

## ÎLE DE LA RÉUNION

# UN VIADUC CONÇU POUR AFFRONTER LES CYCLONES

L'île de la Réunion, son volcan, ses randonnées nature, et... ses ponts ! Après la route des Tamarins, le viaduc du littoral vient compléter cette véritable vitrine du savoir-faire français en termes d'ouvrages d'art.

TEXTE : OLIVIER BAUMANN – REPORTAGE PHOTOS : VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS ; CONSEIL RÉGIONAL DE LA RÉUNION ; VINCENT COSTE

Les plus de 60 000 automobilistes qui la parcourent chaque jour l'empruntent avec angoisse. Axe routier majeur de l'île de la Réunion, reliant Saint-Denis à La Possession, l'actuelle route du littoral est menacée à tout instant de voir s'effondrer sur elle un pan de la falaise qui la surplombe. Les nombreux dispositifs anti-chutes de pierres installés au fil des ans ont contribué à contenir les éboulements mais n'ont jamais réussi à les maîtriser totalement. Et ceux-ci restent fréquents et malheureusement parfois mortels.

### La route s'affranchit des éboulements et des cyclones

Pour sécuriser totalement le site, les experts qui se sont penchés à son chevet étaient unanimes : le risque d'effondrement n'étant pas maîtrisable, c'était la route qu'il fallait déplacer. Si bien qu'en octobre 2010, un protocole d'accord entre l'État et le maître d'ouvrage, la Région Réunion, lançait le projet de construction de la nouvelle route du littoral, en pleine mer. « Des études de trajectogra-

phie ont été menées pour dessiner une route suffisamment écartée de la falaise pour que les blocs rocheux, même en rebondissant, ne puissent pas l'atteindre », expose Alain Gagey, directeur du projet pour Egis, maître d'œuvre du viaduc de la nouvelle infrastructure. Il fallait aussi que la route s'élève à un niveau supérieur à celui des houles centennales cycloniques, très puissantes aux abords de cette île située en plein océan Indien. L'ensemble de ces contraintes a permis de déterminer un tracé et un profil en long : la route sera implantée entre 60 et 300 m du rivage et 20 à 30 m au-dessus du niveau de la mer, « dont un mètre pour tenir compte de l'élévation à venir liée au réchauffement climatique », précise Alain Gagey.

### Digue ou viaduc ?

Restait à décider si la nouvelle route s'appuierait sur une digue ou des viaducs. Les considérations techniques (construction et exploitation) et socio-économiques amenèrent le maître d'ouvrage à opter pour une infrastruc-

### Chiffres clés

**Viaduc** : longueur 5 409 m, largeur 29,80 m, élévation de 20 à 30 m au-dessus de la mer

**1386 voussoirs préfabriqués** : formant 7 tabliers successifs de 770 m

**48 piles en mer**

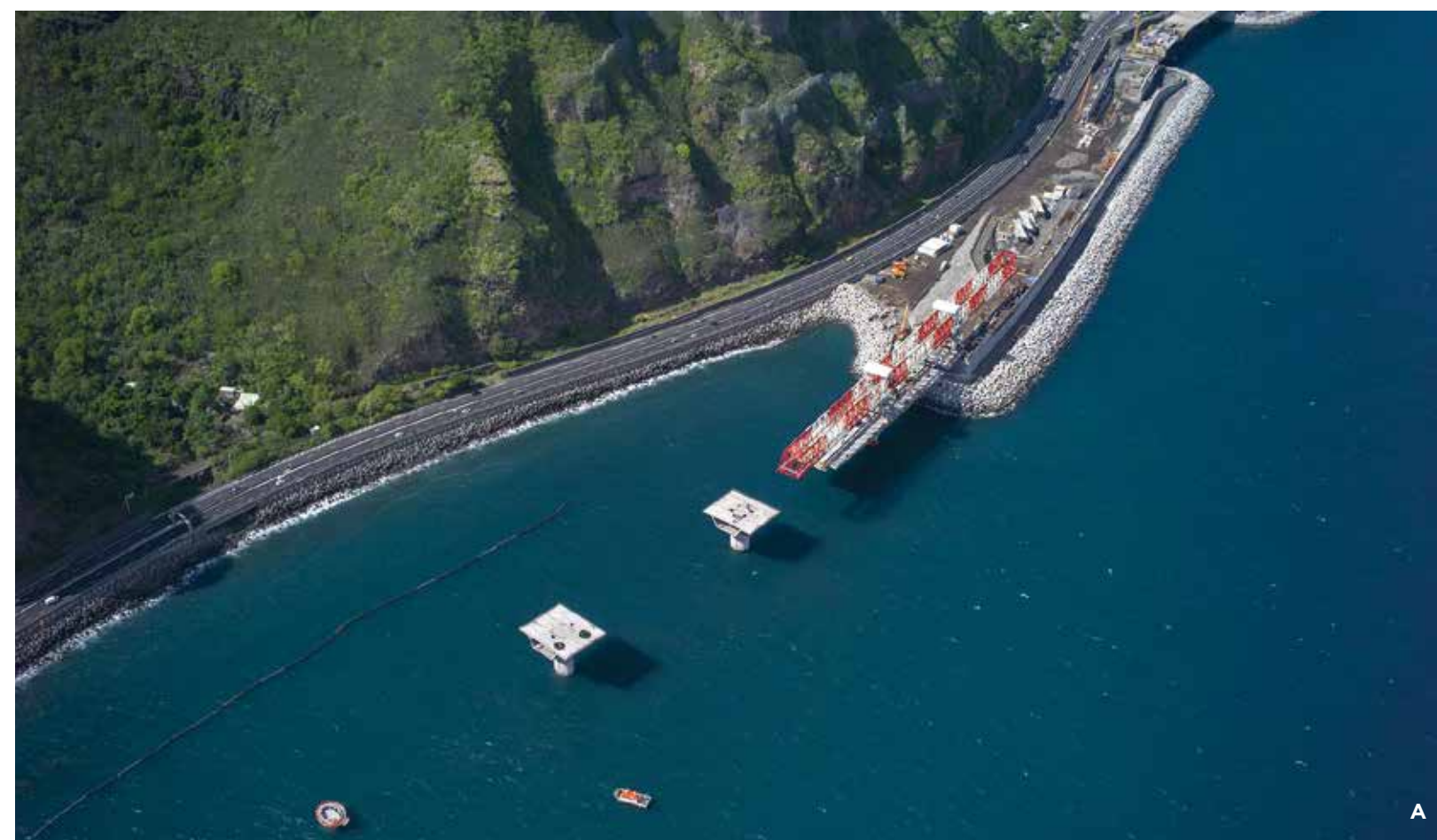
**9 300 tonnes** de précontrainte

**300 000 m<sup>3</sup>** de béton de structure

**Une méga-barge auto-élévatrice** : de 4 800 t de capacité

ture mixte. Longue de 12,3 km, l'ample chaussée (2 x 2 voies routières, deux voies pour un transport en commun en site propre – bus ou tram – et une voie vélos) comprend finalement 6,7 km de sections sur digues et 5,6 km sur viaducs. Dignes ou viaducs, les ouvrages construits sont ceux de tous les records. Les digues géantes, hautes de 25 m et larges de 100 m, sont dimensionnées pour absorber l'énergie cinétique de la houle. Elles sont constituées d'une série de dispositifs de protection, dont un mur chasse-mer et une carapace externe anti-houle constituée de 38 500 blocs préfabriqués en béton à protubérances tronconiques (des accropodes) et 4,2 millions de m<sup>3</sup> d'enrochements.

Les viaducs eux, sont au nombre de deux : le viaduc de la Grande Chaloupe (240 m de



A



B

A — Implanté en pleine mer, le viaduc est à l'abri des éboulements rocheux qui menacent la route actuelle.

B — Une fois leur phase de maturation terminée, les embases et têtes de piles sont embarquées directement depuis l'aire de préfabrication sur la barge (au fond en bleu) qui les mettra en place.

## Des bétons formulés selon l'approche performantielle

Le viaduc du littoral est conçu pour une durée d'utilisation de cent ans. Si cette durabilité est courante pour les ouvrages de Génie Civil, elle représentait ici une vraie gageure. « Dans un environnement marin aussi agressif, le premier facteur de durabilité de l'ouvrage repose sur la qualité intrinsèque du béton, expose Pierre-Edouard Denis, responsable du béton et du laboratoire pour le groupement d'entreprises. Afin que les armatures soient protégées de manière optimale contre la corrosion, il nous fallait produire un béton extrêmement compact ». Pour le formuler, il a été décidé de faire appel à l'approche performantielle. Alternative à l'approche normative classique et empirique, cette méthode permet de créer des bétons sur mesure en respectant des critères de durabilité spécifiques. Elle permet en l'occurrence d'intégrer dans la composition les granulats locaux d'origine volcanique, à la porosité élevée. Après un important travail de mise au point, les formulations des trois grandes familles de béton nécessaires à la réalisation des voussoirs, des fûts de piles et des semelles ont pu être validées.

Pour éviter les risques de pathologies (réaction sulfatique interne) liées à la trop forte montée en température des éléments structurels lors de leur bétonnage dans cet environnement tropical, un système de refroidissement complet du béton frais a été mis en œuvre. De l'eau réfrigérée, complétée de paillettes de glace lors des pics de chaleur de l'été, permet d'assurer le maintien en température des granulats. Les semelles de fûts, pièces les plus massives, sont ainsi bétonnées avec un béton dont la température lors du coulage ne dépasse pas 27 °C.

...

long) et le viaduc du Littoral. Avec ses 5 400 m de long, ce dernier pulvérise le record du plus long viaduc de France, détenu jusqu'ici par le pont de l'île de Ré (2 927 m), lui aussi en site maritime.

### Un viaduc aux dimensions XXL

Cet ouvrage exceptionnel dispose d'un tablier mono-caisson extra large de 29,8 m constitué de l'assemblage de 1 386 voussoirs en béton précontraint formant des travées courantes de 120 m de portée, à inertie variable (entre 3,8 m de hauteur sur pile à 7,3 m à la clé). Le béton comme matériau constitutif du tablier s'est imposé naturellement. « En milieu marin, l'atmosphère saline combinée aux embruns ont conduit à le préférer à l'acier, dont les coûts d'entretien et de maintenance auraient été beaucoup plus importants », décrit Alain Gagey. Ce tablier imposant, divisé en 7 tronçons indépendants de 770 m, repose sur 50 appuis, dont 48 piles en mer et deux culées. Dimensionnées pour encaisser la

houle et les vents cycloniques, les secousses sismiques, et les chocs de bateaux, ces piles de forme elliptique – « une géométrie favorable à la diffusion de l'énergie de la houle », selon Alain Gagey – sont dotées d'immenses semelles de fondation cylindriques (20 à 23 m de diamètre et 4 m d'épaisseur) posées sur le sol marin, à une profondeur variable de 8 à 11 m.

### Un ouvrage en mer construit à terre

L'édification de ce géant des mers nécessite des moyens de mise en œuvre à sa mesure. C'est au groupement d'entreprises, qu'est revenu la tâche de les inventer. Tout comme pour l'ouvrage en phase d'exploitation, le premier objectif pour le chantier était de pouvoir s'affranchir au maximum des conditions de houles et de vents cycloniques, qui peuvent souffler à plus de 250 km/h. « Les grands ouvrages maritimes construits dans l'Hexagone bénéficient du plateau continental qui limite ou casse les houles océaniques.

Ici, la mer est ouverte, sans protection possible contre la violence de l'océan », expose Francis Guinchard, Directeur du projet pour le groupement constructeur.

Alors pour limiter les interventions en mer, le groupement a fait le choix de fabriquer l'ensemble des éléments structurels de l'ouvrage à terre, y compris les semelles de fondation. Une industrialisation totale rendue possible par une standardisation des fondations superficielles. « Initialement, environ la moitié des piles devait être fondée sur des pieux, détaille Francis Guinchard, mais en menant des analyses supplémentaires sur la nature géologique du sol marin, nous sommes arrivés à la conclusion qu'en terrassant le sol sur 4 à 8 m au droit de chaque pile et en le renforçant dès que nécessaire, il était possible d'étendre les semelles superficielles à la totalité des piles ».

Deux aires de préfabrication ont ainsi été installées à l'extrémité sud du viaduc, sur la commune du Port. L'une, située dans l'enceinte portuaire, est dédiée sur 3 ha à la préfabrication des piles. L'autre, à 1 km en retrait de la zone portuaire, est consacrée sur 9 ha à la réalisation des 1 386 voussoirs. Elle comprend en outre trois centrales à béton (dont une de secours) destinées à fabriquer la totalité des des bétons de l'ouvrage.

### Des usines géantes à voussoirs et à piles

Le site de préfabrication des voussoirs s'apparente à une véritable usine. Il dispose de 10 cellules de coffrage : 6 pour la production des 14 géométries de voussoirs courants et 4 pour les voussoirs sur piles et autres voussoirs spéciaux. Les outils coffrants sont servis par 4 grues à tour et 2 portiques de manutention et de stockage des voussoirs courants. En rythme de croisière, 3 voussoirs sont produits chaque jour. La préfabrication des piles répond elle aussi à un impressionnant processus d'industrialisation. Pour limiter le poids des colis à transporter en mer, elles sont préfabriquées en deux tronçons : l'embase, constituée de la semelle de fondation et de l'amorce du fût de pile, et la tête de pile, composée quant à elle de la par-



C Long de 5,4 km, le viaduc forme des travées de 120 m et repose sur 48 piles en mer.

D Les têtes de piles les plus lourdes pèsent jusqu'à 2 000 t.

E Les semelles de fondation cylindriques des embases de piles sont très massives : de 20 à 23 m de diamètre pour 4 m d'épaisseur.

F Les embases de 4 500 t sont posées avec une précision de 35 mm grâce à la barge Zourite.

G Les voussoirs sont acheminés depuis l'aire de stockage jusqu'à leur lieu de pose sur des fardiers munis de 218 roues !

## Zourite, la barge pieuvre

Comment transporter des têtes de piles et des embases géantes (jusqu'à 4 800 t) et les poser avec précision dans un océan exposé aux cyclones ? Aucun moyen conventionnel n'étant dimensionné pour réaliser une telle tâche, le groupement d'entreprise a dû concevoir une machine unique en son genre. *Zourite*, qui signifie « poulpe » en créole, est une méga-barge flottante automotrice et auto-élévatrice. De la dimension d'un terrain de football (longueur 107 m, largeur 44 m) et d'un poids équivalent à celui de deux tours Eiffel, elle a été fabriquée en Pologne avant d'être acheminée à la Réunion, où elle arrive en mai 2016 après un périple de 50 jours. Après l'embarquement des « colis » de béton depuis le Port, elle navigue jusqu'au lieu d'implantation des piles, pilotée par un équipage de 6 personnes. Elle se hisse alors sur ses 8 « jambes » en acier, ce qui stabilise totalement la plateforme et permet de travailler dans des conditions équivalentes à celles de la terre ferme. Un portique de 4 800 t soulève ensuite les éléments de piles, les positionne, et les descend avec toute la précision nécessaire. Une centrale à béton embarquée permet de finaliser l'opération en clavant les parties hautes et basses des fûts. En cas de houle cyclonique, le système d'élévation de la barge lui permet de stationner en toute sécurité à plus de 11 m au-dessus du niveau de la mer en se mettant en sécurité au Port. En s'accommodant des conditions cycloniques de la Réunion, *Zourite* optimise le rendement de l'installation des piles du viaduc et assure la sécurité du personnel.

...

tie supérieure du fût de pile et du chevêtre. Embases et têtes de piles disposent chacune de deux lignes de production sur l'aire de pré-fabrication. Au cours de leur fabrication, ces pièces massives, d'un poids maximum de 2 000 t pour les têtes de piles et 4 800 t pour les embases, vont être déplacées le long de la ligne de production selon 4 positions successives (3 pour les têtes de piles) constituant autant d'ateliers : préparation des cages d'armatures, bétonnage, finitions, stockage, puis chargement.

Sur l'aire de fabrication sont également assemblés des colis spéciaux, les « méga-voussoirs sur pile », qui correspondent à l'amorce du tablier sur chaque pile. Ces pièces de 2 400 t sont constituées de l'assemblage de 7 voussoirs.

### Les piles empruntent la voie maritime...

Une fois la phase de maturation des piles et des voussoirs terminée, ces éléments structuraux sont pris en charge pour être acheminés jusqu'à leurs lieux de pose. Leurs destins

se séparent alors. Les piles sont embarquées directement depuis le quai de l'aire de pré-fabrication sur une barge géante baptisée *Zourite*, spécialement fabriquée pour le chantier, et disposant d'une capacité de 4 800 t (voir encadré). Pour chaque pile, *Zourite* effectue deux voyages aux chargements optimisés : un premier pour le transport et la pose de l'embase (jusqu'à 4 800 t), le second pour le transport et la pose de la tête de pile et du méga-voussoir sur pile (d'un poids cumulé atteignant également la capacité maximale de la barge, soit 4 800 t).

### ...et les voussoirs la voie terrestre

Contrairement aux piles, les voussoirs sont acheminés par voie terrestre. Des fardiers (plateformes automotrices) de 35 m de long munis de 216 roues les convoient depuis l'aire de stockage pour les transporter jusqu'à leur lieu de pose, en empruntant de nuit les routes réunionnaises et les portions de tablier déjà construites. Une fois l'extrémité du tablier atteinte, les voussoirs sont alors pris en charge

par une poutre de lancement. Cette structure métallique mécanisée de 280 m de long et 28 m de haut permet d'assembler un fléau complet en prenant appui sur les piles déjà en place. Chaque voussoir est d'abord soulevé par un pont roulant qui le transfère au droit de sa position finale. Là, le voussoir est descendu et connecté au voussoir précédent. Le tablier est ainsi construit par encorbellements successifs de part et d'autre de chaque pile. Une fois le fléau posé et clavé au fléau précédent, la poutre de lancement est avancée jusqu'à sa position suivante, et le cycle recommence.

Aires de pré-fabrication s'étendant sur près de 12 ha, barge géante, poutre de lancement XXL... les superlatifs sont de mise pour évoquer la chaîne logistique du chantier du viaduc du littoral. Mais ces moyens étaient indispensables à la tenue des délais du chantier. « L'ensemble a été dimensionné pour atteindre une cadence de deux travées complètes fabriquées, transportées et posées par mois (y compris les piles) », précise Francis Guinchard.

Tout au long du chantier, des mesures concrètes visant à préserver la qualité environnementale du site sont prises. Entre autres dispositions, 6 des piles du viaduc seront équipées de modules préfabriqués en Composite Ciment Verre destinés à accueillir et favoriser la faune sous-marine. La structure « nid d'abeille » de ces récifs artificiels protégera ses habitants des attaques des prédateurs. Une autre mesure veille à préserver la tranquillité des espèces aquatiques. Les travaux sous-marins potentiellement bruyants ne peuvent ainsi pas démarrer tant que l'absence de mammifères marins à proximité n'a pas été confirmée par un contrôle visuel effectué par un ULM.

Le chantier du viaduc, dont l'ordre de service de démarrage a été donné en janvier 2014, devrait être livré en juillet 2018 au bout de 54 mois de travaux. La mise en service de la Nouvelle Route du Littoral (NRL), dépendante de l'avancement du chantier de la digue, est quant à elle toujours prévue à l'horizon 2020. ■



H  
La barge *Zourite* permet de transporter et de poser en une fois la tête de pile surmontée du méga-voussoir sur pile.

I  
1386 voussoirs sont construits et stockés dans une aire de pré-fabrication dédiée de 9 ha.

J  
*Zourite*, la plateforme automotrice, peut se stabiliser en se hissant sur ses 8 jambes d'acier. Les éléments de piles peuvent alors être installés dans des conditions équivalentes à celles de la terre ferme.

K, L  
Appuyée sur les piles déjà en place, la poutre de lancement géante est capable d'assembler un fléau complet avant de se déplacer vers sa position suivante.