



© F. HENRY - AUTEURS DE VUES 1

PASSAGE SOUS FLUVIAL DE KÉRINO

AUTEURS : SAÏD EL BARKAOUI, DIRECTEUR AGENCE DE RENNES, INGÉROP CONSEIL ET INGÉNIERIE - STÉPHANE PLAGNOL, DIRECTEUR TECHNIQUE, GTM OUEST - FRÉDÉRIQUE BAUDOIN, CHEF DE PROJET, INGÉROP CONSEIL ET INGÉNIERIE

LE TUNNEL KÉRINO ET SES TRÉMIES D'ACCÈS PERMETTENT DE FINALISER LA LIAISON ENTRE LES QUARTIERS SUD-OUEST ET SUD-EST DE VANNES, ET DE CONSTITUER AINSI UNE CEINTURE SUD DE LA VILLE DE VANNES. DANS UN ENVIRONNEMENT URBAIN ET MARITIME, LE RECOURS À DES MÉTHODES CONSTRUCTIVES À FORTE TECHNICITÉ ET NOTAMMENT LA RÉALISATION D'UN BATARDEAU COMPLEXE COMPOSÉ DE PALPLANCHES ET DE PALPIEUX DANS UN CONTEXTE GÉOTECHNIQUE FORTEMENT ACCIDENTÉ ONT ÉTÉ NÉCESSAIRES. LE TUNNEL ET LES AMÉNAGEMENTS CONNEXES, DONT LES TRAVAUX ONT COMMENCÉ À L'ÉTÉ 2013, ONT ÉTÉ MIS EN SERVICE À L'ÉTÉ 2016.

LE CONTEXTE DU PROJET

Le projet de réalisation du passage sous fluvial de Kérino a été initié depuis plusieurs années par la ville de Vannes dans le but de fluidifier la circulation routière pour le contournement Sud de la ville, qui empruntait un pont mobile

« pont de Kérino » et créait des conflits d'usage entre le trafic routier et le passage des bateaux de plaisance.

Le pont de Kérino est un pont tournant construit en 1988 pour franchir la rivière. La travée mobile autorise le passage des bateaux de plaisance, en

1- Vue d'ensemble du chantier - dernière phase.

1- Overall view of the construction site - final phase.

particulier en période estivale, à savoir 7 500 passages de bateaux pour 1 800 mouvements du pont chaque année, soit 102 minutes d'ouverture du pont chaque jour en moyenne.

De fait, ce pont est devenu progressivement un obstacle à la fluidité des



© GROUPEMENT C.R.



© GROUPEMENT C.R.

circulations routières et maritimes, notamment en période estivale.

Les objectifs du projet de franchissement (figure 2) sont :

- De fluidifier le trafic routier dans ses niveaux actuels et futurs ;
- De ne pas entraver la circulation maritime, notamment de plaisance, pour l'accès au port de Vannes ;
- De préserver l'environnement du site de Kérino, véritable porte ouverte sur le Golfe du Morbihan.

2- Vue en plan du pont de Kérino.

3- Vue en plan de l'aménagement global du projet.

4- Vue entrée Ouest.

2- Plan view of Kérino Bridge.

3- Plan view of the overall project layout.

4- View of the western entrance.

Les études alternatives engagées par la ville de Vannes ont porté sur :

- La création d'un ouvrage aérien (pont) dégagant le tirant d'air et la largeur nécessaires à la navigation des bateaux dont les voiliers. Cette solution est apparue très rapidement irréaliste dans l'environnement urbain du site ;
- La réalisation d'un passage inférieur (Passage Sous Fluvial). Cette solution présente l'intérêt de dégager

le gabarit navigable (tirant d'eau et largeur de chenal) et d'être relativement discrète sur le plan paysager. Après plusieurs études de faisabilité et étapes d'ajustement, c'est donc la solution de passage sous fluvial (figure 3) qui a été retenue car :

- Ses caractéristiques techniques assurent à la fois le confort et la sécurité des usagers ;
- Son schéma de fonctionnement lui permet de supprimer toute interaction entre les trafics routier et plaisancier ;
- Elle a un très faible impact sur le foncier ;
- Elle a un faible impact visuel.

LA PROCÉDURE DE DIALOGUE COMPÉTITIF

Par une délibération du conseil municipal, en date du 20 mai 2011, la Ville de Vannes a décidé de lancer une consultation en vue de confier à un partenaire privé une mission globale portant sur tout ou partie du financement, de la conception, de la construction, de l'exploitation, de la maintenance et du gros entretien d'un tunnel sous-fluvial sur une durée globale de 28 ans ainsi que de ses voies d'accès et des travaux de démolition préliminaires (ouvrages et bâtiments).

Le contrat porte également sur les travaux de dragage initial du port de Vannes.

Compte tenu de la complexité du projet, le choix du dialogue compétitif a été retenu avec une procédure en 3 phases successives de remises d'offres et discussions entre octobre 2011 et septembre 2012, suivi d'une mise au point du contrat de partenariat et une notification du marché en novembre 2012. ▷



© F. HENRY - AUTEUR DE VUES

9- Courbes isophones lors des opérations de battage.

10- Grue à chenille sur barge.

11a- Centrale d'injection sur plateforme auto-élevatrice.

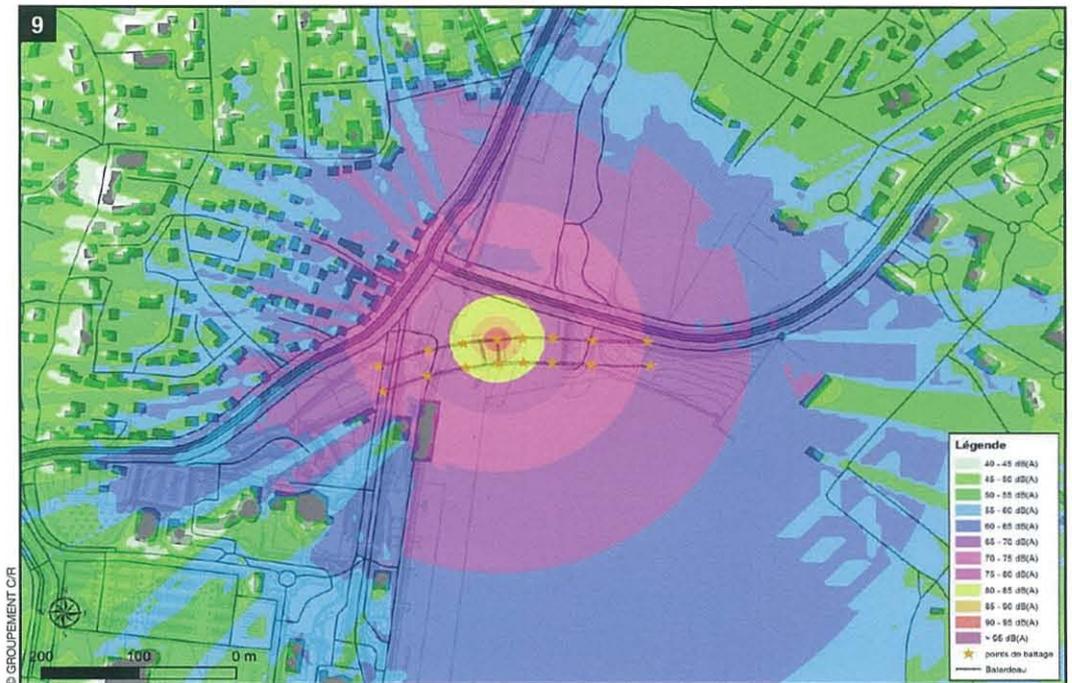
11b- Réalisation des racines.

9- Isophonic curves during pile driving operations.

10- Crawler crane on barge.

11a- Grout mixing plant on self-elevating platform.

11b- Execution of the roots.



Au point bas, une fosse de collecte des eaux de ruissellement de pluie, ainsi que les eaux d'exhaure issues des talus de la trémie Ouest a été réalisée. Cette fosse est équipée de 3 pompes de relevage en fonctionnement continu

et raccordées au local technique ainsi qu'au centre d'exploitation. Équipé en vidéosurveillance et détection automatique d'incidents, l'ouvrage fait l'objet d'une surveillance permanente. Pour assurer la sécurité des usagers en

cas d'incendie, des issues de secours sont positionnées le long de l'ouvrage, côté voie routière, permettant l'accès à la voie douce. Pour compléter ce dispositif, des niches de sécurité sont disposées de part et

d'autre de l'ouvrage, dans les trémies, à une distance minimale de 15 m des têtes de l'ouvrage permettant d'assurer un recul suffisant pour l'intervention des services de secours en sécurité hors fumée.



© F. HENRY - AUTEURS DE VUES

© GROUPEMENT C/R

© GROUPEMENT C/R



© GROUPEMENT C/R

**LES CONTRAINTES
TECHNIQUES
GÉOTECHNIQUE /
HYDROGÉOLOGIQUE**

Le sol du site est composée d'alluvions, de rocher altéré et de rocher sain. Les alluvions présentent une forte perméabilité conduisant à une variation du niveau de la nappe dans le sol suivant, avec un petit décalage, la fluctuation de la marée. Cette perméabilité a nécessité la mise en œuvre d'une paroi étanche

autour de la trémie ouest afin de minimiser les arrivées d'eau dans celle-ci. Les campagnes géotechniques menées par l'entreprise ont montré une grande disparité du toit du rocher, aussi bien dans le sens longitudinal de l'ouvrage que dans le sens transversal, ce qui a nécessité l'adaptation du rideau de palplanches constituant le batardeau par la mise en œuvre de tirants en pieds, de risbermes et de racines en fond de palpieux (figure 7).

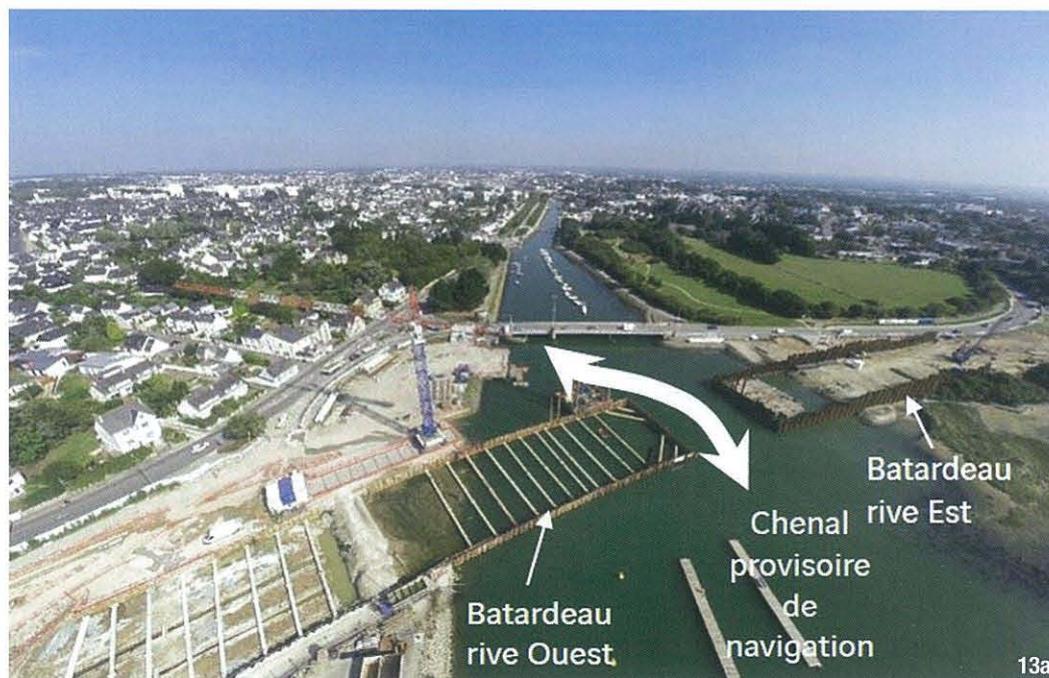
RÉSISTANCE AU FEU

L'une des exigences de performance de l'ouvrage consiste à assurer sa tenue au feu sous un niveau de résistance N3, selon la courbe de résistance HydroCarbure Majorée pendant 120 minutes, puis la Courbe Normalisée pendant 120 minutes, soit selon la courbe HCM 204 et CN 240, selon la circulaire interministérielle n°2000-63 du 25 août 2000 relative à la sécurité dans les tunnels routiers.

Dans ce cas, l'incendie est caractérisé par une courbe de températures atteignant 1200°C en moins de 10 minutes, et une température maximale de 1300°C environ 20 minutes plus tard.

La circulation dans l'ouvrage est interdite au transport de marchandises dangereuses.

La résistance au feu attendue de la structure de l'ouvrage est sa capacité à conserver son rôle malgré le déve-

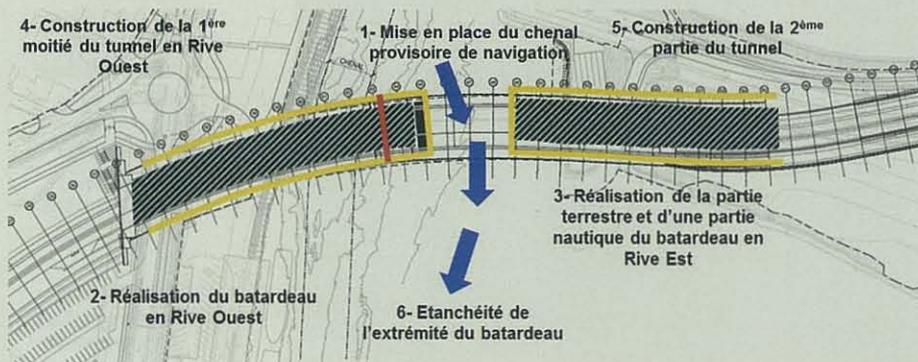


12a- Butonnage des palplanches.
12b- Réalisation tirants en pied de palplanche.
12c- Injections en fond de fouille.
13a- Photo première phase.

12a- Staying of sheet piling.
12b- Execution of tie anchors at the base of the sheet piling.
12c- Grouting at bottom of excavation.
13a- Photo of phase one.

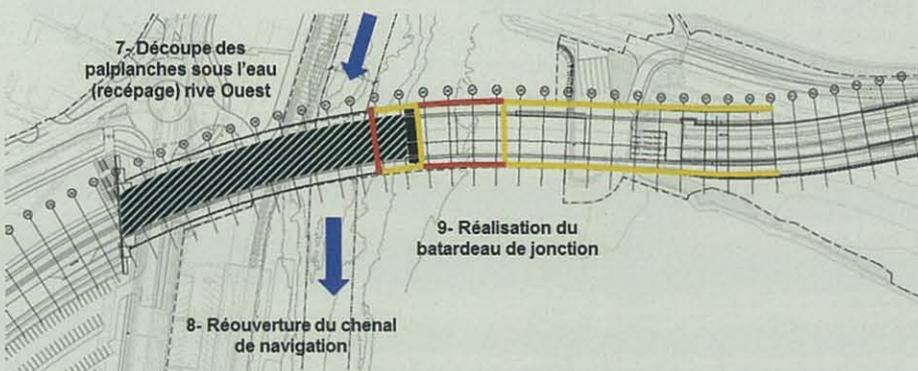
© F. HENRY - AUTEURS DE VUES

PREMIÈRE PHASE



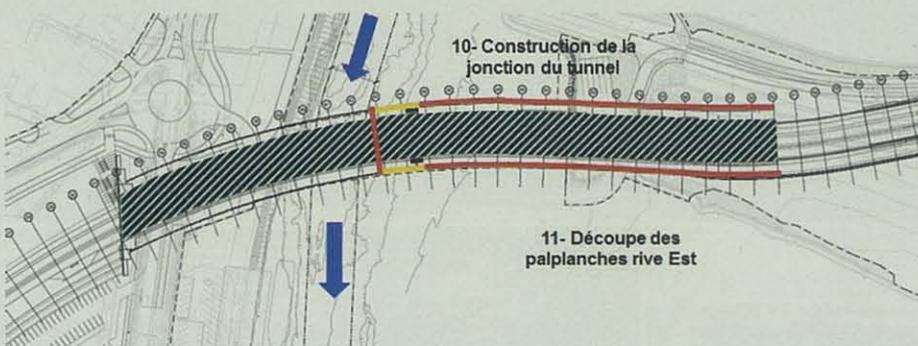
© GROUPEMENT CR
13b

DEUXIÈME PHASE



© GROUPEMENT CR
13c

TROISIÈME PHASE



© GROUPEMENT CR
13d

loppement du feu (capacité portante de la structure, étanchéité de l'ouvrage, isolation pour éviter la transmission de la chaleur notamment dans la voie douce).

La formulation de béton a donc été testée par un essai de convenance, reproduisant l'évolution des contraintes de compression dans la zone de la

13b- Première phase.
13c- Deuxième phase.
13d- Troisième phase.

13b- Phase one.
13c- Phase two.
13d- Phase three.

structure sensible à l'éclatement lors des 240 minutes de montée en température. L'objectif de l'essai est de déterminer l'écaillage au cours de la sollicitation thermique, afin de s'assurer qu'il soit compatible avec les tolérances d'enrobage des armatures pris en compte dans le dimensionnement de la structure.

L'essai a été réalisé dans les locaux du Cerib, dans le laboratoire d'essais au feu Prométhée. Une première série d'essais a été réalisée sur des dalles présentant des dosages en fibres différenciés : 1,2 kg/m³, 1,6 kg/m³ et 2 kg/m³.

Ces premiers essais ont permis de mettre en évidence la malaxabilité et les possibilités de mise en œuvre des bétons selon ces différents dosages, ainsi que leur réaction au feu.

Le dosage final retenu en fibres, testé dans le cadre des essais de convenance sur une dalle de dimensions représentative de la structure de l'ouvrage est de 1,2 kg/m³.

La dalle testée a une surface de 8 m x 1,6 m et une épaisseur de 0,35 m.

LES CONTRAINTES DE RÉALISATION

LIMITATION DES NUISANCES

L'ouvrage est de grande ampleur, dans un contexte urbain consolidé. La réalisation des travaux a fait l'objet de toutes les attentions afin de limiter la gêne des usagers, des riverains, ainsi que de la navigation.

Les travaux de réalisation du batardeau ont été particulièrement impactants en termes de nuisance acoustique liée aux opérations de battage.

Ces travaux ont fait l'objet de mesures acoustiques et de modélisations sur le logiciel CadnA permettant de s'assurer que les niveaux sonores perçus par les usagers étaient acceptables au regard de la réglementation (figure 9).

Cette démarche a permis de mettre en évidence les points critiques des opérations de battage et de prendre les mesures de protection nécessaires.

MAINTIEN DE LA NAVIGATION MARITIME

Situé sur la porte d'accès au port de plaisance de Vannes et à proximité immédiate du port de commerce et de la gare maritime, le chantier du tunnel de Kérino était conditionné par le maintien de la navigation. L'ouvrage constituant une liaison entre la rive Est et la rive Ouest, le maintien de la navigation a imposé un phasage par demi-côtés, déviant le chenal existant vers un chenal provisoire.

Le pont de Kérino a été maintenu en fonctionnement pendant toute la durée du chantier. Un balisage maritime spécifique en phase travaux, respectant les règles de navigation, a été mis en place.

SENSIBILITÉ ENVIRONNEMENTALE DU SITE

Situé dans le parc naturel régional et dans le site d'intérêt communautaire du Golfe du Morbihan Natura 2000, le projet est soumis à enquête publique et à autorisation au titre de la loi sur l'Eau.

À ce titre, des mesures de suivi environnemental ont été mises en place lors des travaux de dragage, de nivellement des fonds et de terrassements.

Un rapport journalier a été établi pour le suivi des matières en suspension et transmis régulièrement à la police de l'eau.

Le chantier a notamment été équipé de bacs de décantation successifs munis de filtres à paille et de géo-grilles recueillant les eaux de pompage dans l'enceinte du batardeau avant rejet dans le milieu naturel.

L'opération a également fait l'objet d'un suivi écologique faune-flore mettant en évidence les éventuelles



14a

© GROUPEMENT CR

14a- Mise en place du ferrailage des voiles.

14b- Ferrailage voiles.

14c- Table coffrante de la traverse.

14d- Ferrailage de la traverse.

14a- Placing reinforcing bars for shear walls.

14b- Reinforcing bars for shear walls.

14c- Flying form for the cross-piece.

14d- Reinforcing bars for the crosspiece.

incidences de l'opération sur le milieu naturel, tant en phase chantier qu'en fonctionnement.

Ce suivi a permis de montrer que cette opération de grande ampleur a été menée dans le respect des préconisations environnementales

MÉTHODES DE RÉALISATION ET PHASAGE

PAROI D'ÉTANCHÉITÉ ET INJECTIONS

Compte tenu de la présence de l'eau dans le terrain et des possibilités d'inondation en cas de crues de la



14b

© GROUPEMENT CR



14c



14d

© GROUPEMENT CR

zone de construction du projet, il a été mis en œuvre une paroi d'étanchéité en périphérie de la totalité de la trémie Ouest. Cette paroi est constituée d'une paroi en coulis de type DIWA-Mix 180 de largeur 60 cm descendue jusqu'au toit du substratum (figure 8).

Le rideau d'étanchéité prévu dans les couches alluvionnaires est complété par des injections dans le substratum fracturé sur une hauteur d'environ 5 m permettant de réduire nettement le débit des éventuelles venues d'eau.

RÉALISATION DES BATARDEAUX

La méthodologie retenue pour la réalisation du passage sous-fluvial au droit de la rivière existante, la Marle, est une construction en 3 phases à l'abri d'un batardeau en palplanches. Une partie du batardeau est réalisée à l'aide de moyens terrestres et l'autre au niveau de la rivière La Marle à l'aide de moyens nautiques, avec une grue à chenille de 90 t embarquée sur une barge (figure 10). Les rideaux de palplanches

battus, chaque caisson en palpieux (tube) est raciné par le scellement d'un pieux de diamètre 193,7 mm, épaisseur 12 à 30 mm dans un forage de diamètre 300 mm. Pour réaliser ce racinage dans la partie nautique du batardeau la foreuse et la centrale d'injection ont été installées sur une plateforme auto-élévatrice, déplacée par un navire de servitude (figures 11a et 11b). Ce racinage est ensuite complété par un blocage en pied des palplanches par tirants et liernes en béton et par un à trois lits de butons sur la hauteur du rideau (figures 12a et 12b).

L'étanchéité des batardeaux perchés sur le toit rocheux est complétée par un rideau d'injections (figure 12c) sur la hauteur du substratum et jusqu'à 6 m sous le fond de fouille.

Les différentes phases constructives de ce batardeau sont les suivantes :

- 1- Mise en place du chenal provisoire de navigation (figures 13a et 13b) ;
- 2- Réalisation du batardeau en rive Ouest ;

3- Réalisation de la partie terrestre et d'une partie nautique du batardeau en rive Est ;

4- Construction de la 1^{re} moitié du tunnel en rive Ouest ;

5- Construction de la 2^e moitié du tunnel ;

6- Étanchéité de l'extrémité du batardeau ;

7- Découpe des palplanches sous l'eau (recépage) rive Ouest ;

8- Réouverture du chenal de navigation ;

9- Réalisation du batardeau de jonction (figure 13c) ;

10- Construction de la jonction du tunnel ;

11- Découpe des palplanches rive Est (figures 13c et 13d).

RÉALISATION DU GÉNIE CIVIL

Au regard des contraintes imposées par les lits de butons du batardeau et par le planning tendu restant pour la réalisation du génie civil, des outils spécifiques ont été développés pour

la réalisation des voiles et des dalles du cadre.

Les objectifs principaux recherchés étaient de minimiser les manutentions à travers les butons et de permettre la réalisation des ferrillages des plots en amont des rotations de coffrage et les bétonnages.

Ainsi, les ferrillages des voiles ont été mis en place à l'avancement avec des systèmes de basculeurs (figure 14a) ne nécessitant aucune manutention à la grue et permettant une libre rotation des portiques de coffrages de voiles eux-mêmes autonomes dans leur déplacement (figure 14b).

Selon les mêmes concepts, un système hybride de tables de ferrillage et de coffrage avec une clef centrale unique a permis la réalisation des ferrillages de dalle préalablement au cycle de bétonnage des plots de traverses (figures 14c et 14d).

Les 250 m du tunnel ont ainsi pu être réalisés dans un délai cumulé de 7 mois. □

INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Ville de Vannes

PROJET DE PARTENARIAT PUBLIC PRIVÉ : Vinci Construction France et sa filiale de développement immobilier Adim Ouest, intégrant un contrat de Conception Réalisation, dont Gtm Ouest (filiale de Vinci Construction France) est mandataire :

- **Concepteurs :** Ingerop Conseil et Ingénierie (mandataire du sous groupement de conception), Anteagroup (pour les compétences dragage) et Enet Dolowy (pour les compétences architecturales et de paysage)
- **Réalisateurs :** Gtm Ouest (mandataire du sous groupement de réalisation) et Cofely Inéo (équipements)

CONTRÔLE TECHNIQUE ET COORDONNATEUR SÉCURITÉ : Socotec

CONTRAT EXPLOITATION, ENTRETIEN ET MAINTENANCE :

Gtm Ouest (mandataire) et Cofely Inéo

PRINCIPALES DIMENSIONS ET QUANTITÉS

DIMENSIONS DE L'OUVRAGE :

- Longueur totale du passage (trémies + tunnel) : 580 m
- Longueur du tunnel : 250 m
- Largeur utile : 15,20 m
- Surface tablier : 4 300 m²

MATÉRIAUX DE L'OUVRAGE :

- Terrassement : 82 000 m³
- Béton : 15 000 m³
- Armatures : 2 200 t
- Palplanches mises bout à bout : 7,5 km
- Palplanches : 1 000 t
- Butons et liernes : 600 t

DURÉE DES TRAVAUX : 36 mois, achèvement des travaux en juin 2016

ABSTRACT

KÉRINO RIVER UNDERPASS

SAÏD EL BARKAOU, INGÉROP - STÉPHANE PLAGNOL, GTM - FRÉDÉRIQUE BAUDOUIN, INGÉROP

The Kérino river underpass is an engineering structure located in a sensitive urban environment, which therefore required high-tech work methods. 250 metres long, in an enclosed frame, including access shafts at either end, this structure accepts pedestrian, bicycle and road traffic without disturbing maritime traffic for access to the marina. It complies with the safety and fire resistance rules for an underground passageway. The work was performed in an undulating geotechnical environment and, for execution of the civil works on dry land, a complex cofferdam had to be set up, consisting of box piles and sheet piling, held in position by struts on various levels. □

PASO SUBFLUVIAL DE KÉRINO

SAÏD EL BARKAOU, INGÉROP - STÉPHANE PLAGNOL, GTM - FRÉDÉRIQUE BAUDOUIN, INGÉROP

El paso subfluvial de Kérino es una obra cuya localización en un contexto urbano y medioambientalmente sensible ha exigido métodos de realización de alta tecnología. Con una longitud de 250 m en marco cerrado y huecos de acceso a cada lado, esta obra permite la circulación de peatones, bicicletas y tráfico viario sin perturbar el tráfico marítimo de acceso al puerto deportivo. Respeto las normas de seguridad y de resistencia al fuego de un subterráneo. Su realización en un contexto geotécnico accidentado ha impuesto, para la realización de la ingeniería civil en seco, la construcción de una ataguía compleja, formada por pilotes y tablestacas, y sujeta por diferentes niveles de codales. □