



1

© SETEC

RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE LA CORNICHE KENNEDY À MARSEILLE

AUTEURS : NICOLAS BENNATI, DIRECTEUR TRAVAUX, EIFFAGE GC - TANCRÈDE DE FOLLEVILLE, DIRECTEUR DE PROJET, SETEC TPI - ALESSIA GAIA, INGÉNIEUR TRAVAUX, FREYSSINET - FRANÇOIS LEBLANC, DIRECTEUR COMMERCIAL, EIFFAGE GC - LORIANA PACE, INGÉNIEUR TRAVAUX, SETEC DIADES

LA ROUTE DE LA CORNICHE KENNEDY EST UN LIEU EMBLÉMATIQUE DE MARSEILLE, QUI LONGE LA MER ENTRE LA PLAGE DES CATALANS ET LES PLAGES DU PRADO. DES TRAVAUX D'ÉLARGISSEMENT RÉALISÉS ENTRE 1954 ET 1968 ONT PERMIS DE CRÉER UNE PROMENADE PIÉTONNE EN ENCORBELLEMENT AU-DESSUS DE LA MER. EXPOSÉS DEPUIS PLUS DE 50 ANS AUX EMBRUNS MARINS, CES OUVRAGES EN BÉTON ARMÉ PRÉSENTENT DE FORTES PATHOLOGIES DE CORROSION DES ARMATURES ET PLUSIEURS SONT DANS UN ÉTAT PRÉOCCUPANT. IL ÉTAIT DONC NÉCESSAIRE DE LES RÉPARER.

La route de la Corniche à Marseille relie les quartiers d'Endoume et du Roucas Blanc en longeant la mer, de la plage des Catalans à celles du Prado. Elle a été édifiée entre 1848 et 1863, alors qu'elle n'était à l'origine qu'un simple chemin de terre escarpé. Au XX^e siècle, de nouveaux travaux d'élargissement se sont déroulés en trois phases successives, de 1954 à 1968, pour créer une promenade piétonne en encorbellement au-dessus de la mer. Le tramway de l'époque (figure 2) a été supprimé et remplacé par une chaussée à 2x2 voies de cir-

1- Vue d'ensemble.

1- General view.

culatation. La Corniche fût alors baptisée du nom de John Fitzgerald Kennedy, en hommage au président des États-Unis, assassiné en 1963 pendant les travaux. La promenade piétonne se compose de deux trottoirs dénivelés séparés par un banc, connu pour être le plus long du monde (figure 3). Elle offre durant près de 2 km un superbe panorama

sur la mer et les îles du Frioul et elle est devenue au fil du temps un lieu privilégié pour les promeneurs et les joggers de la ville.

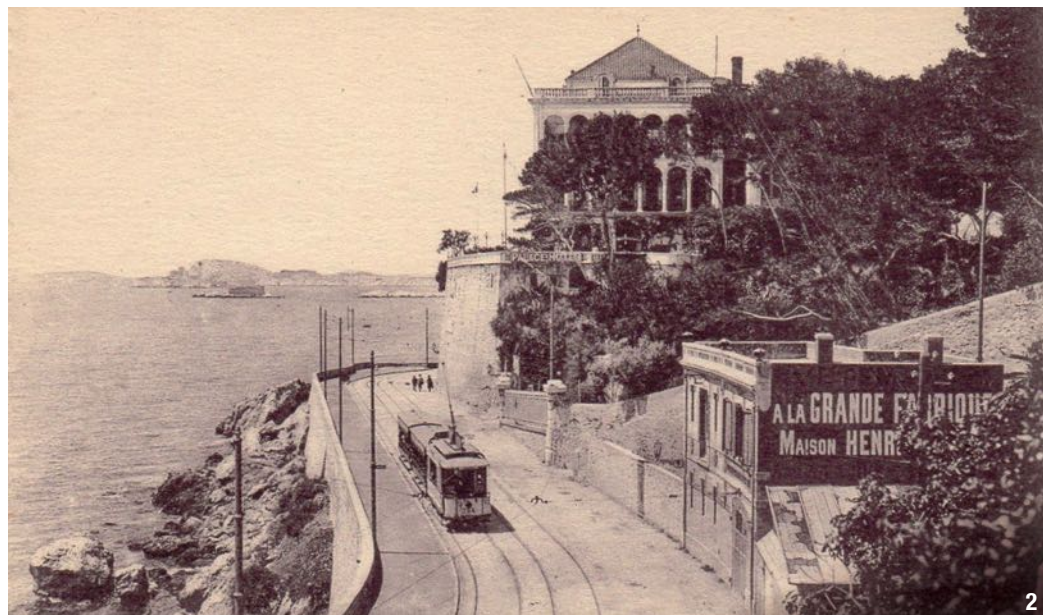
En zone courante, les ouvrages en encorbellement sont constitués de consoles en béton armé d'inertie variable, de 4 mètres de portée, espacées les unes des autres de 4 mètres environ, et ancrées par des tirants passifs dans un mur de soutènement poids. C'est sur ces consoles que reposent les dalles en béton qui supportent les deux trottoirs et le banc. En rive côté mer, un parapet épais en béton

sert de garde-corps (figures 4 et 5). Entre la plage du Prophète et la source du Roucas Blanc, il y a 6 brèches importantes à franchir. Au droit de ces brèches, les consoles des encorbellements sont fixées sur des ouvrages d'art de type caisson en béton précontraint.

Depuis plus de cinquante ans, tous ces ouvrages en béton armé et précontraint, qui supportent l'élargissement de la corniche, ont été soumis à un environnement marin particulièrement agressif et présentent de ce fait par endroits des dégradations importantes. ▶

Plusieurs zones localisées étaient dans un état critique et il était donc nécessaire d'engager des travaux de réhabilitation. La pathologie majeure est la corrosion des aciers. Elle est principalement liée à l'attaque des ions chlorure provenant des embruns et de l'atmosphère marine en général. Ils ont pénétré dans le béton au-delà des zones d'enrobage et leur taux de concentration est supérieur aux normes actuelles (figure 6). C'est dans ce contexte que la Direction des Infrastructures d'Aix-Marseille-Provence Métropole (Difra) a entrepris un vaste projet de réhabilitation de la corniche et choisi, en 2016, d'en confier la maîtrise d'œuvre complète aux ingénieurs du groupe Setec.

L'opération concerne l'ensemble des ouvrages constitutifs de la Corniche J.F. Kennedy entre le Marégraphe et l'Hôtel Palm Beach, dans le 7^e arrondissement de Marseille et consiste, suivant l'état des différents éléments structurels, soit à les réparer, soit à les remplacer par des éléments neufs. Les études ont commencé en septembre 2016 par un diagnostic visuel complet de l'ouvrage réalisé à l'aide d'un drone. Ce diagnostic a permis de dresser une véritable cartographie des désordres, et d'estimer suivant les différentes zones la gravité des pathologies. Il a ensuite fallu procéder, au cas par cas, à un arbitrage entre la réparation et le remplacement de neuf, en évitant de trop morceler l'opération. Le choix devait également tenir compte des techniques constructives de l'époque, qui ont évolué au fil des trois tranches



CARTE POSTALE ANCIENNE © DR

2

de travaux d'élargissement. En effet, pour la tranche la plus ancienne (1957), les dalles et le parapet ont été réalisés coulés en place, le parapet jouant un rôle de poutre retroussée, tandis que, pour les deux autres tranches (1961 à 1965), les dalles et le parapet sont des éléments préfabriqués.

Conformément au souhait de la Métropole, les éléments neufs ont été conçus de manière à ne pas dénaturer l'ouvrage d'origine, tout en utilisant des techniques modernes de génie civil aptes à lui redonner une plus grande durabilité. Ainsi, les dalles en béton armé sont préfabriquées et coulées avec un béton formulé selon

2- Vue aérienne de la Corniche avant les travaux d'élargissement du XX^e siècle.

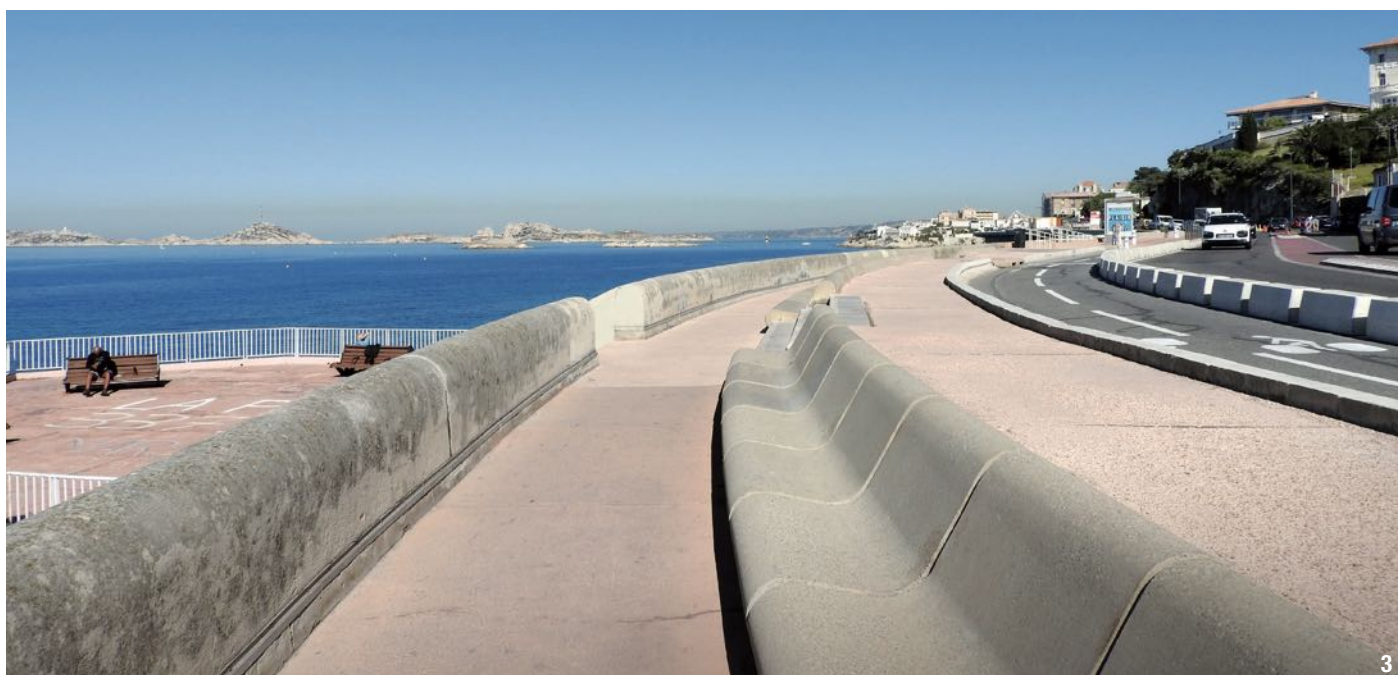
3- Vue de la corniche avant les travaux de rénovation.

2- Aerial view of the coastal road before widening works in the 20th century.

3- View of the coastal road before the renovation works.

l'approche performantielle. C'est une démarche innovante, fondée sur la notion d'indicateurs de durabilité. Elle consiste à prescrire dès la conception des exigences de performance à atteindre pour le béton en termes de résultats et non plus en termes de moyens, et de quantifier ces exigences à l'aide de 4 indicateurs de durabilité (porosité accessible à l'eau, perméabilité apparente aux gaz, coefficient de diffusion apparent des ions chlorure, résistivité électrique).

Le banc et le parapet sont remplacés en totalité par des éléments neufs préfabriqués de 1 m de long. Ils sont réalisés en béton fibré ultra hautes



3

© SETEC

performances (BFUHP) avec des fibres synthétiques, pour éviter les piqûres de corrosion sur les fibres métalliques. La teinte claire du BFUHP a été choisie par l'architecte de manière à se rapprocher le plus possible des bétons existants pour préserver l'homogénéité de l'ensemble. Le contour extérieur du banc est refait à l'identique conformément aux plans de construction d'origine. Le parapet est remis aux normes, mais un travail architectural a été réalisé sur sa forme, de manière à atteindre cet objectif en le rehaussant le moins possible pour ne pas altérer la vue des personnes assises sur le banc.

4- Profil en travers type de la corniche en zone courante.

5- Profil en travers type de la corniche sur ouvrage d'art.

4- Typical cross section of a standard area of the coastal road.

5- Typical cross section of the coastal road on an engineering structure.

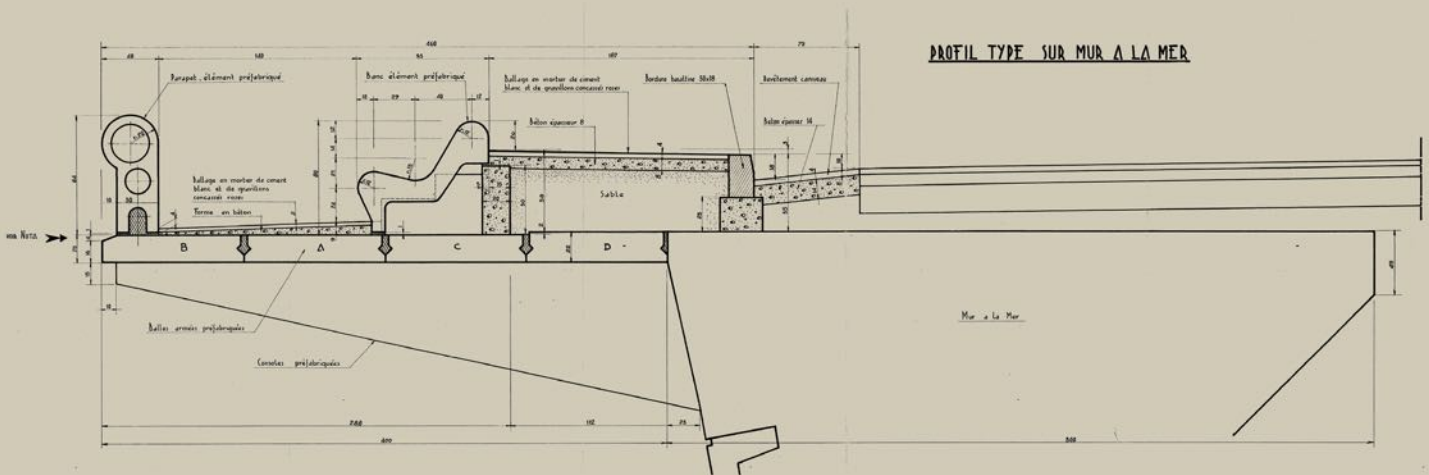
La réparation des ouvrages conservés se fait, quant à elle, de manière traditionnelle par purge des bétons dégradés et ragréage, puis par la mise en œuvre d'une protection cathodique par courant imposée (PCCI). Cette technique consiste à faire circuler un faible courant électrique à travers le béton, entre une anode auxiliaire rapportée en titane et les armatures passives du béton, pour protéger ces dernières de la corrosion. L'architecture et le dimensionnement du système de protection cathodique ont été conçus par la société A-Corros, à partir des résultats d'une campagne d'investigations

diverses effectuées en phase avant-projet (mesure d'enrobage, mesure de résistivité électrique du béton, mesure de la continuité électrique des armatures, etc.).

Les consoles les plus abîmées sont renforcées par moisage, à l'aide de deux demi-console coulées en béton auto plaçant de part et d'autre de la console existante à renforcer et ancrées par des scellements dans le mur de soutènement. Elles sont également protégées par PCCI.

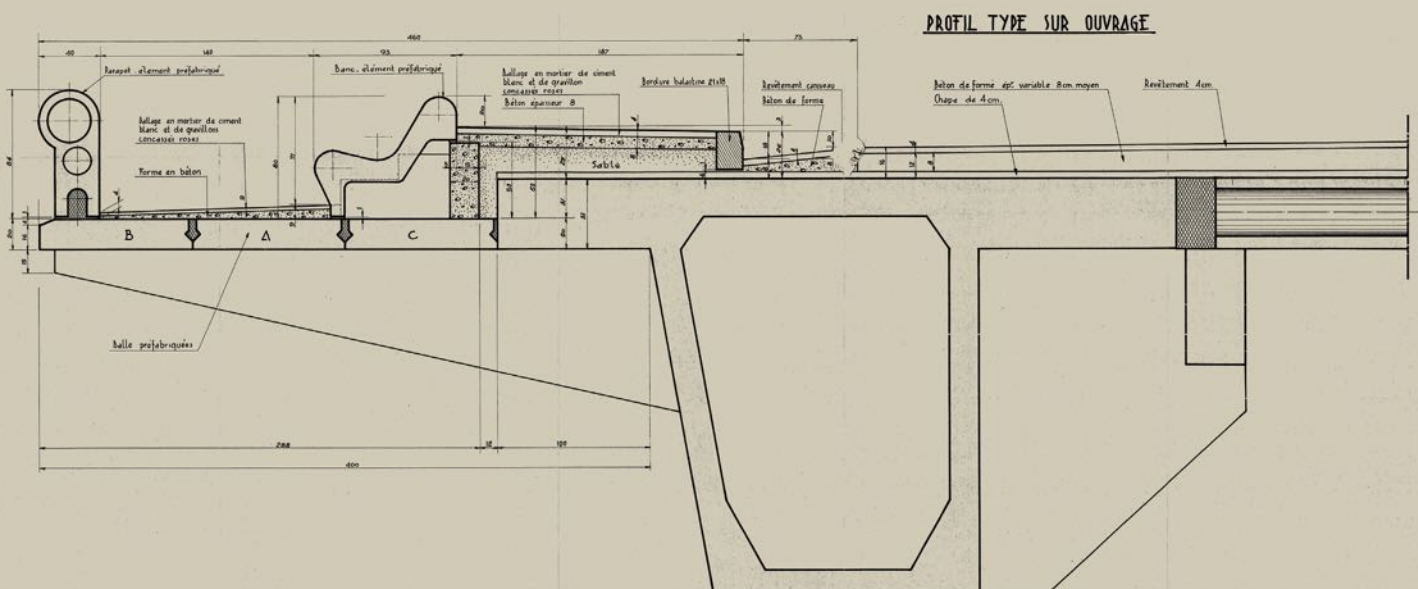
Le phasage des travaux a été étudié de manière à impacter le moins possible les riverains.

PROFIL EN TRAVERS TYPE DE LA CORNICHE EN ZONE COURANTE



4

PROFIL EN TRAVERS TYPE DE LA CORNICHE SUR OUVRAGE D'ART



5
© DR



6 © SETEC



7 © ENTREPRISE

L'ensemble du linéaire est ainsi découpé en quatre tranches de longueur variant entre 300 m et 600 m. Elles seront traitées sur quatre années successives jusqu'en 2022, pendant les 7 mois de la période hivernale, pour restituer l'ouvrage aux Marseillais et aux touristes de mai à septembre. Pendant les périodes de travaux, la circulation des véhicules est réduite temporairement à 2x1 voie pour libérer les emprises nécessaires au chantier, mais un cheminement piéton est néanmoins conservé côté mer. Des palissades de

chantier transparentes préservent la vue sur la mer et les riverains peuvent ainsi suivre au quotidien l'avancée du chantier.

Après une première tranche de travaux longue de 300 m environ à partir du Marégraphe, réalisée entre octobre 2018 et mai 2019, la seconde tranche, qui a démarré en novembre 2019, est actuellement réalisée par le groupement : Eiffage Génie civil - Gtm Sud - Freyssinet - Colas.

Afin de répondre aux exigences spécifiques du marché de cette seconde

6- Vue de la sous-face de la corniche avant travaux.

7- Vue du fraisage des trottoirs.

8- Vue de l'échafaudage.

6- View of the underside of the coastal road before works.

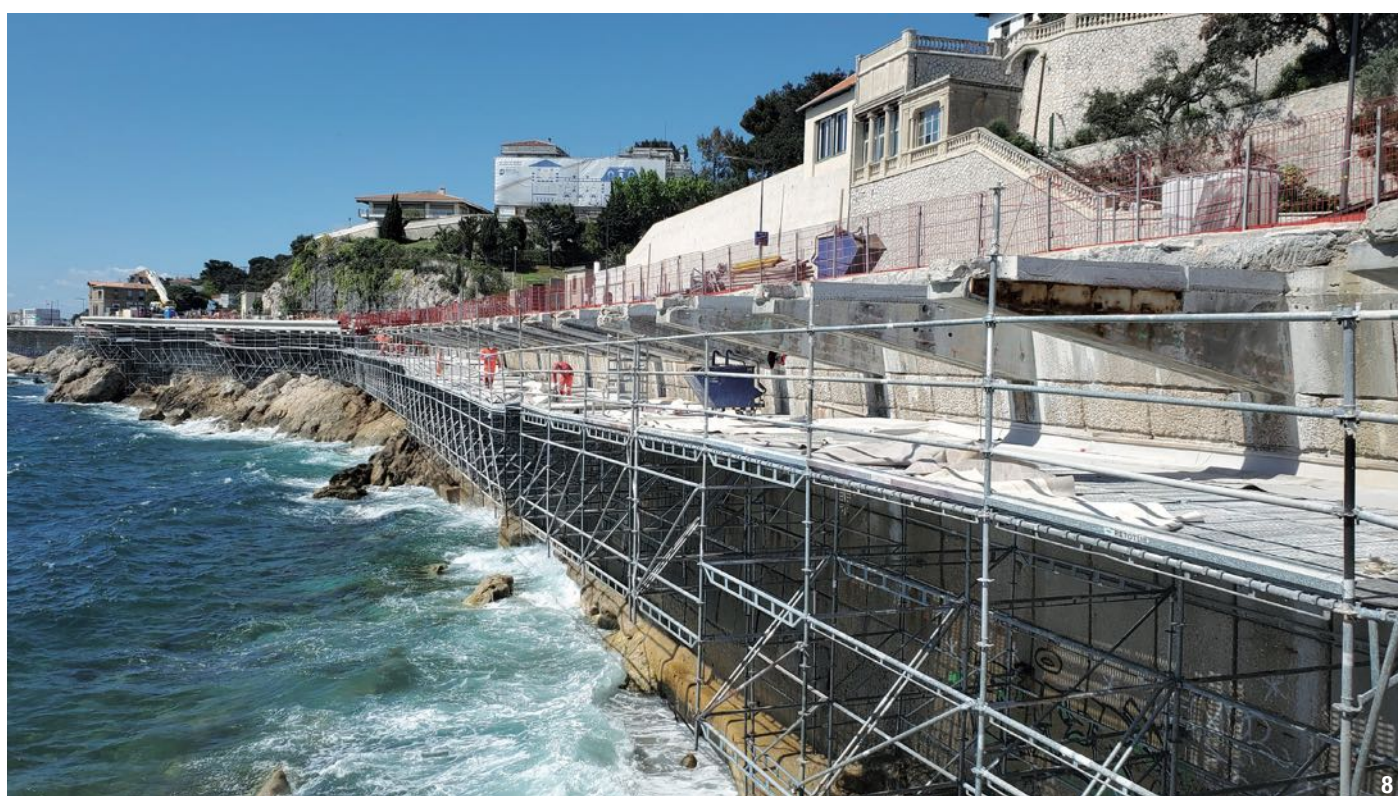
7- View of grinding of the footpaths.

8- View of the scaffolding.

tranche, le groupement est composé de 4 entreprises et organisé de la manière suivante :

- Eiffage Génie Civil : Mandataire et travaux de génie civil ;
- Gtm Sud : Travaux de génie civil ;
- Freyssinet : Travaux de protection cathodique par courant imposé (PCCI) ;
- Colas : VRD.

Cette seconde tranche s'étend de la villa Gaby jusqu'au vallon de l'Oriol pour une longueur de 330 m. La première intervention a consisté à modifier la



8 © SETEC



9

© SETEC

circulation pour prendre une emprise travaux de 5 m de largeur en laissant une voie mixte piétons/vélo protégé par des GBA, en lieu et place de la bande cyclable existante, ainsi qu'une voie de circulation dans chaque sens.

À l'intérieur de l'emprise des travaux, Colas a réalisé la démolition des trottoirs haut et bas, ainsi que les bancs à l'aide de pelles équipées d'une fraise (figure 7). Cette technique a permis la démolition soignée des superstructures sans abîmer la structure en sous-face et dans le respect strict des conditions environnementales du site (maîtrise des gravats issus de la démolition par rapport à la mer).

Une fois l'ensemble des superstructures existantes retiré, les équipes Eiffage Génie Civil et Gtm Sud sont en charge de l'enlèvement des parapets et dalles existantes puis des travaux de reconstruction de la corniche en lien étroit avec Freyssinet qui pose la protection cathodique.

Pour tous ces travaux, le groupement a opté pour la mise en place d'un échafaudage suspendu au-dessus de la mer (figure 8), sur l'ensemble du linéaire de la tranche 2.

Ce dispositif a permis la libre circulation en sous-face de la structure pour l'ensemble des intervenants et ainsi constituer un phasage "en train à l'avancement" sur environ 80 m successif :

- Dépose parapets ;
- Dépose dalles existantes ;
- Réalisation des moisages de consoles et PCCI ;
- Pose et clavage des nouvelles dalles réalisées avec du béton C60/75 par approche performancielle ;
- Pose du nouveau parapet en BFUHP.

9- Vue des différents ateliers.

10- Vue de la découpe des dalles.

9- View of the various sets of equipment.

10- View of slab cutting out.

Ce dispositif a également permis au maître d'œuvre de lever les points d'arrêt à l'avancement et ainsi garantir la bonne réalisation des travaux tout en respectant les délais du chantier (figure 9).

Concernant les travaux de dépose des béton existants, Eiffage Génie Civil/Gtm, avec la participation de l'entreprise Dsd pour la partie sciage des éléments en béton, ont mis au point des méthodes

spécifiques dans le but de récupérer l'ensemble des eaux de découpe (protection du milieu naturel maritime) et évacuer les éléments découpés en toute sécurité (figure 10).

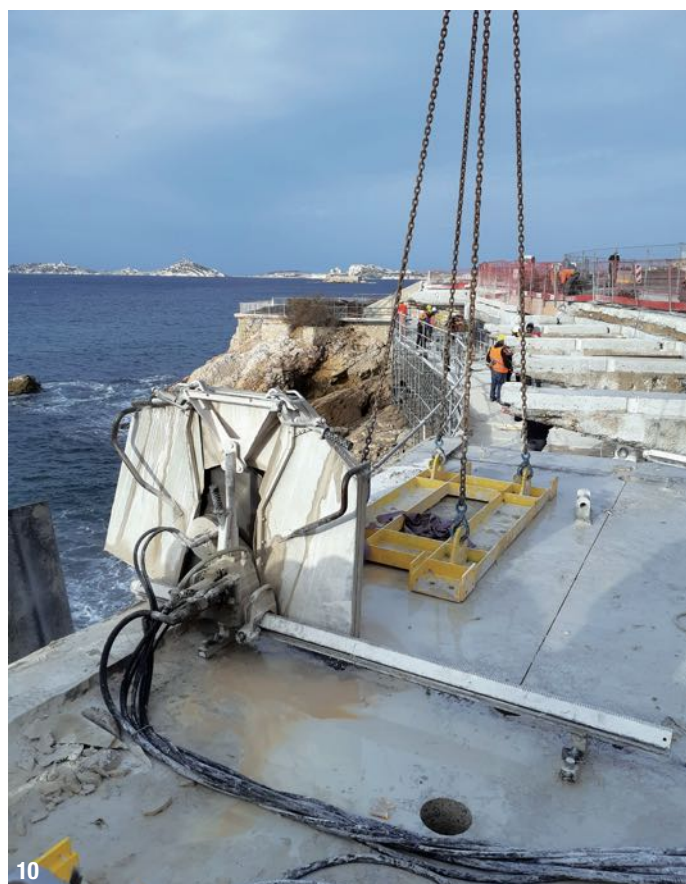
Une fois les consoles existantes mises à nu et purgées de toutes les parties de béton non adhérentes, le système de protection cathodique conçu par Freyssinet est mis en œuvre.

Dans le cadre des travaux de la corniche Kennedy, Freyssinet France réalise les études de détail, d'exécution et la mise en œuvre du système de protection cathodique par courant imposé (PCCI) appliqué aux aciers des consoles. L'aspect ingénierie, conception, suivi des opérations est assuré par un service central du groupe Freyssinet (Service Contrôle de la Corrosion) agissant dans l'ensemble des pays où le groupe intervient. Ce service est constitué d'experts certifiés en France et à l'international dans les trois principaux secteurs (Terre, Mer et Béton).

L'aspect travaux dans l'organisation est géré par les implantations locales de Freyssinet. Dans le cas de l'ouvrage de la Corniche Kennedy à Marseille, c'est la Direction Régionale Sud Est basée à Gémenos qui assure les travaux.

Le système de PCCI vise à protéger les aciers des consoles existantes et les nouvelles armatures constituant le moisage de la console :

- Des anodes (sous forme de rubans en titane activé) installées dans des engravures sur les structures existantes, ou disposées avant le bétonnage sur les cages d'armatures par l'intermédiaire de cales isolantes pour les structures neuves (moisage des consoles). ▷



10

© ENTREPRISE



11
© SETEC

Elles sont interconnectées par soudeure par point à des bandes de distribution en titane, elles-mêmes reliées à des câbles raccordés dans des boîtiers de jonction puis à des coffrets de répartition à l'intérieur de coffrets étanches en direction du matériel de contrôle (figure 11).
→ Des matériels de mesure (électrode de référence et sondes de dépoliarisation) qui permettent d'évaluer l'efficacité de la PCCI sur les aciers à protéger, selon la norme NF EN ISO 12696.

→ Un générateur de courant continu et régulé qui alimente les différentes zones anodiques, contrôlé par une unité centrale de mesure équipée d'un ordinateur PC et d'un modem 3G permettant la télégestion et la télésurveillance du système. Le système mis en place a été dimensionné pour une durée de 50 ans, pour assurer une protection efficace des armatures des consoles de la corniche, exposées à l'environnement agressif maritime, ceci avec un suivi approprié par du personnel compé-

11- Vue de la mise en œuvre de la PCCI.

12- Vue du chantier au pic d'activité avec moyens importants.

11- View of the application of ICCP.

12- View of the construction site at peak activity with major equipment.

tent dans le domaine (figure 12). La conception du renfort par moisage vise à reprendre l'ensemble des efforts seulement par les moisages sans considérer la console existante. Pour cela il a été nécessaire d'ancrer les renforts par des barres HA32 sur 1,50 m de profondeur.

Le moilage des consoles est réalisé à l'aide d'un outil coffrant spécifique conçu pour ce chantier. L'outil s'enfile par l'avant de la console et s'appuie sur la console existante pour reprendre l'ensemble des efforts liés à la poussée du béton. Compte tenu de la présence du système de PCCI contre les armatures, le béton mis en place est un béton autoplaçant C40/50 (figure 13).

Les dalles sont réalisées en usine, avec une formulation de béton spécifique C60/75 devant répondre aux nouvelles exigences du fascicule 65 concernant l'approche performancielle (mesure porosité, perméabilité apparente au gaz, coefficient de diffusion des chlorures, et résistivité électrique).

Les dalles sont posées en appui isostatique sur chaque console moisée puis clavées entre elles.

La réalisation des nouveaux éléments de parapets et bancs est conçue en béton fibré ultra haute performance (BFUHP).



12
© SETEC



© SETEC

© EIFFAGE - GTM SUD - FREYSSINET - COLAS

Ces éléments ont été réalisés chez Méditerranée Préfa dans des moules en acier. La particularité de cette fabrication est de devoir s'adapter au site et de respecter l'exigence du marché de 1 cm entre chaque élément de banc ou parapet. Pour atteindre cet objectif, on a réalisé un relevé scan 3D de l'existant et le bureau d'études Egcem a conçu les plans des pièces en dessinant des biais aux abouts entre 1 et 5 cm pour épouser

13- Vue du moilage des consoles.

14- Vue de la pose des parapets BFUHP.

13- View of the cantilevers binding.

14- View of the installation of UHPFRC parapets.

les courbes de la corniche (figure 14). Les travaux de superstructures se finalisent par la reconstruction, dirigées par les équipes de Colas, des trottoirs haut et bas en béton rose, ainsi que des escaliers en pierre de Cassis.

La dernière opération consistant à la dépose de l'ensemble des dispositifs de circulation et clôture de chantier et ainsi rendre aux Marseillais et joggeurs cette nouvelle partie de trottoir pour de nombreuses années. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Direction des Infrastructures Aix-Marseille-Provence Métropole

MAÎTRE D'ŒUVRE : Setec tpi - Setec diadès - A-Corros - André Mascarelli (Architecte)

OPC : Setec organisation

ENTREPRISES TRAVAUX : Eiffage - Gtm Sud - Freyssinet - Colas

PRINCIPALES QUANTITÉS

LINÉAIRE TOTAL D'OUVRAGE RÉPARÉ À L'ISSUE DES 4 PHASES DE TRAVAUX : 1 725 m

BUDGET TOTAL DE L'OPÉRATION : 22 millions d'euros

QUANTITÉS DE LA PHASE 2

- 330 m de corniche
- 73 consoles traitées
- 330 m de parapets BFUHP et 250 m de bancs BFUHP préfabriqués et installés
- 1 200 m² de dalles préfabriquées, en béton C60 à approche performancielle, puis mises en place et clavées entre elles
- 15 escaliers avec emmarchements calcaires reconstitués et remplacés, ainsi que 2 escaliers d'accès à la mer réparés

ABSTRACT

REPAIR AND STRENGTHENING OF KENNEDY COASTAL ROAD IN MARSEILLE

NICOLAS BENNATI, EIFFAGE GC - TANCRÈDE DE FOLLEVILLE, SETEC TPI - ALESSIA GAIA, FREYSSINET - FRANÇOIS LEBLANC, EIFFAGE GC - LORIANA PACE, SETEC DIADES

In 2016, Métropole d'Aix-Marseille-Provence awarded Setec engineering group a complete project management contract for work on repair and strengthening of the engineering structures on the Kennedy coastal road. After two years of design work, the first work section, over a length of 300 m from the Tide Gauge, got under way in October 2018. The second work section, carried out by the consortium of Eiffage Génie Civil, Gtm Sud, Freyssinet and Colas, is currently under way. The specificity of the project is chiefly due to the location of the structures above the sea, requiring the use of exceptional means of access to carry out the works, and the incorporation of bespoke prefabricated components in the existing structure, with numerous interfaces. □

REPARACIÓN Y REFUERZO DE LA CORNISA KENNEDY EN MARSELLA

NICOLAS BENNATI, EIFFAGE GC - TANCRÈDE DE FOLLEVILLE, SETEC TPI - ALESSIA GAIA, FREYSSINET - FRANÇOIS LEBLANC, EIFFAGE GC - LORIANA PACE, SETEC DIADES

En 2016, la Metròpolis de Aix-Marsella-Provenza encargó el diseño del conjunto de las obras de reparación y refuerzo de la cornisa Kennedy a los ingenieros del grupo Setec. Tras 2 años de estudios, el primer tramo de obras, de 300 m de longitud desde el Mareógrafo, comenzó en octubre de 2018. El segundo tramo, realizado por el consorcio Eiffage Génie Civil - Gtm Sud - Freyssinet - Colas, está actualmente en ejecución. La especificidad de la obra reside principalmente en la ubicación de las construcciones por encima del mar, lo que requiere la instalación de unos medios de acceso excepcionales para realizar los trabajos, así como en la incorporación de elementos prefabricados a medida en la construcción existente, con numerosas conexiones. □