

LA RÉUNION - ROUTE DES TAMARINS – VIADUCS DE LA SAVANE

ROUTE DES TAMARINS - VIADUCTS OF THE SAVANNA

Iliès AMAMI, Jacques DAQUIN, Christophe MAÎTRE, Jacques MOSSOT

demathieu & bard



1. PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Le groupement d'entreprises demathieu & bard (mandataire) et Grands Travaux de l'Océan Indien (G.T.O.I.) a été déclaré adjudicataire du marché des viaducs de la Savane le 12 octobre 2004.

Ces ouvrages sont situés sur la partie de la route des Tamarins dont la direction départementale de l'Équipement de la Réunion, service des Grands Travaux a la maîtrise d'œuvre.

1. GENERAL PRESENTATION

The consortium made of demathieu & bard (leader) and Grands Travaux de l'Océan Indien (G.T.O.I.) was awarded the "Viaducts of the Savanna" contract on October 12, 2004.

These structures are located on the portion of the "Route des Tamarins" where the Réunion's Departmental Office of Equipment, Large-Scale Project Department, is the project manager.

En phase d'appel d'offres, les ouvrages comprenaient deux viaducs à deux tabliers parallèles en béton précontraint construits par encorbellement à partir des piles – les viaducs de Fleurimont côtés Montagne et Mer et de Bras Boucan Canot côtés Montagne et Mer - et deux ponts-dalles à larges encorbellements en béton précontraint construits sur étalement et cintres, les ouvrages de Petit Bras Canot.

Dans son offre, le groupement d'entreprises a proposé :

- de transformer les ponts-dalles en ponts à tabliers mixtes acier-béton de type bipoutre. La charpente métallique de cette variante a été réalisée par l'entreprise Berthold,
- de limiter les longueurs des parties sur cintres à proximité des culées en modifiant le découpage en voussoirs.

L'ordre de service de commencer les travaux a été donné le 17 janvier 2005, à la fin de la période de préparation de 3 mois.

Le délai de réalisation est 32 mois, y compris la période de préparation.

Les portées des ouvrages en béton précontraint sont les suivantes :

- viaduc de Fleurimont Montagne : 32 – 46 – 62 – 62 – 37 m
- viaduc de Fleurimont Mer : 45 – 62 – 62 – 45 m
- viaduc de Boucan Canot Montagne : 37 – 62 – 62 – 62 – 50 – 35 m
- viaduc de Boucan Canot Mer : 50 – 62 – 62 – 50 – 35 m

Les axes d'implantation sont définis sur des courbes :

- viaduc de Fleurimont Montagne : cercle de rayon 975 m
- viaduc de Fleurimont Mer : cercle de rayon 945 m
- viaduc de Boucan Canot Montagne : alignement droit, clothoïde et cercle de rayon 596,530 m
- viaduc de Boucan Canot Mer : alignement droit, clothoïde et cercle de rayon 590 m

Les dévers sont variables entre 0 et 3,2 %.

Autres particularités du site :

- l'île de la Réunion a été créée par une activité volcanique de point chaud. Elle est située dans une zone de sismicité 0.

In the request for proposals phase, the structures consisted of two viaducts with two parallel decks made of prestressed concrete built by cantilevering from the piers – the Fleurimont (Mountain and Sea sides) and Bras Boucan Canot (Mountain and Sea sides) Viaducts – and two bridge slabs with cantilevers made of prestressed concrete on falsework and scaffolds, the structures of Petit Bras Canot.

In its proposal, the consortium proposed :

- *changing the slab deck bridges into composite bridges with two steel beam decks. The metallic superstructure of this alternative proposal was made by the Berthold Company ;*
- *limiting the lengths of the parts on scaffolds near to abutments by altering the subdivision into segments.*

The official order to start the work was given on January 17, 2005, at the end of a preparation period of 3 months.

The overall work period will last 32 months, including the preparation period.

The prestressed concrete structures have the following spans :

- *Fleurimont Montagne Viaduct (mountain side): 32 – 46 – 62 – 62 – 37 m*
- *Fleurimont Mer Viaduct (sea side): 45 – 62 – 62 – 45 m*
- *Boucan Canot Montagne Viaduct (mountain side): 37 – 62 – 62 – 62 – 50 – 35 m*
- *Boucan Canot Mer Viaduct (sea side): 50 – 62 – 62 – 50 – 35 m*

The arrangement axes are defined on the curves :

- *Fleurimont Montagne Viaduct: 975 m radius circular building line*
- *Fleurimont Mer Viaduct: 945 m radius circular building line*
- *Boucan Canot Montagne Viaduct: straight line, clothoid stretch and 596.530 m radius circular line*
- *Boucan Canot Mer Viaduct: straight line, clothoid line and 590 m radius circular building line*

The transversal slopes vary between 0 and 3.2 %.

Other special features of the site :

- *Réunion was created by hot point volcanic activity. It is located in a no earthquake area.*

- l'île est située dans une zone soumise aux cyclones pendant la période allant du 15 décembre au 15 avril.

La pression horizontale du vent sur l'ouvrage en phase travaux et en phase de service a été prise égale à 4000 N/m².

Pour les équipements, les effets du vent ont été calculés en appliquant les Règles Neige et Vent dans leur dernière version pour une zone 5, soit un vent de 240 km/h.

Le CCTP définit les intensités limites des intempéries et autre phénomènes météorologiques naturels pour le mode d'évaluation des ouvrages.

2. RÉALISATION DES VIADUCS EN BÉTON PRÉCONTRAINT

2.1 Piles

Les piles sont fondées superficiellement.

Elles sont creuses et rectangulaires. Elles ont un fruit constant de 1 horizontalement pour 30 verticalement sur les 4 faces.

Les parois sont matricées et ont une épaisseur minimale constante sur toute la hauteur de 450 mm.

Les piles sont réalisées par levées de 4,50 m.

Les chevêtres ont une épaisseur totale de 4,50 m. Ils sont évidés longitudinalement dans l'axe de la pile sur une profondeur de 1,500 m avec une largeur en tête de 2,300 m et de 1,600 m dans la partie inférieure.

Les dimensions en plan des chevêtres en tête des piles sont égales à 6,300 m par 3,000 m sur toutes les piles.

Pour permettre une réalisation des différentes parties des ouvrages selon les seules contraintes du chantier, le groupement d'entreprises a choisi de monter une centrale à béton sur le site.



Photo 2 : Centrale à béton sur le site
Concrete batching and mixing plant on the site

- The island is located in an area swept by cyclones from December 15 to April 15.

The wind's horizontal pressure on the structure in the work phase and in the operating phase was taken equal to 4000 N/m².

For the equipment, the wind's stress forces were calculated by applying the Snow and Wind Regulations in their latest version for a class 5 area, that is, a wind of 240 km/h.

The Special Technical Project Specifications (CCTP) defines the bad weather limit intensities and other natural weather phenomena for the structures evaluation mode.

2. CONSTRUCTION OF THE PRESTRESSED CONCRETE VIADUCTS

2.1 Piers

The piers are found on spread footings.

They are hollow and rectangular. They have a constant batter of 1 horizontally to 30 vertically on the 4 faces.

The walls are die-cast molded and have a constant minimum thickness of 450 mm over their entire height.



Photo 1: Construction of a pier
Réalisation d'une pile

The piers are made by 4.50 m rises.

The pier top slabs have a total thickness of 4.50 m. They are axially grooved in the pier's axis to a depth of 1.500 m, with a head (top) width of 2.300 m and a width of 1.600 m in the lower part.

2.2 Appareils d'appui et stabilisation du fléau en phase de construction

Les appareils d'appui sont du type appareils d'appui à pot de 9000, 13000 ou 14 000 KN sur piles, 5000 KN sur culées.

La stabilité des fléaux en phase de construction est assurée par des appuis provisoires et des câbles de précontrainte de stabilité.

La stabilité des fléaux, et en particulier la précontrainte de clouage, est justifiée par application du guide de conception du SETRA « Ponts en béton précontraint construits par encorbellements successifs » de juin 2003.

Par rapport aux règles définies dans le Complément du Bulletin Technique n°7 du SETRA, les nouvelles règles de justification imposent de dimensionner la précontrainte en vérifiant le non décollement total sur chacun des appuis provisoires sous les combinaisons d'équilibre statique.

La stabilité est assurée grâce à 6 câbles 19T15S Classe 1860 d'environ 8,40 m de longueur, ancrés d'un côté sur l'extrados du tablier dans des plots d'ancrage préfabriqués et de l'autre sous le chevêtre.

Les dimensions laissées libres en tête des piles sont assez faibles (deux rectangles de 2 m transversalement par 3 m longitudinalement). La place occupée par les appuis provisoires et des appuis définitifs en phase de construction ne permet pas de disposer des vérins en tête des piles.

Le groupement avait proposé de réaliser les fléaux sur des appuis constitués de boîtes à sable. Les calculs menés en appliquant les nouvelles règles du SETRA donnant des contraintes de compression importantes sur ces boîtes à sable, l'entreprise a proposé de réaliser ces appuis provisoires en béton armé et de prévoir des appuis à pot injectables.

Cette solution autorise un vérinage du tablier pour retirer les blocs de béton sans utilisation de vérins hydrauliques. Elle peut permettre, si nécessaire, de compenser des petits tassements.

2.3 Tabliers

Les fléaux sont découpés en :

- voussoirs sur pile : 8 m de longueur
- voussoirs courants : 3,20 m de longueur
- voussoirs de clavage : 2,80 m de longueur environ

Le découpage des fléaux de 62 m de longueur est donc de 1 voussoir sur pile, 16 paires de voussoirs courants et 1 voussoir de clavage de 2,80 m.

The plane dimensions of the top slabs of the piers are 6.300 m by 3.000 m on all the piers.

To allow the various parts of the structures to be built only according to the worksite's requirements, the consortium decided to install a concrete batching and mixing plant on the site.

2.2 Support and stabilization devices for cantilevering in the construction phase

The support devices are pot support bearings of 9000, 13000 or 14 000 KN on piers, and 5000 KN on abutments.

The stability of the cantilevers during their construction is ensured by temporary supports and prestressed stability cables.

The stability of the cantilevers and, in particular, the vertical prestressing cables are justified by application of the SETRA Design Guide of June 2003, entitled "Prestressed concrete bridge building by successive cantilevering".

With respect to the rules defined in the SETRA Technical Bulletin No. 7 Complement, the new justification rules impose dimensioning the stability prestressing cables by verifying the non-separation on each of the temporary supports under the various combinations of static equilibrium.

Stability is ensured thanks to 6 x 19T15S cables of Class 1860 having a length of approximately 8.40 m anchored on one side to the deck's extrados in the prefabricated anchoring blocks and on the other side under the pier top slabs.

The dimensions left free at the top of the piers are rather small (two rectangles of 2 m radially by 3 m axially). The space occupied by the temporary supports and the final bearings in the construction phase do not allow placing jacks on the pier heads.

The consortium had proposed to build cantilevers on the supports made of sand boxes. Since the calculations carried out by applying the new SETRA rules gave high compression forces on these sand boxes, the company proposed to make these temporary supports out of reinforced concrete and provide for injectable pot bearings.

This solution authorizes a jacking up of the deck to remove the concrete blocks without using hydraulic jacks. It can allow, if necessary, compensating for small settlements.

2.3 Decks

The cantilevers are subdivided into :

- pier segments : length of 8 m
- ordinary segments: length of 3.20 m
- key segment : approximately a length of 2.80 m

La hauteur du tablier est égale à 2,80 m, soit un élanement de 1/22,1.

Les premiers calculs faits par le bureau d'études ont montré que les contraintes de cisaillement dans les âmes étaient trop importantes. Le Maître d'œuvre a choisi d'épaissir les âmes à 600 mm et de descendre deux paires de câbles de fléau dans les âmes des deux premières paires de voussoirs courants pour réduire l'effort tranchant.

L'épaisseur minimale des hourdis supérieur et inférieur est de 250 mm.

La largeur des voussoirs est constante et égale à 13,80 m.

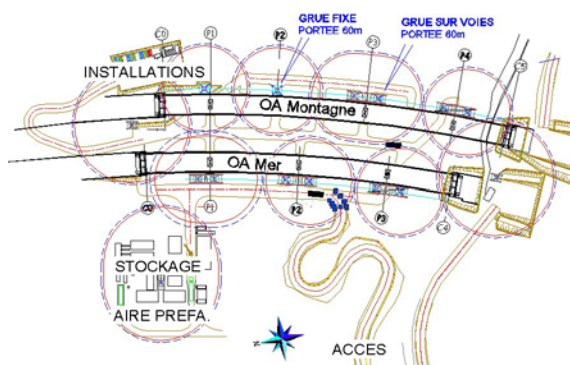


Figure 1 : Vue en plan des installations de chantier des viaducs de Fleurimont. / Bird's eye view of the worksite facilities of the Fleurimont Viaducts

Le planning de chantier nécessite la mise en place de 4 grues à tour pour permettre la réalisation de 4 fléaux en même temps. Les tabliers côté Montagne et côté Mer sont réalisés simultanément

Pour pouvoir monter les deux équipages mobiles, de part et d'autre d'une pile, en même temps, le chantier a choisi de réaliser un voussoir sur pile de 8 m de longueur.

Les voussoirs sur pile sont réalisés sur une plateforme suspendue en tête de cheville de pile permettant la mise en place de leurs coffrages extérieurs.

Au droit des têtes de pile, le chantier a choisi de coffrer la partie inférieure du voussoir sur pile à l'aide d'une prédalle collaborante.

Cette prédalle est posée sur les 4 appuis provisoires assurant l'encastrement du fléau en phase de construction sur la tête de pile.

Les appareils à pot servant à l'appui du tablier en phase d'exploitation sont posés en même temps que les appuis provisoires.

The 62 m long cantilevers are therefore subdivided into 1 pier segment, 16 pairs of current segments and 1 key segment of 2.80 m.

The deck's height is equal to 2.80 m, that is, a slenderness of 1/22.1.

Initial calculations made by the design & engineering department showed that the shearing force values in the webs were too important. The Designer decided to thicken the webs to 600 mm and to lower two pairs of cantilever cables into the webs of the first two pairs of ordinary segments in order to reduce the shear force.



Photo 3: Overall view of the worksite
Vue d'ensemble du chantier

The upper and lower slabs have a minimum thickness equal to 250 mm.

The segments top slab have a constant width equal to 13.80 m

The worksite schedule will require installing 4 tower cranes to allow making 4 cantilevers at the same time. The decks on the mountain and the sea sides viaducts will be simultaneously built.

In order to be able to mount the two formwork travellers on either side of a pier at the same time, the worksite management decided to build a 8 m long pier segment.

The pier segments are constructed on a platform suspended from the head of the pier top slabs, allowing the placement of their external formworks.

Right below the pier heads, the worksite management decided to realise the lower part of the pier segment by using an associated precast slab.

This precast slab is laid on 4 temporary supports ensuring the cantilever's embedding on the pier head in the construction phase.

The pot bearings used to support the deck in the service phase are placed at the same time as the temporary supports.



Photo 4 : Pose de la dalle préfabriquée servant de fond de coffrage du voussoir sur pile au droit de l'entretoise / *Laying of the prefabricated slab serving as the formwork bottom of the segment on pile right below the staying cable*

Après le montage des coffrages extérieurs et du ferrailage, chaque voussoir sur pile est bétonné en deux autres phases :

- bétonnage de la partie inférieure, jusqu'à la partie inférieure de la nervure transversale supérieure dans laquelle sont ancrés les câbles de précontrainte extérieure,
- bétonnage de la partie supérieure du voussoir sur pile comprenant les tubes déviateurs et les ancrages de la précontrainte extérieure.

Le chantier a prévu deux outils (plateformes et coffrages) pour la réalisation des VSP et deux paires d'équipages mobiles.



Photo 7 : Montage des équipages mobiles. *Mounting the formwork travellers*

Les voussoirs sont bétonnés à la benne.



Photo 5: Platform and external formwork of the pier segment / *Plateforme et coffrage extérieur du voussoir sur pile*



Photo 6: Reinforcement of a pier segment. *Ferrailage d'un voussoir sur pile*

After assembling the external formworks and reinforcement, each pier segment is concreted in two other phases, that is :

- concreting of the lower part down to the lower section of the upper radial rib in which the external prestressing cables are anchored ;
- concreting of the upper part of the pier segment, including the deviation tubes and the anchorages of the external prestressing cables.

The worksite management provided for two tools (platforms and formworks) in order to construct the pier segments and two pairs of formwork travellers

The segments are concreted by bucket.



Photo 9 : Bétonnage d'un voussoir.
Concreting a segment



Photo 8: Cantilever construction.
Fléau en cours de construction



Photo 11: Vues d'ensemble du viaduc de Fleurimont à la fin de la construction du tablier.
Overall views of the Fleurimont Viaducts at the end of the deck construction.



Photo 10: Reinforcement of a part on falsework.
Ferrailage d'une partie sur cintre du tablier

La précontrainte se répartit entre trois familles de câbles :

- la précontrainte de fléau intérieure au béton en câbles 12T15S de classe 1860,
- la précontrainte de clavage intérieure au béton en câbles 12T15S,
- la précontrainte de continuité extérieure au béton en câbles 19T15S.

Après le clavage du fléau avec le fléau précédent ou la partie bétonnée sur cintre pour les travées de rive, les opérations de construction suivantes sont :

- mise en tension des câbles éclisse intérieurs au béton,
- détension des câbles de clouage,
- mise sur appuis définitifs par injection d'environ 10 mm des appuis à pot injectables pour enlever les appuis provisoires.

The prestressing cables are distributed among three cable families :

- the 12T15S class 1860 cables for cantilever prestressing inside the concrete ;
- the closure prestressing inside the concrete with 12T15S cables ;
- continuity external prestressing with 19T15S cables.

After closure the last-built cantilever with the previous one or the concreted part on scaffolds for the end spans, the following building operations are :

- tensioning the internal span closure cables ;
- loosening the vertical stabilisation cables ;
- putting above the injectable pot bearings and then jacking up approximately 10 mm the support devices so that the temporary supports can be removed.

3. QUANTITÉS PRÉVISIONNELLES PRINCIPALES DES VIADUCS

	Fleurimont	Bras Boucan Canot
Béton du tablier	5000 m ³	6150 m ³
Béton des appuis	4600 m ³	6650 m ³
Précontrainte :		
- intérieure	101 t	126 t
- extérieure	58 t	74 t
Armatures	1430 t	2120 t

Tableau 1 : Quantités principales

4. PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage :

- Région Réunion
- Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement

Maître d'œuvre :

Direction départementale de l'Équipement de la Réunion - Service des Grands Travaux

Architectes : Yves Faup, Frédéric Zirk, Pierre Dezeuze

Concepteur : Arcadis – Agence de Toulouse

Entreprises :

- demathieu & bard (mandataire)
- Grands Travaux de l'Océan Indien - GTOI

Bureau d'études : SECOA

Autres sous-traitants :

- charpente métallique : Berthold
- béton : fabrication par le chantier
- armatures passives : SAMT
- précontrainte : Spie Précontrainte et VSL
- appareils d'appui : ETIC
- coffrages des piles : BS Industrie
- coffrages des voussoirs sur pile : Simpra
- équipages mobiles : ERSEM

3. MAIN ESTIMATED QUANTITIES OF THE VIADUCTS

	Fleurimont	Bras Boucan Canot
Deck concrete	5000 m ³	6150 m ³
Substructure concrete	4600 m ³	6650 m ³
Prestressing :		
- internal	101 t	126 t
- external	58 t	74 t
Reinforcement	1430 t	2120 t

Table 1: Main quantities

4. MAIN PARTICIPANTS

Owner / Builder:

- Réunion Region
- Ministry of Equipment, Transport and Housing

Project manager:

Réunion Departmental Office of Equipment – Large Scale Project Department

Architects: Yves Faup, Frédéric Zirk, Pierre Dezeuze

Designer : Arcadis – Toulouse Agency

Construction Companies

- demathieu & bard (leader)
- Grands Travaux de l'Océan Indien - GTOI

Design & Engineering Department : SECOA

Other subcontractors :

- steel girders : Berthold
- concrete : made by the worksite
- reinforcement : SAMT
- prestressing : Spie Précontrainte, VSL
- injectable pot bearings : ETIC
- formworks of the piers : BS Industrie
- formworks of the pier segments : Simpra
- formwork travellers : ERSEM