis latérales, reliées par une poutre/passerelle transversale avant. Les poutres treillis principales et avant sont suspendues à une structure en « C » au moyen de tiges précontraintes tout au long de la réalisation du voussoir, hormis lors des phases de translation. Dans cette phase particulière, l'ossature vient alors en appui sur les ailes du C et en butée arrière sous le hourdis au moyen de galet.

L'avancement d'équipage s'effectue sur 4 rails placés sur le tablier, par l'intermédiaire de 2 vérins longue course situés à l'intérieur du caisson. Ces vérins, en poussant la poutre avant, entraînent les poutres principales et le « C » qui glisse dans les rails de part et d'autre des âmes par l'intermédiaire de 8 patins en azobé graissés.

coffrage de hourdis supérieur

Les tables extérieures de coffrage des encorbellements et des nervures prennent appui sur les poutres principales et sur une poutre latérale auxiliaire par l'intermédiaire de vérin à vis.

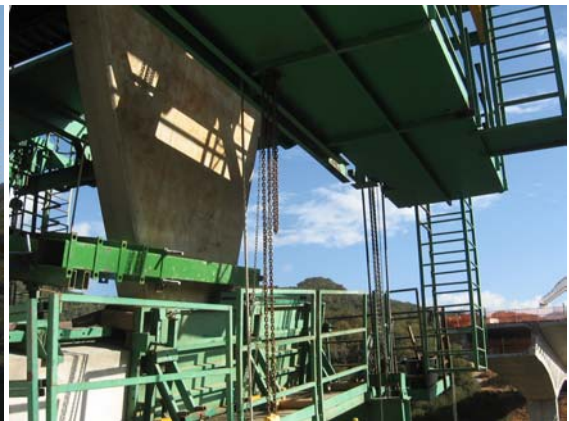
La table intérieure prend appui sur 2 poutres tiroirs reposant sur la poutre transversale avant de l'équipage et suspendues à l'arrière au voussoir précédent. Ces poutres longitudinales sont jumelées aux vérins d'avancement longue course.

coffrage de hourdis inférieur (fond de moule)

En phase d'avancement d'équipage, les poutres du coffrage sont suspendues aux poutres treillis principales par 4 palans à chaînes de 5T.

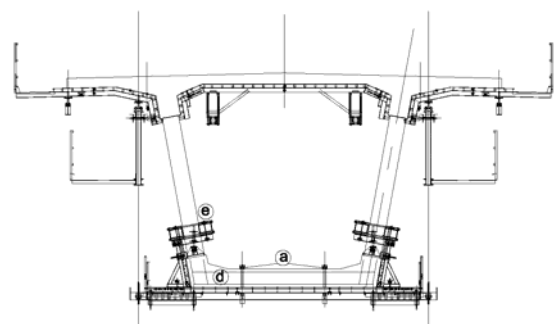
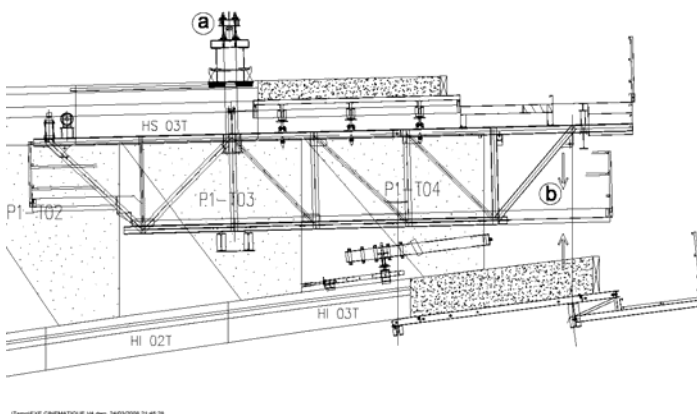
En phase de réalisation du voussoir, les poutres avant restent suspendues aux poutres treillis principales par 2 paires de tiges actives. La poutre arrière est par contre brêlée au béton du précédent voussoir par 4 tiges passives.

Les 2 jouées sont coffrées au moyen de coffrages latéraux bridés au fond de moule. Compte tenu de la variation d'épaisseur du hourdis inférieur, une règle calée par vis permet de coffrer précisément l'arase supérieure de la nervure, débordant de 50mm par rapport aux âmes. Les panneaux d'âmes venant en butée contre ces règles, les excroissances de nervures doivent être bétonnées « en aveugle ». Des réservations ménagées dans le profil permettent d'assurer la vibration du béton au moyen d'aiguilles de petit diamètre et de s'assurer à la fois du bon enrobage du pied de panneau et du remplissage correct de l'excroissance (photos 12, 13)



Fonctionnement et cycle correspondant

Comme pour le pont du Vecchio, il a été très tôt décidé de dissocier la réalisation des hourdis (coulés in situ) de celle des âmes (préfabriquées). L'un des avantages apportés par cette solution était l'allègement des équipages, le poids des âmes étant directement reporté sur le béton de nervures du voussoir précédent. Pour effectuer cette opération, chaque âme était enserrée par une « pince » disposant équipée d'un dispositif d'appui et de réglage sur le voussoir précédent.



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 encoffrements) 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 12,5t, retension 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)

Les résistances avant décoffrage et mise en tension pour les différentes phases étaient contrôlées par maturométrie. Un effectif de 12 personnes était affecté à la réalisation des voussoirs de fléau, hors préfabrication des âmes. (photos 14, 15)



Contrôle de la géométrie des fléaux

La géométrie réelle d'ensemble de fléau était relevée à chaque voussoir, avant ensoleillement du tablier et avancement d'équipage, pour comparaison avec les niveaux théoriques définis au droit de chaque nœud de calcul. Ces niveaux sont fournis par la « pyramide » de construction qui présente les résultats de l'évolution géométrique attendue pour un état donné, calculée en fonction d'un phasage et du calendrier prévisionnels précis établis par le chantier. Les écarts obtenus permettent d'apporter les corrections, calculées si nécessaire, au voussoir suivant.

Organisation des clavages

Les mesures prises pour la réalisation des clavages sont les suivantes :

- Arrosage du hourdis pour limiter efficacement le gradient de température entre hourdis
- Bétonnage matinal avant lever du soleil (gradient nul)
- Mise en tension de la précontrainte éclisse en fin d'après-midi

Compte tenu de l'amplitude de déformation de fléau mesurée, les cintres sous clavages de rives ont été calés plusieurs centimètres sous le théorique afin de ne subir aucun surchargement par contact avec le fléau. Le cintre a été mis au contact du dernier voussoir de fléau au moment de la journée correspondant au gradient thermique maximal.



Pour ce qui est du clavage central, après réalisation du dernier voussoir courant, l'équipage a été avancé et suspendu à l'avant au fléau afin que les déformations instantanées sous le poids du béton et de l'équipage s'équilibrent entre les 2 fléaux. (photo 16)



Voussoir d'essais

Les épreuves de convenance comportaient la réalisation d'un demi voussoir témoin à âme ajourée au moyen de l'équipage mobile, dans des conditions représentatives des difficultés du chantier en vue de s'assurer du bon remplissage des nervures en sous-œuvre des âmes préfabriquées et de l'obtention de la qualité requise des parements.

Ce 1/2 voussoir a permis de déceler en amont les principales difficultés prévisibles et adapter notamment la cinématique, les armatures, les coffrages d'équipages.
(photos 17, 18)



6.3. Organisation et spécificités du chantier

Etude, transport et approvisionnement des bétons

Sur la base du CCTP, une formule « appuis » et une formule « voussoirs » ont été étudiées au laboratoire de GTM Construction ; les épreuves de convenance ayant eu lieu en centrale. 2 formules dérivées ont été mises au point pour les pièces massives (semelles, chevêtres, VSP).

Les contraintes principales étaient les suivantes :

- Durée pratique d'utilisation de 2h30 au minimum (durée de route : 1h30 environ)
- Obtention de résistances élevées au jeune âge pour respecter les cycles de construction des voussoirs (23 MPa à 20h) Bétonnages par temps chaud

Le bétonnage des pièces massives était effectué de nuit afin que l'échauffement du béton à cœur des pièces ne dépasse pas 70°C

Grâce à l'étude en amont du chantier de formules de base et de formules dérivées performantes, à l'implication des laboratoire et fournisseur, les critères de résistance et de maintien de rhéologie ont été respectés tout au long du chantier (photos 19).



Préfabrication des âmes

Pour la préfabrication des 4 âmes correspondant à chaque paire de voussoirs, il a été conçu et fabriqué sur chantier une table comportant 4 moules entièrement métalliques et modulaires permettant de régler l'outil suivant la dimension des âmes en fonction de leur position dans le tablier (52 géométries différentes).

Avant mise en place de chaque âme, celle-ci était tout d'abord équipées avec :

- les 4 barres de précontrainte, plaques d'ancrages, événements d'injection
- les armatures de frettages hauts et bas autour des ancrages
- la cage d'armatures du demi-hourdis inférieur du voussoir correspondant
- les poutres de soutien et réglage d'âme dans l'équipage, brêlées à l'âme par serrage au couple des tiges

Une équipe de 4 personnes était entièrement dévouée à la préfabrication et équipement des âmes (photos 20).





7. PRINCIPAUX INTERVENANTS ET CHIFFRES

7.1. Intervenants

Conduite d'opération :	Service Ouvrage d'Art de la Collectivité Territoriale de Corse
Maitrise d'œuvre (conception, réalisation) :	ARCADIS - TECHNI ROUTE CORSE – ECEP - SILENE
Architecte :	MIKAELIAN
Entreprises :	GTM GCS, RAZEL, CORSE TRAVAUX
Bureau d'études :	RAZEL T&M (tablier), BET GTM (appuis)
Implantations et suivi géométrique :	TOPOSUD
Armatures :	SAMT
Appareils d'appuis et barres de précontrainte HSA:	ETIC
Conception et fabrication des équipages mobiles :	SEMI / Ateliers Brivadois + Metalfarm
Conception et fabrication du coffrage bois du VSP :	GRADEL Coffrages spéciaux
Conception et fabrication des coffrages de longrines :	CLRM
Contrôle externe ouvrages provisoires :	RAZEL T&M (équipes)
Etalement, & plateformes de VSP et VSC:	MILLS
Fourniture des bétons :	Société des Bétons Ajacciens (SBA)
Formulation des bétons :	GTM DITC
Laboratoire de contrôle des bétons :	Laboratoire DDE
Instrumentation :	S.A.S. ARGOTECH – VIRLOGEUX Michel

7.2. Le Pont en quelques chiffres

- Longueur : 204m (3 travées de 54m, 96m, 54m)
- Hauteur : 43m
- Surface de tablier : 2160 m²
- Bétons : 2500 m³
- Armatures : 350 t
- Précontrainte : 80 t
- Montant du marché : 8,8 M€

