CONSTRUCTION DU VIADUC DE LA GRANDE CHALOUPE - NOUVELLE ROUTE DU LITTORAL

AUTEURS : DIDIER KOENIG, DIRECTEUR DE DÉPARTEMENT OUVRAGE D'ART, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - CHRISTOPHE OUTTERYCK, DIRECTEUR DE PROJET ADJOINT, EGIS JMI - PHILIPPE LECOQ, DIRECTEUR DE CHANTIER VGC, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - PHILIPPE ROUSSOT, CHEF DE PROJET VGC, EGIS - SIMON BONTHONNEAU, INGÉNIEUR MÉTHODES, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - THIBAUT CESTERO, RESPONSABLE PRODUCTION, RAZEL

LE VIADUC DE LA GRANDE CHALOUPE EST L'OUVRAGE DU LOT MT4 DU PROJET DE LA NOUVELLE ROUTE DU LITTORAL (NRL) SUR L'ÎLE DE LA RÉUNION. LA RÉGION RÉUNION, MAÎTRE D'OUVRAGE, EN A CONFIÉ LA MAÎTRISE D'ŒUVRE À EGIS. EIFFAGE GÉNIE CIVIL EST MANDATAIRE DU GROUPEMENT COMPOSÉ DE RAZEL BEC, SAIPEM ET NGE CONTRACTING EN CHARGE DE SA RÉALISATION. LES APPUIS SONT RÉALISÉS EN MER, AU DROIT DE LA RAVINE DONT L'OUVRAGE TIENT SON NOM. LE TABLIER, D'UNE LONGUEUR TOTALE DE 242 M, EST UNE STRUCTURE MONO-CAISSON À 4 ÂMES EN BÉTON PRÉCONTRAINT, CONSTRUITE À L'ÉQUIPAGE MOBILE PAR ENCORBELLEMENTS SUCCESSIFS DE VOUSSOIRS.

© RÉGION RÉUNION/JÉRÔME BALLEYDIER/LAURENT DE GEBHARDT

1

1- Vue d'ensemble du chantier.

2- Vue d'ensemble en cours de réalisation du fléau de la pile P2.

1- General view of the project.

2- General view during execution of the cantilever section of pier P2.

OBJET DU VIADUC

L'ouvrage ouvre la continuité des ravines Grande Chaloupe et Tamarins et une perspective visuelle vers l'Océan. Il constitue l'ouvrage principal de la desserte du site dont les bretelles d'accès seront réalisées dans un second temps (figures 1 et 2).

Intégré au projet de la NRL dont il est la charnière géographique, l'ouvrage est d'une largeur hors tout de 29 m. Il a été conçu pour deux modes de circulation :

→ Configuration à la mise en service : le tablier supporte 2x3 voies de circulation séparées par un terre-plein central (TPC) et encadrées par deux bandes d'arrêt d'urgences (BAU) ;

→ Configuration future : comportant 2x2 voies de circulation séparées par un TPC et encadrées par deux bandes dérasées droites (BDD) et bordées par deux voies de transport collectif en site propre (TCSP) de type tramway.

PRINCIPES STRUCTURELS ET ARCHITECTURAUX

SCHÉMA STRUCTUREL

Le viaduc de la Grande Chaloupe est un ouvrage de 239 m de longueur entre axes des appuis sur culées. Il comporte quatre travées dont les portées mesurent successivement : 50,5 m, 69,0 m, 69,0 m et 50,5 m (figure 3).

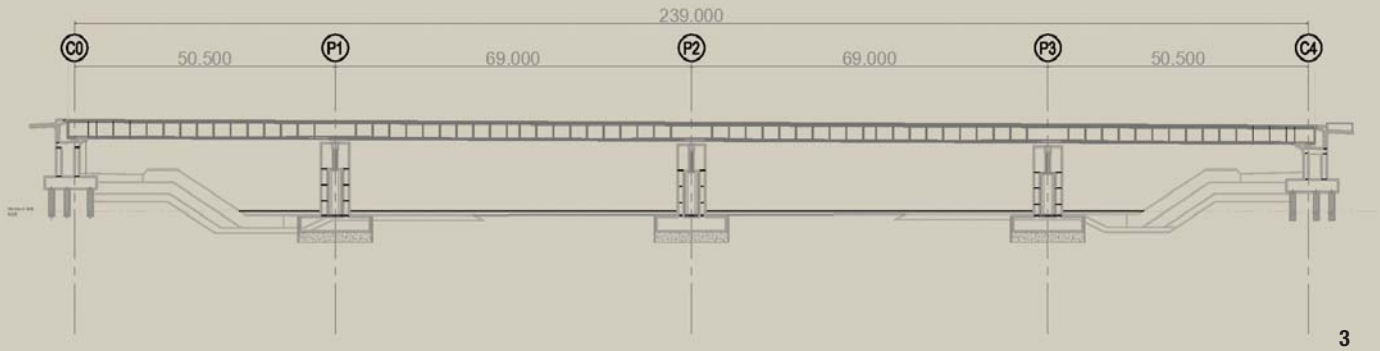
Le tracé en plan de la NRL est, au droit du viaduc, en courbe de rayon 860 m. Son profil en long est en pente constante de 0,5 % suivant la direction Saint Denis - La Possession.

Le profil en travers est en toit, légèrement décalé par rapport à l'axe de l'ouvrage, et présentant une pente de 2,5 %.

GÉOLOGIE

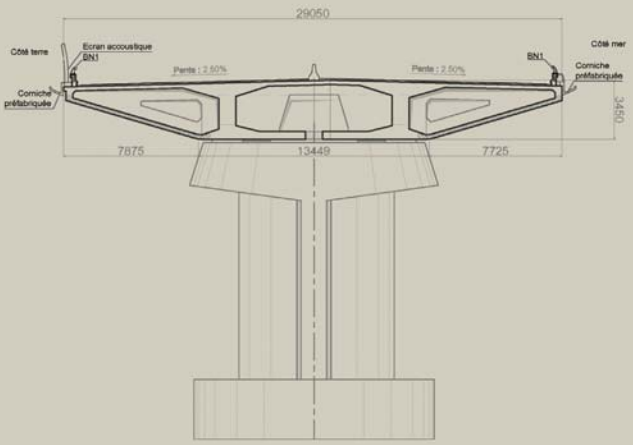
La géologie du site est composée de blocs basaltiques de grandes dimensions et de galets dans une matrice sablo-graveleuse, altérée ou indurée. ▷

COUPE LONGITUDINALE DE L'OUVRAGE



3

COUPE TRANSVERSALE SUR PILE



4

© BIEP

APPUIS

Les hauteurs des piles varient de 16,20 à 17,08 m.
Elles sont fondées superficiellement sur un béton de blocage ancré dans le substratum.
Leurs fûts sont de section elliptique et creuse. Le point fixe de l'ouvrage est localisé sur la pile P3.
Les culées sont fondées sur des pieux réalisés sur les digues construites dans le cadre d'un autre marché du projet de la NRL (figure 4).

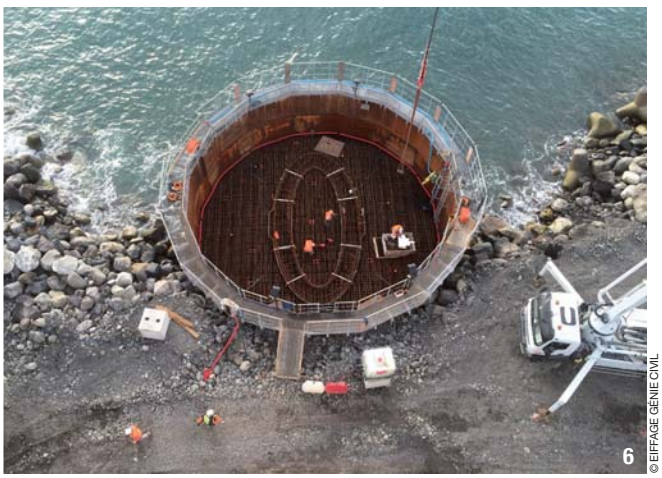
TABLIER

Le tablier est, à l'image des viaducs d'accès au pont de Normandie ou du viaduc de Saint-Cloud, composé d'un caisson en béton précontraint à 4 âmes. La précontrainte est double : longitudinale et transversale.
Ce type de section permet de combiner la raideur nécessaire à une finesse rappelant celle d'une aile d'avion.
Malgré sa grande largeur, le tablier offre l'avantage d'une hauteur constante de 3,45 m permettant l'insertion paysagère discrète souhaité par le cabinet d'architectes Lavigne et Chéron.
C'est le premier ouvrage du genre à être calculé suivant les règles de calcul des Eurocodes, les précédents ayant été réalisés selon le BAEL. Compte tenue de la complexité de la structure liée à la forme du caisson et à la courbure en plan de l'ouvrage, les calculs du tablier ont été menés à partir d'un modèle tridimensionnel aux éléments finis. Cela a permis de mieux appréhender le comportement du tablier.

3- Coupe longitudinale de l'ouvrage.
4- Coupe transversale sur pile.
5- Mise en place d'une hauteur de virole de la pile P2.
6- Ferraillage de la semelle de la pile P2 au sein d'une virole.

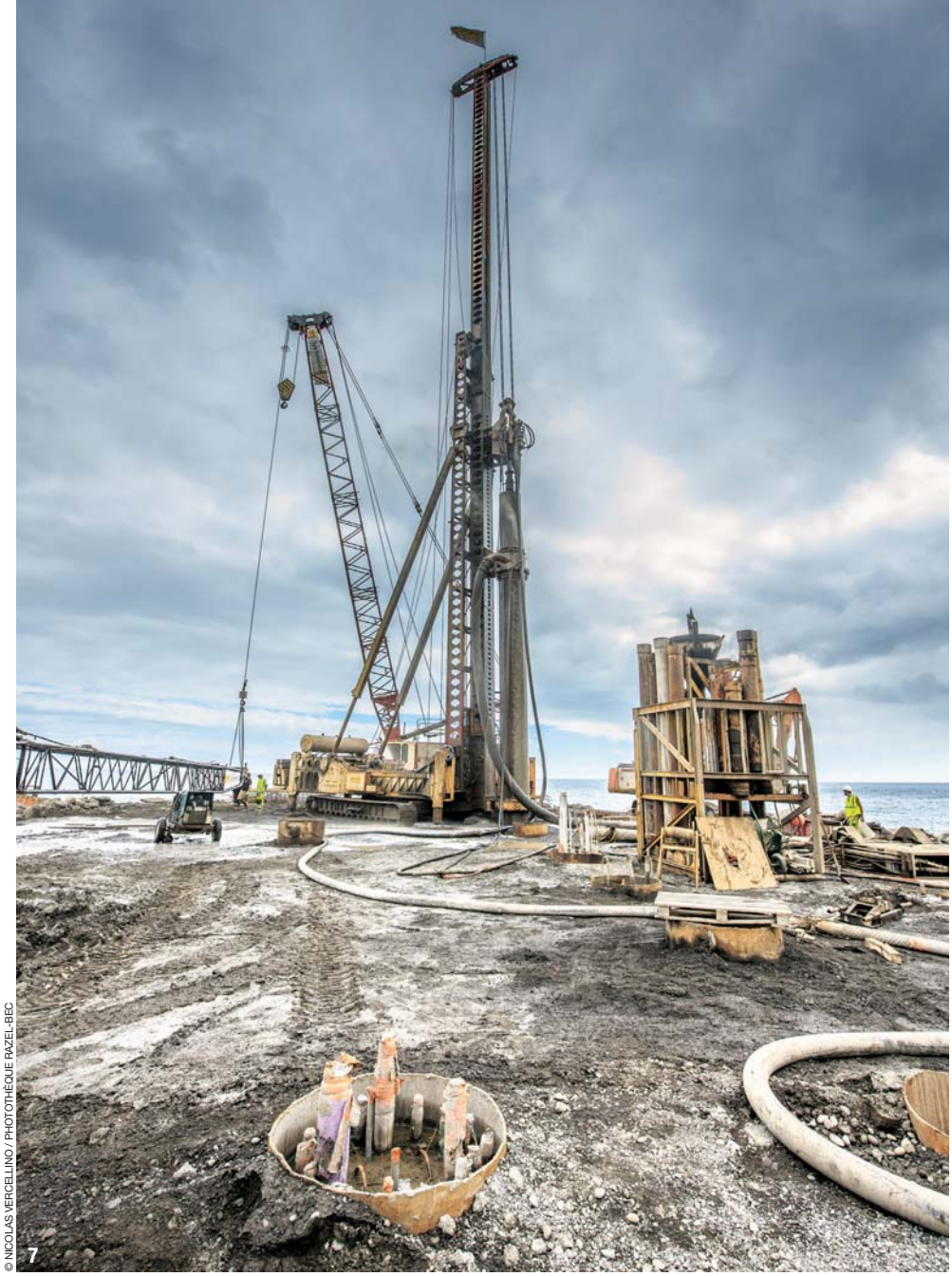
3- Longitudinal section of the structure.
4- Cross section on pier.
5- Positioning a collar height for pier P2.
6- Reinforcement for the foundation slab of pier P2 in a collar.

5



6

© EIFFAGE GÉNIE CIVIL



© NICOLAS VERGELLINO / PHOTOTHÈQUE RAZEL-BEC

7

PRÉPARATION DE CHANTIER

La période de préparation de chantier a démarré au 20 janvier 2014. Les travaux préparatoires revêtent pour tout projet une grande importance. Cela est d'autant plus vrai pour ce viaduc situé au droit d'une ravine, dans des contextes géologique et écologique sensibles, et dont les appuis sont situés à une vingtaine de mètres du rivage. Les reconnaissances complémentaires, impératives dans le cadre de la mission géotechnique de niveau G3 associée aux études d'exécution, n'ont pu démarrer qu'après l'obtention des diverses autorisations émanant des services de l'État en charge du domaine maritime. Ces derniers ont par ailleurs mis en place une série d'arrêtés préfectoraux maritimes spécifiques pour l'ensemble des travaux de la NRL.

7- Réalisation des pieux des culées selon la méthode du marteau fond-de-trou.
8- Pile P1 terminée.

7- Execution of abutment piles by the down-the-hole drill method.
8- Pier P1 completed.

© RÉGION RÉUNION/JÉRÔME BALLEYDIER/LAURENT DE GEBHARDT

8

Afin de réaliser des sondages pertinents, des exondements en enrochements, prémices aux plateformes de travaux, ont permis un accès à l'aplomb des futurs appuis. Réalisées à l'abri d'un rideau anti-MES (matières en suspension) destiné à confiner les éventuels matériaux fins mis en suspension, ces avancées en mer devaient tenir compte de l'aléa des fortes houles qui peuvent sévir dans cette zone de l'océan Indien.

Dans un contexte environnemental marin agressif, le respect des critères de performance des bétons (durabilité sur une période de plus de 100 ans) a mobilisé plusieurs experts dans la mise au point de formules spécifiques des bétons.

Les valeurs limites de porosité accessible à l'eau, de perméabilité au gaz, la pénétrabilité et la capacité à bloquer la diffusion des ions chlorure ont été étudiées et appliquées dans le processus de formulation puis de fabrication des bétons.

LES TRAVAUX

SEMELLES EN MER

Les semelles des piles en mer ont été réalisées à l'abri de viroles métalliques superposées et mécaniquement assemblées sur site. Leur mise en place a nécessité des terrassements dont l'emprise impactait fortement les zones de travail en raison des faibles pentes de talus constatées : de 3/2 à 4/1 selon l'exposition à la houle.

Par rapport à des batardeaux en palplanches mises en œuvre par battage, la mise en place des viroles engendre peu de nuisances sonores sous-marines. Cette approche nécessite en contrepartie des terrassements plus importants (figure 5).

Afin d'assurer la stabilité de ces batardeaux, un bouchon en béton de 1,90 m d'épaisseur a été ancré dans le substratum par une vingtaine de micropieux de 10 à 20 m de longueur. Ce dispositif, répété pour chaque pile, a permis de s'affranchir des problématiques de sous-pressions induites par la houle (figure 6).

Dans le cas de la pile P2, une anomalie géotechnique a été détectée sous la semelle. Cette lentille limono-sableuse, sans impact sur les tassements attendus de l'ouvrage, a nécessité le prolongement de certains micropieux.

FONDATIONS PROFONDES

Contrairement aux piles, les culées C0 et C4 sont respectivement fondées sur 33 et 27 pieux de diamètre Ø 1 000. ▷

© RÉGION RÉUNION/JÉRÔME BALLEYDIER/LAURENT DE GEBHARDT

Les fondations profondes ont été réalisées par la méthode du marteau fond-de-trou tubé à l'avancement, directement sur les remblais des digues.
Le choix de cette méthode s'est imposé pour permettre de traverser les blocs constitutifs des musoirs de digue ainsi que les sols identifiés dans les reconnaissances géotechniques, tout en limitant les risques d'éboulement grâce au chemisage.
La technique retenue consiste à réaliser en continu des percussions et des rotations de la tête de forage afin de briser puis de creuser les blocs et la roche. La présence d'ailettes rétractables sur le taillant a notamment permis (figure 7) :

- → Dans un premier temps de forer un diamètre légèrement supérieur à celui du diamètre extérieur du tube pour faciliter son enfilage ;
- → Puis de remonter l'ensemble de l'outil de forage sans être gêné par le tubage laissé en place jusqu'à la fin du bétonnage.

ÉLÉVATIONS DES APPUIS

Chaque fût de pile a été réalisé en une fausse levée de hauteur variable suivie de deux levées successives de 3,10 m.
Un outil unique a servi aux 9 levées de bétonnage de l'ensemble des piles. Il se compose :

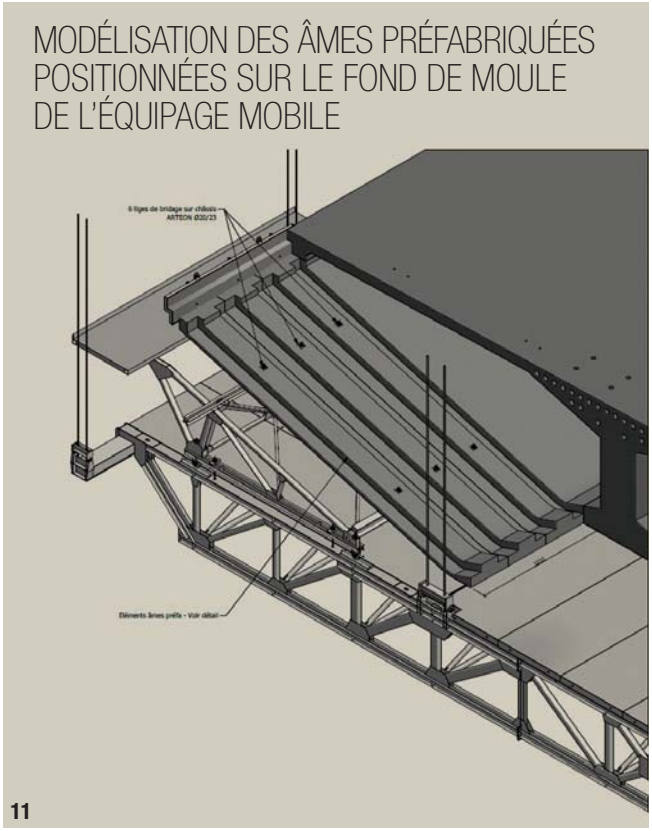
- → D'un coffrage en deux parties : une intérieure pour coffrer la partie creuse interne, l'autre pour les parties vues ;
- → De plateformes de travail prenant appuis sur la levée précédente et permettant la pose et le réglage des parties coffrantes.

9- Alignement des appuis depuis le musoir de la culée C0.
10- Stockage des âmes préfabriquées avant montage.

9- Alignment of supports from the pier head of abutment C0.
10- Storage of prefabricated girders before assembly.

Toutes ces opérations (coffrage, mise en place du ferraillage, décoffrage, et hissage des plateformes de travail) sont réalisées à l'aide des grues à tour ou, ponctuellement, d'une grue mobile de 80 t pour P1 (figure 8).
Les chevêtres, d'une hauteur de 5,0 m, ont été réalisés à l'aide d'un coffrage métallique spécifique. Leur volume de 275 m^3, combiné à des températures extérieures élevées en journée, ont nécessité de répondre aux contraintes liées à la réaction sulfatique interne (RSI) du béton. La température du béton ne devant pas dépasser 75°C tout au long de la prise, les chevêtres, comme les semelles auparavant, ont été bétonnés de nuit après un malaxage avec des granulats brumisés ou réfrigérés à l'eau glacée. Afin de permettre une vibration efficace en partie inférieure,

© EIFFAGE GÉNIE CIVIL



© EIFFAGE GÉNIE CIVIL

11

11- Modélisation des âmes préfabriquées positionnées sur le fond de moule de l'équipage mobile.

12- Fléau de la pile P2 en cours de réalisation à l'équipage mobile.

11- Modelling of prefabricated girders positioned on the back of the mould of the mobile rig.

12- Cantilever section of pier P2 being executed by mobile rig.

des cheminées ont été aménagées dans les armatures.

Chaque culée est constituée d'une semelle, de murs poteaux, puis d'un chevêtre et d'un garde-grève.

Le phasage de l'ouvrage et les dimensions impliquent une réalisation des murs garde-grève après la mise en tension de la précontrainte extérieure, soit juste avant la phase de pose des équipements et superstructures.

Les culées disposent d'une particularité liée au risque de houle inhérent à la zone : la présence de déflecteurs destinés à réduire les projections d'eau sous l'impact des vagues grâce à leur forme arrondie (figure 9).

Pour diminuer le risque de corrosion des armatures, et en complément des indicateurs pris en compte dans la formulation des bétons, l'ouvrage est doté d'un dispositif de protection cathodique :

- → Par anode sacrificielle pour les semelles ;
- → Actif par courant imposé pour les élévations de l'ouvrage.

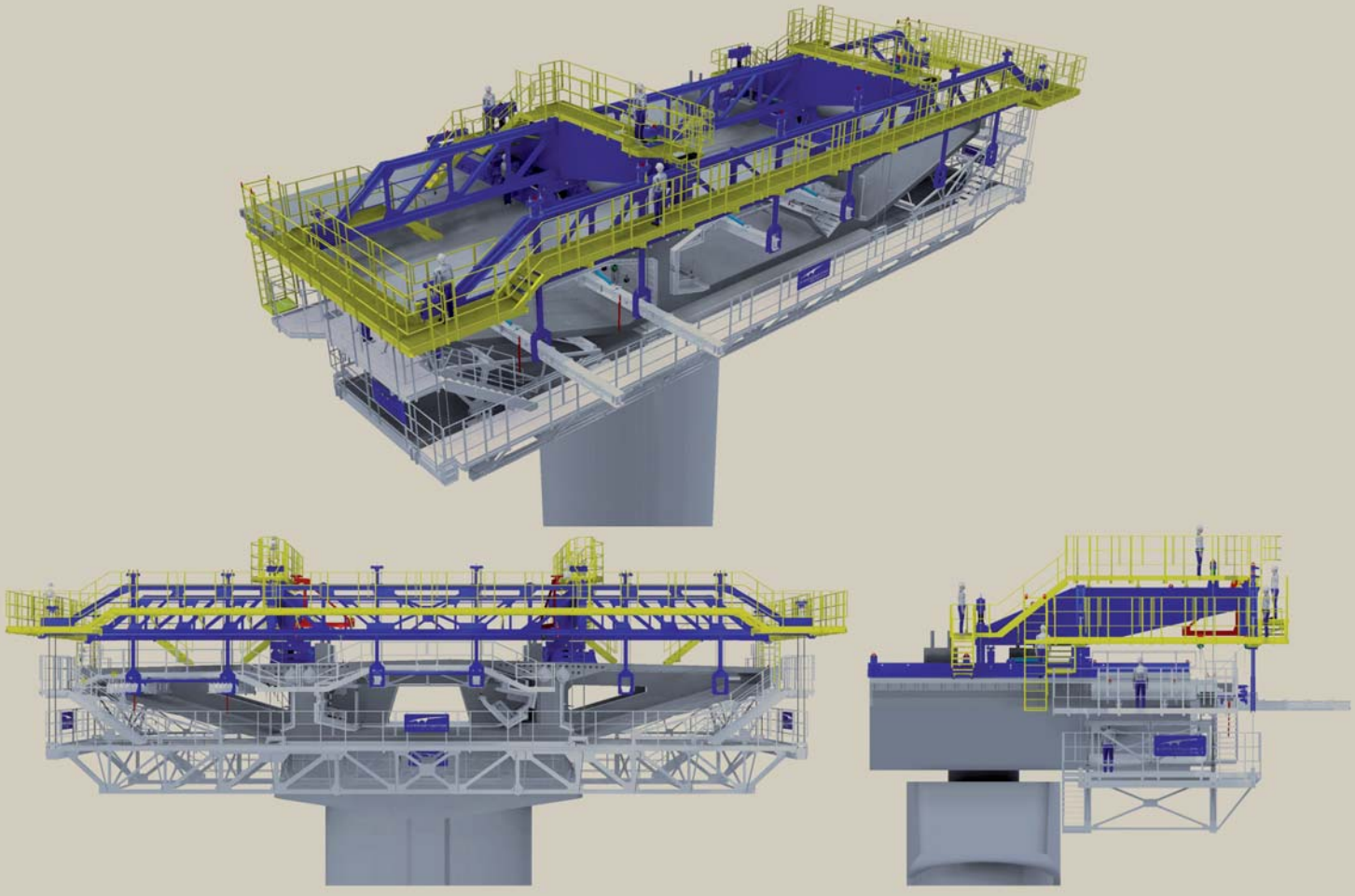
TABLIER

Le tablier est construit par encorbellements successifs de voussoirs coulés en place à l'aide d'équipages mobiles, à partir des piles. Les voussoirs sur piles sont réalisés préalablement à l'aide d'un coffrage spécifique. ▷

© RÉGION RÉUNION/JÉRÔME BALLEYDIER/LAURENT DE GEBHARDT

12

MODÉLISATION 3D D'UN ÉQUIPAGE MOBILE



13

© COFFRAGE EQUIPAGE

13- Modélisation 3D d'un équipage mobile.

13- 3D modelling of a mobile rig.

Pour les travées de rive, les voussoirs sont construits sur cintre.

Afin de faciliter le bétonnage et d'alléger le ferraillage des nœuds de liaison, le choix des équipes de travaux s'est porté sur la préfabrication des âmes inclinées du caisson du tablier. Du fait de la courbure en plan, les âmes préfabriquées sont plus larges côté terre que côté mer (figures 10 et 11).

Les voussoirs sur piles sont bétonnés en 3 phases. Ils sont renforcés par des entretoises en béton armé et provisoirement clouées dans les chevêtres des piles. Leur longueur, supérieure à celle des voussoirs courants, permet la pose d'une paire d'équipages mobiles. Ces derniers sont ensuite utilisés pour la réalisation par encorbellement des voussoirs de 3,25 m de long et de 56 à 70 m^3 de béton, soit entre 140 et 175 t. Les voussoirs sont bétonnés successivement, puis précontraints par mise en tension des câbles de fléau jusqu'à la réalisation complète d'un fléau. Un cycle de réalisation d'une paire de voussoirs s'étend sur une semaine (cf. encadré explicatif) (figure 12).

Les extrémités du tablier sont, quant à elles, réalisées sur des étaiements lourds (ou cintres) prenant appui sur les plateformes à l'avant des culées (figure 14).

Les différentes parties sont ensuite clavées et solidarisées entre elles

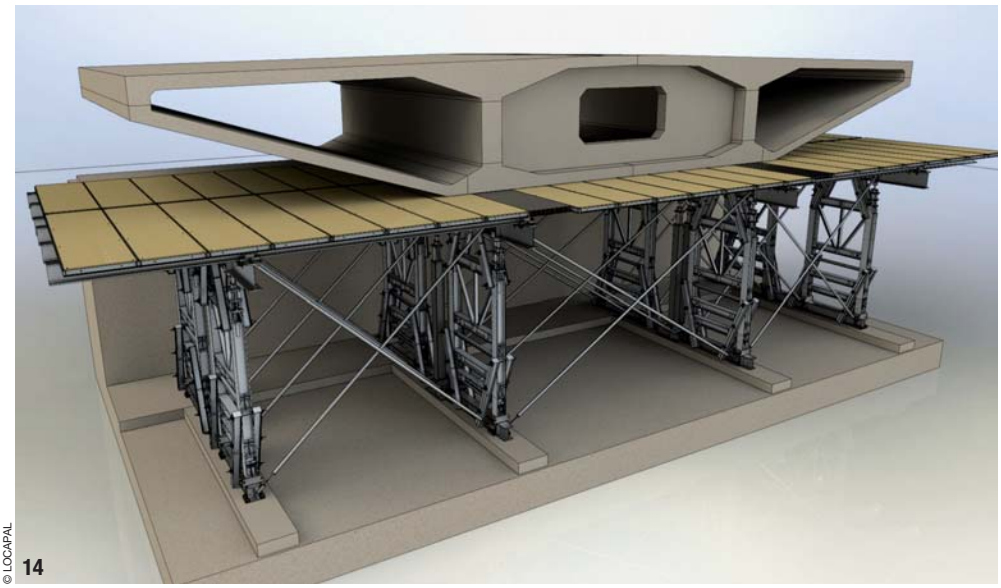
CYCLE D'UNE PAIRE DE VOUSSOIRS À L'ÉQUIPAGE MOBILE

Chaque équipage mobile est composé (figure 13) :

- **D'une paire de poutres principales pleines ancrées au voussoir précédent et maintenant l'ensemble de l'outil coffrant lors du bétonnage ;**
- **De rails permettant leur ripage ;**
- **De deux poutres transversales en treillis ;**
- **D'un fond de moule suspendu à l'aide de tiges Macalloy ou Artéon permettant la pose des armatures et des âmes préfabriquées sur des chariots ;**
- **D'une série de coffrages intérieurs portant sur des poutres tiroirs ;**
- **D'un ensemble de passerelles permettant une circulation en toute sécurité.**

Ils fonctionnent en parallèle, chacun à l'aide d'un système hydraulique dédié. Les réglages de l'équipage avant bétonnage constituent une étape cruciale pour cette méthodologie. Les études d'exécution ont, dans ce cadre, déterminé les flèches à chaque étape de contrôle en tenant compte :

- **De l'avancement du chantier et notamment des bétonnages ;**
- **De l'âge du béton et de sa rhéologie ;**
- **Des déformations induites par les câbles de précontrainte.**



© LOCAPAL

14

ENVIRONNEMENT

Le contexte cyclonique de l'île s'est fait sentir dès le week-end du 10 au 12 janvier 2015 au passage du cyclone Bansi, puis de nouveau lors de la tempête Haliba du 10 mars suivant, engendrant des dégradations sur les plateformes et la reprise des travaux de souille.

Située dans un environnement marin sensible, la zone de l'ouvrage a fait l'objet, en temps réel, d'un suivi acoustique en mer ainsi que de mesures de la turbidité.

La présence de Pétrels de Barau, une espèce d'oiseaux marins endémique de l'île, très sensible à la pollution lumineuse, a impliqué des périodes d'interdiction d'éclairage et nécessité l'utilisation de moyens d'éclairage particuliers. □

par la mise en tension des câbles de continuité intérieurs au béton (câbles éclisses) et des câbles extérieurs au béton filants sur toute la longueur du tablier.

La précontrainte longitudinale représente un total de 296 câbles 27T15s (fléau, éclisses et extérieurs) et une longueur totale de 8 450 m.

Le hourdis supérieur est également précontraint transversalement à l'aide de câbles 5T15s espacés d'environ 45 cm, soit un total de 523 câbles d'une longueur de 29 m.

Les corniches de l'ouvrage, conçues géométriquement comme un caniveau, assurent l'assainissement longitudinal de la chaussée.

Elles sont préfabriquées sur site et clavées dans les encorbellements de l'ouvrage.

14- Modélisation des cintres.

14- Centre modelling.

PRINCIPALES QUANTITÉS

MONTANT DU MARCHÉ : 34,6 M€ HT
PIEUX Ø 1000 : 1 020 m
BÉTON : 13 000 m³ (y compris béton immergé)
ACIERS HA : 2 530 t
ACIERS HR : 350 t
ÉTANCHÉITÉ : 7 100 m²

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Région Réunion
MAÎTRISE D'ŒUVRE : Egis
ARCHITECTE : Cabinet Lavigne et Chéron
GROUPEMENT : Eiffage Génie Civil, Razel-Bec, Saipem et Nge Contracting
PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS :
- **Fondation profondes :** Spie Fondations
- **Béton :** Terralta
- **Aciers HA :** Welbond
- **Précontrainte :** Eiffage Génie Civil - Via Pontis
- **Appareils d'appuis :** Etic
- **Protection cathodique :** Freyssinet
- **Ancrages :** Rocs
- **Cintres :** Locapal
- **Équipages mobiles :** Coffrage Équipage
- **Coffrages :** Clrm, Cmf et Ersem
- **Études de génie civil et béton armé :** Eiffage Infrastructures - Biep / Razel-Bec - Dtm

ABSTRACT

CONSTRUCTION OF THE GRANDE CHALOUPE VIADUCT - NEW COASTAL ROAD

DIDIER KOENIG, EIFFAGE - CHRISTOPHE OUTTERYCK, EGIS JMI - PHILIPPE LECOQ, EIFFAGE - PHILIPPE ROUSSOT, EGIS - SIMON BONTHONNEAU, EIFFAGE.

The Grande Chaloupe viaduct is a structure 239 metres long, with four spans. *The deck, 29.05 m wide, is formed of a single caisson with four girders bearing on three piers executed at sea in cofferdams, and two abutments supported on pile foundations. Designed to provide access to the gully after which it is named, this is the key structure of the New Coastal Road (NRL - RN1) which will eventually link Saint Denis and La Possession on Reunion Island. Executed by a consortium led by Eiffage Génie Civil, the prestressed concrete deck is built by balanced cantilever method. It combines prefabrication and concrete cast in situ by a mobile rig. A perfect match was found between the design, the work methods and the requirements of the project manager, with regard to sustainability, safety and environmental protection.* □

CONSTRUCCIÓN DEL VIADUCTO DE LA GRANDE CHALOUPE: NUEVA CARRETERA DEL LITORAL

DIDIER KOENIG, EIFFAGE - CHRISTOPHE OUTTERYCK, EGIS JMI - PHILIPPE LECOQ, EIFFAGE - PHILIPPE ROUSSOT, EGIS - SIMON BONTHONNEAU, EIFFAGE.

El viaducto de la Grande Chaloupe es una obra en cuatro tramos de 239 m de longitud. *El tablero, de 29,05 m de ancho, está formado por un mono-artesón con 4 almas portantes sobre 3 pilares realizados en el mar en el interior de ataguías y dos estribos sustentados sobre pilotes. Diseñado para comunicar el barranco que le da nombre, es la obra central de la nueva carretera del litoral (NRL - RN1), que una vez inaugurada unirá Saint Denis y La Possession, en la isla de la Reunión. Realizado por un consorcio de empresas liderado por Eiffage Génie Civil, el tablero de hormigón pretensado se está construyendo por ménsulas sucesivas. Combina prefabricación y hormigón en obra con un encofrado móvil. Se ha logrado una perfecta adecuación entre el proyecto, los métodos de ejecución y las exigencias del contratista en términos de durabilidad, seguridad y protección del medio ambiente.* □