

TRAVAUX DE REMISE EN ÉTAT DES AQUEDUCS DE VIDANGE ET DE REMPLISSAGE DE 2 BASSINS DE LA BASE NAVALE DE BREST

AUTEURS : ANNE HONNEUR, CHEF DE SERVICE MARITIME ET PORTUAIRE AGENCE DE RENNES, INGEROP CONSEIL ET INGÉNIERIE - SÉBASTIEN QUÉRÉ, INGÉNIEUR CHEF DE PROJET, INGEROP CONSEIL ET INGÉNIERIE - GILDAS LE CORRE, INGÉNIEUR TRAVAUX, MARC SA - FRÉDÉRIC BUCHHOLZER, RESPONSABLE BUREAU D'ÉTUDES, MARC SA - ALAIN LAOT, ESID BREST

LES BASSINS DE LA BASE NAVALE DE BREST SONT DES OUVRAGES MAJEURS POUR L'ENTRETIEN DES NAVIRES DE LA MARINE NATIONALE. CONSTRUITS ENTRE 1910-1919 ET PROFONDÉMENT REMANIÉS APRÈS-GUERRE, L'ENTRETIEN RÉGULIER DONT ILS FONT L'OBJET PERMET D'ASSURER LEUR PÉRENNITÉ. UN RÉSEAU D'AQUEDUCS RELIÉ AUX BASSINS ET À LA STATION DE POMPAGE PERMET LES DIFFÉRENTS MOUVEMENTS D'EAU (> 40 000 m³/h) LIÉS À L'EXPLOITATION DE CES BASSINS. DEPUIS 2016, L'ESID DE BREST A ENGAGÉ D'IMPORTANTES TRAVAUX DE RÉHABILITATION DE CET OUVRAGE HORS NORMES.



© NAVAL GROUP
2

LE CONTEXTE DU PROJET

Les bassins situés au cœur de l'enceinte de la base navale de Brest sont des formes de radoub de conception relativement similaire (figure 2). Ces bassins construits entre 1910 et 1919 et remaniés dans les années 1950 ont pour but la mise en cale sèche des bateaux pour entretien.

2- Exemple d'un bassin en exploitation.

2- Example of a dock in operation.

Les mouvements d'eau des bassins (vidange/remplissage) sont réalisés au moyen d'une station de pompage souterraine réalisée entre 1947 et 1950 et d'un ensemble d'aqueducs.

Les travaux de rénovation de la présente opération concernent ces aqueducs. Ceux-ci ont été construits entre 1947 et 1955.

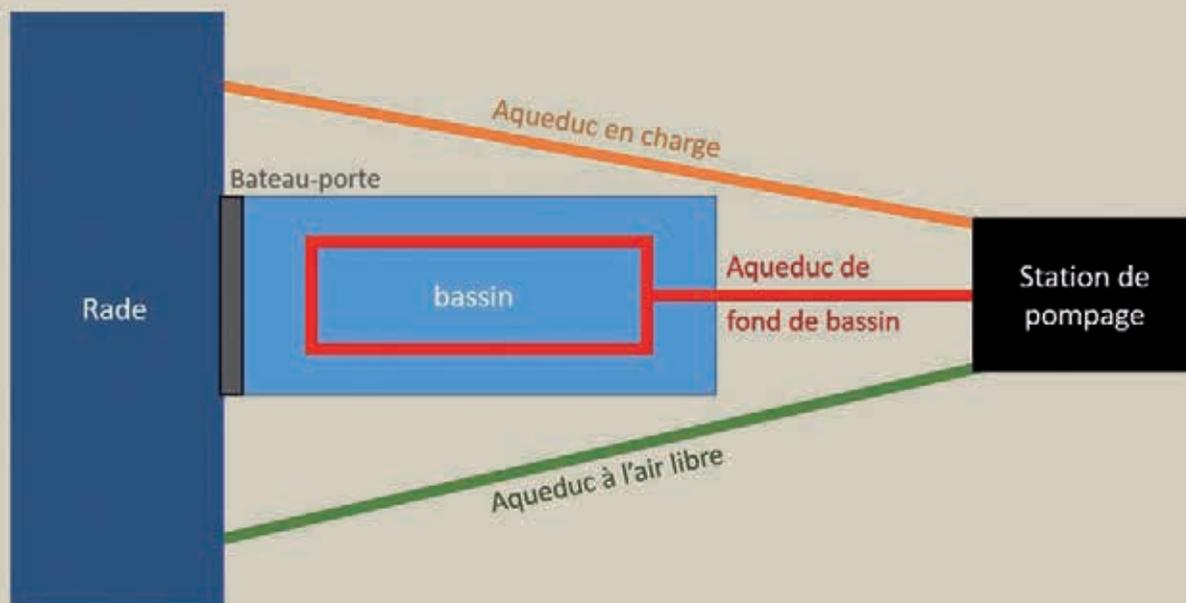
On distingue 2 groupes d'ouvrages dans ce réseau d'aqueducs (figure 3) :

- Les aqueducs d'aspiration/remplissage en fond de bassin reliant les bassins à la station de pompage, nommés "aqueduc de fond de bassin" ;
- Les aqueducs de remplissage et de vidange reliant la station de pompage à la mer, nommés "aqueduc en charge" et "aqueduc à l'air libre".

Le projet consiste en la réfection des aqueducs des bassins, sur le site de la Base Navale de Brest. Les travaux sont réalisés dans le cadre d'un marché de Conception Réalisation par le groupement Marc SA (mandataire, responsable de la réalisation), Ingerop (cotraitant, responsable de la conception), Creoccean (cotraitant, responsable des études environnementales) et Geos (sous-traitant géotechnique) comportant :

- L'ingénierie de conception et réalisation ;
- Les prestations intellectuelles relatives aux études environnementales ;
- Les travaux de réfection des aqueducs :
 - L'aqueduc de refoulement en charge,
 - Les aqueducs de fond de bassins. ▷

SCHÉMA DE PRINCIPE DU RÉSEAU D'AQUEDUCS AVEC UN SEUL BASSIN



3

RAPPEL HISTORIQUE

Commencés en 1910, ces bassins de la base navale de Brest ont été achevés au cours de la première guerre mondiale. Durant un quart de siècle leurs dimensions ont satisfait les besoins de la Marine française. Cependant, à la veille de la seconde guerre mondiale, il est envisagé la création d'un nouveau bassin à proximité pour permettre l'accueil de navires plus importants.

Au cours de la seconde guerre mondiale, ces bassins furent utilisés par les Allemands et quelque peu remaniés. Puis, juste avant la reddition allemande, les bassins furent sabordés afin de les rendre inutilisables. Dès 1945, la Marine française souhaita leur remise en état. Les travaux de réhabilitation et de rénovation des bassins commencèrent en 1947 et s'achevèrent en 1950. La Marine nationale profita de ces travaux, pour allonger les 2 bassins d'environ 60 m vers la rade, à l'abri d'un batardeau de 300 m, afin de permettre l'accueil de navires plus importants. La réalisation d'un nouveau bassin n'était alors plus nécessaire.

Enfin, l'expérience de la guerre avait mis en relief la vulnérabilité des installations de remplissage et de vidange des bassins. Il fut donc également entrepris de réaliser une nouvelle station de pompage souterraine ainsi qu'un réseau d'aqueducs entre 1947 et 1955 (figure 4). Ces solutions per-

mettaient d'obtenir une protection efficace des organes de remplissage et de vidange, nécessaires à la sécurité de l'installation.

DESCRIPTIF DU PROJET

Le réseau d'aqueducs, soumis à des mouvements d'eau très réguliers, a subi des dégradations au cours de son exploitation. L'enjeu du projet consiste en la réfection de l'ensemble de ce

3- Schéma de principe fonctionnel du réseau.

4- Aqueduc en charge 1951.

3- Functional block diagram of the network.

4- Aqueduct in service in 1951.

réseau d'aqueducs, pour permettre de pérenniser les installations de vidange, pompage et remplissage, mais également pour assurer la sécurité de la station de pompage en évitant que les dégradations constatées sur les aqueducs entraînent un risque d'endommagement des pompes de la station souterraine. Les aqueducs concernés par les présentes rénovations sont présentés ci-dessous.

AQUEDUCS DE FOND DE BASSIN

Ces aqueducs se situent sous les radiers des bassins (figures 5 et 6). Ils sont constitués :

- D'aqueducs de fond de bassin composés de deux branches d'une longueur de 190 m environ chacun, ils communiquent entre eux au sud par un rameau Est-Ouest ;
- D'aqueducs d'aspiration/remplissage qui relient les aqueducs de fond de bassin à la station de pompage. Ils se composent de 2 ovoïdes qui relient les branches Est et Ouest à une galerie de jonction avec la station de pompage.

AQUEDUCS EN CHARGE

Cet aqueduc se situe sous le niveau 0 CM96, c'est-à-dire sous le niveau des plus basses mers et, par conséquent, celui-ci est toujours rempli d'eau, d'où son appellation d' "aqueduc en charge". Il s'agit d'un ovoïde de plus



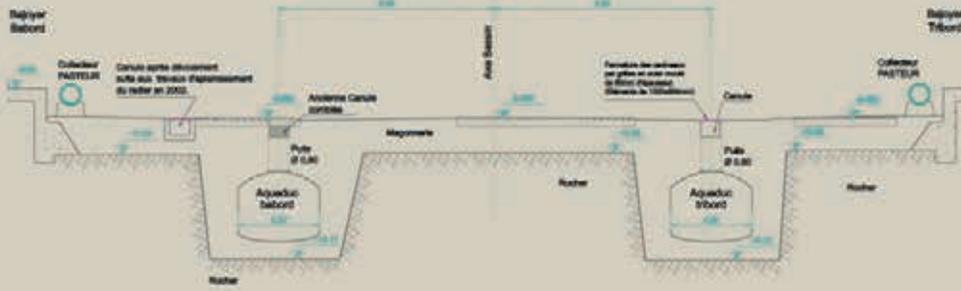
4

© REVUE TRAVAUX NOVEMBRE 1953

VUE EN COUPE DES AQUEDUCS SOUS BASSIN

© MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

5



de 500 m de longueur, de section "fer à cheval", fermé par un radier et de largeur et hauteur identiques de 2,93 m sur toute la longueur. La section intérieure utile dégagée est de 7 m².

Les caractéristiques connues sont :

- L'aqueduc a été construit dans la roche à l'aide d'explosif ;
- Le revêtement de l'aqueduc est en béton non armé ;

5- Vue en coupe des aqueducs sous bassin.

6- Aqueducs de fond de bassin.

5- Cross-section view of the aqueducts under the dock.

6- Aqueducts at bottom of dock.

- L'épaisseur théorique du radier est de 30 cm (mais les investigations indiquent des épaisseurs variables de 10 à 30 cm) ;
- L'épaisseur théorique des piedroits et de la voûte est de 40 cm (mais les investigations indiquent des épaisseurs variables de 30 à 55 cm pour la voûte et de 40 à 70 cm pour les piedroits).

LES CONTRAINTES TECHNIQUES

Les contraintes techniques peuvent être regroupées suivant 5 axes majeurs : la géologie, la continuité opérationnelle du site durant les travaux, les performances des ouvrages à maintenir, les contraintes environnementales et les contraintes d'accès et de travail en milieu confiné.

CONTRAINTES GÉOTECHNIQUES ET HYDROGÉOLOGIQUES

Les contraintes géologiques sont multiples et ont dû être analysées et prises en compte pour permettre de limiter les risques lors de la phase travaux, notamment pour la rénovation de l'aqueduc en charge.

En effet, cet ouvrage n'ayant jamais été vidangé depuis sa construction, les perméabilités du revêtement de l'aqueduc, des remblais, du rocher et les venues d'eau éventuelles n'étaient pas connues.

Des études ont donc été menées pour estimer ces éléments afin de sécuriser ▷



© MARC SA

6

les travaux, et déterminer notamment les débits de pompage attendus lors de la réalisation des ouvrages.

CONTRAINTES D'EXPLOITATION

Pendant toute la durée des travaux sur l'aqueduc de refoulement en charge, la continuité opérationnelle des bassins doit être assurée. Ceci implique que des navires continueront d'être mis en cale pendant les travaux, dont la durée était initialement estimée à 12 mois. Durant cette période, seul un second aqueduc, appelé "aqueduc à l'air libre", assure la fonction de remplissage et de vidange avec les contraintes d'exploitation associées. En cas de besoin, des pompes de secours sont prévues pour permettre de sécuriser le maintien à sec des bassins.

PERFORMANCE DES OUVRAGES À CONSERVER

Afin d'assurer la continuité opérationnelle des ouvrages après travaux en conservant le même niveau de service, les travaux de rénovation des aqueducs

ne doivent pas conduire à une régression des performances des installations. Dans ce cadre, le projet prévoit donc la remise en état "à l'identique" des aqueducs, afin de maintenir les caractéristiques géométriques des ouvrages pour permettre de garantir les performances hydrauliques initiales de la station de pompage.

IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Dans le cadre de ce projet, des études environnementales ont été réalisées afin de s'assurer de la prise en compte des contraintes relatives à l'environnement et de respecter les procédures réglementaires préalables aux travaux, conformément à la loi sur l'eau. Les méthodologies de remise en état des aqueducs prévoient une mise à sec de l'aqueduc en charge pour la réalisation des travaux avec mise en place de batardeaux côté mer.

Les phases travaux doivent prendre en compte la proximité immédiate du milieu marin en mettant en œuvre les moyens

adaptés pour éviter tout rejet en mer lors de l'évacuation des déchets solides. Il a donc été prévu pour cela la mise en place de bassins de décantation pour le traitement des eaux des zones de travaux avant tout rejet en mer.

CONTRAINTES D'ACCÈS ET MILIEU CONFINÉ - AQUEDUC EN CHARGE

L'aqueduc en charge a une section relativement réduite de 7 m² pour permettre de réaliser aisément les travaux (figures 4 et 9) et a une longueur importante (> 500 m). Afin de permettre la réalisation des travaux et pour garantir la sécurité des travailleurs, il a été envisagé de réaliser des puits d'accès travaux. Cet ouvrage complémentaire permet, en plus de faciliter l'accès des travailleurs et d'assurer l'approvisionnement en matériaux et matériels, de créer une issue de secours supplémentaire au milieu de l'aqueduc. Cet ouvrage sera présenté plus en détail dans la suite de l'article.

LES CONTRAINTES DE RÉALISATION

TRAVAUX DE RÉFECTION DE L'AQUEDUC EN CHARGE
Pour les travaux de réfection de l'aqueduc en charge les principales

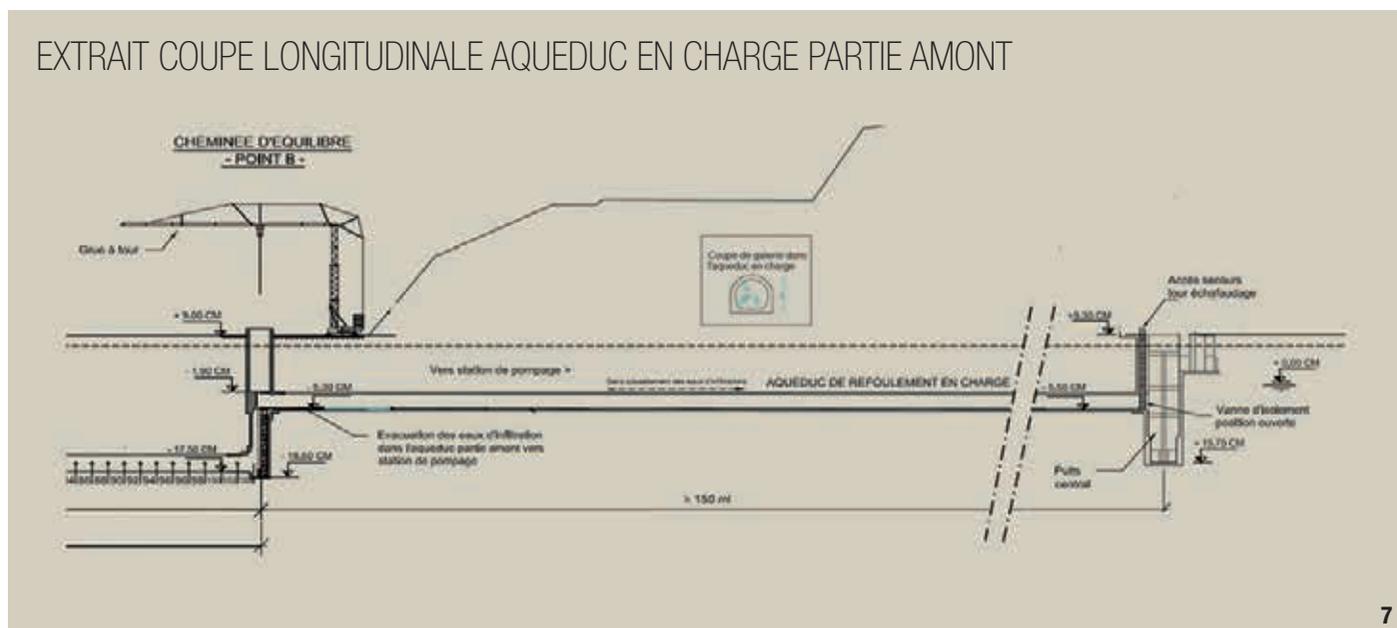
7- Extrait coupe longitudinale aqueduc en charge partie amont.

8- Extrait coupe longitudinale aqueduc en charge partie aval.

7- Excerpt from longitudinal section of aqueduct in service, upstream section.

8- Excerpt from longitudinal section of aqueduct in service, downstream section.

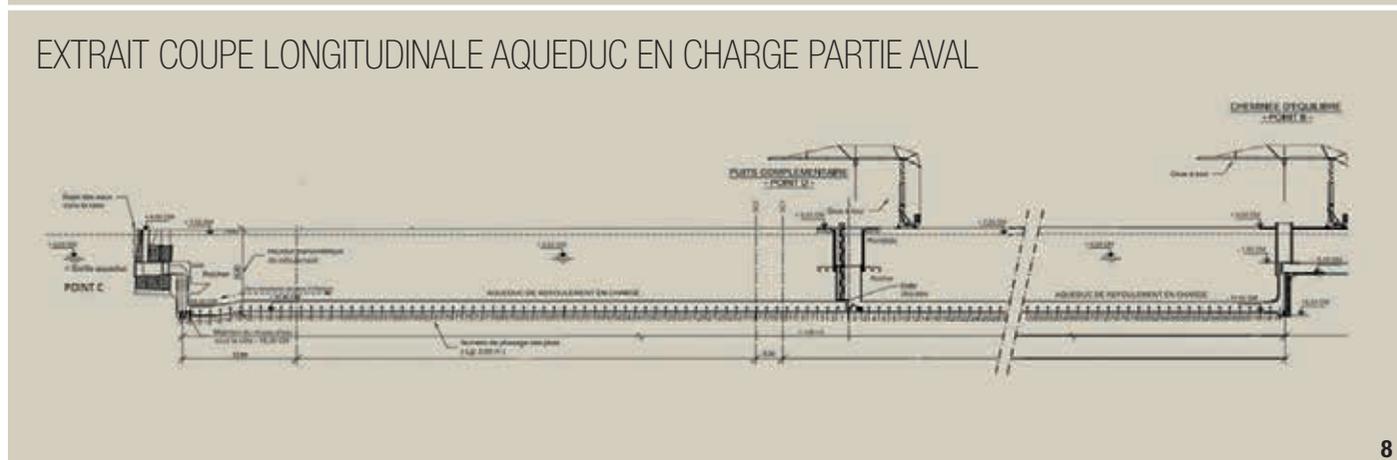
EXTRAIT COUPE LONGITUDINALE AQUEDUC EN CHARGE PARTIE AMONT



7

© MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

EXTRAIT COUPE LONGITUDINALE AQUEDUC EN CHARGE PARTIE AVANT



8

© MINISTÈRE DE LA DÉFENSE



© ESD

9

contraintes de réalisation sont liées à la stabilisation provisoire de l'ouvrage à sec en phase travaux, à la mise au sec de l'aqueduc et à l'accès.

Compte tenu des seuls accès existants par les points B et C (figures 7 et 8), le groupement a prévu la réalisation d'un puits d'accès en partie centrale du tronçon aval de l'aqueduc en charge. Ce puits d'accès intermédiaire, d'une hauteur totale de plus de 26 m, permet d'accéder à l'aqueduc en sécurité,

9- Butons mis en place.

10- Travaux de réfection des aqueducs fond de bassin.

9- Struts placed in position.

10- Repair work on aqueducts at bottom of dock.

de mener les travaux simultanément vers l'amont et l'aval et d'optimiser ainsi le délai global des travaux. Cet accès est doté d'une tour escalier pour permettre l'évacuation des intervenants et d'un monte-charge pour les approvisionnements et évacuations nécessaires à la réalisation du chantier. Ce puits a permis également au groupement de descendre dans l'aqueduc les systèmes d'extraction/ventilation et d'éclairage nécessai-

res à la sécurité des intervenants. Il est à noter que le puits d'accès prévu par le groupement s'inscrit dans l'emprise d'un puits de service utilisé lors de la construction de l'aqueduc en 1951.

Pour la mise à sec de l'ouvrage, il a été nécessaire de déterminer à l'aide d'une campagne de reconnaissance géotechnique complémentaire les moyens de pompage à mettre en œuvre pour vider l'aqueduc en charge et évacuer les éventuelles venues d'eau résiduelles en fonction de la perméabilité des remblais, du rocher et des parois de l'aqueduc.

La solution retenue consiste en l'utilisation de pompes immergées, en capacité et en nombre suffisants, afin d'en assurer le remplacement en cas de panne avec les pompes de secours stockées sur le chantier, et de réaliser une mise à sec progressive de l'aqueduc en charge. Il a également été prévu de réaliser des événements dans le radier pour permettre d'évacuer l'eau éventuellement présente sous le radier et ainsi réduire autant que possible les sous-pressions résiduelles pendant la durée des travaux.

Pour l'isolement et l'obturation de l'aqueduc en charge pendant les travaux, il a été prévu la mise en place de batardeaux côté rade au point C.

La mise à sec de l'aqueduc devait aussi s'accompagner de la maîtrise et du contrôle des eaux chargées (turbidité et micropolluant), de la gestion des déchets, de l'évacuation des sédiments en filière contrôlée afin de respecter la qualité des eaux rejetées en rade de Brest, ce point constituant la principale contrainte environnementale du projet. ▷



© MARC SA

10

Pour la stabilisation provisoire de l'ouvrage à sec en phase travaux il a été nécessaire de concevoir et mettre en œuvre, avant pompage, à l'aide de plongeurs scaphandriers, des butons transversaux (figure 9) entre les piédroits de l'aqueduc en charge.

Ce butonnage est fonction de la qualité du massif et du radier existants et a été déterminé par une estimation des efforts repris par la structure en fonction de la charge du terrain et de la pression d'eau. Une fois l'aqueduc mis à sec et après constat de l'état de l'ouvrage et des faibles venues d'eau résiduelles, une partie des butons a pu être déposée sans risque pour l'ouvrage, avant réalisation du nouveau radier.

TRAVAUX DE RÉFECTION DES AQUEDUCS DE FOND DE BASSINS

Pour les travaux de réfection des aqueducs de fond de bassins

- les principales contraintes de réalisation sont liées à la nécessité de maintenir au plus bas le niveau d'eau dans les aqueducs à l'aide des pompes d'assèchement de la station de pompage et de dévier les gros débits d'eau en provenance du côté mer des bassins. Le détail de ces travaux est le suivant :
- Repiquage et purge des anciens enduits et bétons dégradés ;
 - Mise en place de drains en piédroits et voûtes afin de canaliser les eaux d'infiltration traversant les parois des aqueducs ;
 - Campagne généralisée de traitement des cavités et décollements des enduits au niveau des piédroits et voûte des aqueducs ;
 - Réalisation de purges et ragréages localisés au niveau du radier (figure 10).

Ces travaux nécessitent la mise à sec par tronçons des aqueducs, à l'aide de rétentions provisoires et de moyens de pompage adaptés.

MÉTHODE DE RÉALISATION ET PHASAGE

TRAVAUX DE L'AQUEDUC EN CHARGE

Le phasage de réalisation retenu par le groupement pour la réfection de l'aqueduc en charge, et notamment la réfection totale du radier, est le suivant :

- Mise en œuvre d'un batardeau en sortie d'aqueduc côté mer et installation de moyens de pompage adaptés ;
- Mise en œuvre par plongeurs de butons avant mise à sec de l'aqueduc (figure 9) ;



11 © INGEROP

- Mise à sec de l'aqueduc sur une période de 2 jours afin de réduire le gradient hydraulique lors de cette phase transitoire et suivi de l'évolution éventuelle des structures ;
- Démolition du radier existant par plots à l'aide d'engins électriques (figure 11) ;
- Évacuation des gravats ;
- Réalisation du plot de radier reconstruit en béton armé (figure 12) ;
- Dépose des butons à l'avancement des coulages du radier ;
- Réalisation d'évents dans le radier permettant de capter les éventuelles

11- Travaux de réfection de l'aqueduc en charge - démolition du radier.
12- Réalisation du ferrailage du radier.

11- Repair work on the aqueduct in service - demolition of the foundation raft.
12- Execution of foundation raft reinforcement.

- venues d'eau sous radier et de limiter les sous-pressions ;
- Réfection des zones de parements dégradés des piédroits et de la voûte (figure 1).

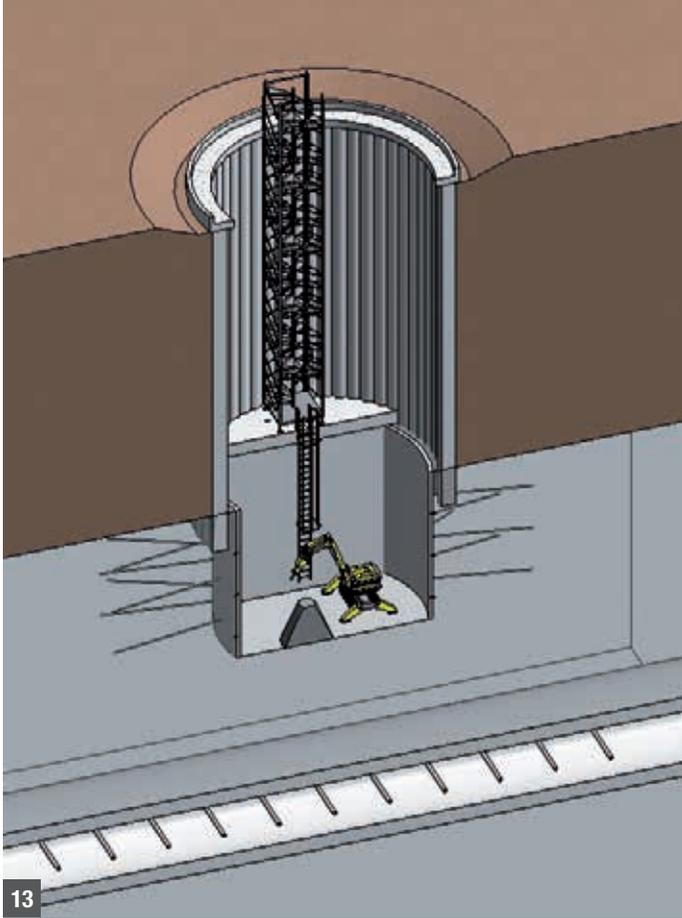
PHASAGE DE RÉALISATION DU Puits D'ACCÈS

Afin de permettre la réalisation des travaux de réfection de la partie aval de l'aqueduc en charge dans les délais prévus (voir ci-avant), le groupement a imaginé la réalisation du puits d'accès intermédiaire (figures 13 et 14), dont le phasage de réalisation retenu est le suivant :

- Réalisation de pieux sécants du niveau du terrain naturel jusqu'au toit du rocher ;
- Réalisation d'un rideau d'injection à l'extérieur de l'enceinte en pieux sécants ;
- Terrassements des sables jusqu'au toit du rocher et réalisation d'une lierne en béton armé ;
- Terrassements dans le rocher ;
- Mise en œuvre de clous dans le rocher pour assurer sa stabilité ;
- Coffrage et coulage d'une paroi en béton armé par levée de 2,40 m de hauteur du toit du rocher jusqu'au toit de l'aqueduc ;
- Réalisation d'une dalle béton d'assise au niveau du toit de l'aqueduc pour permettre l'installation des accès et des équipements ;
- Démolition de la voûte de l'aqueduc ;
- Mise en place d'une tour escalier d'accès, d'un monte-charge et des équipements de sécurité nécessaire (extraction/ventilation, éclairage, pompage, ...).



12 © INGEROP



13

© INGEROP



14

© INGEROP

TRAVAUX SUR LES AQUEDUCS DE FOND DE BASSIN

Le phasage de réalisation retenu par le groupement pour les travaux de réfection des aqueducs de fond de bassins est défini ci-dessous. Il consiste en deux actions principales : le traitement des défauts du radier puis le traitement des parois verticales et de la voûte (figure 10).

Traitement des défauts du radier :

- Confection de batardeaux pour la mise à sec du tronçon à traiter ;
- Installation de pompes immergées pour pompage des eaux ;
- Délimitation des cavités à combler ;
- Repiquage pour enlèvement des parties non adhérentes ;
- Comblement au mortier ou au micro-béton suivant le volume à traiter.

Traitement des parois verticales et de la voûte :

- Installation planchers de travail ;
- Repérage contradictoire puis découpage de la zone à ragréer ;
- Décapage au marteau piqueur ;
- Forages et scelllements de drains ;
- Réparation des parements par mortier projeté en une ou plusieurs passes suivant l'épaisseur ;
- Nettoyage de la zone et évacuation des déchets. □

13- Modélisation du puits travaux.
14- Puits travaux en cours de réalisation.

13- Work shaft modelling.
14- Work shaft undergoing construction.

CHIFFRES CLÉS

STATION DE POMPAGE : 4 pompes de vidange/remplissage de débit unitaire 21 600 m³/h

AQUEDUCS : Près de 2000 m de galerie à remettre en état (section de travail minimale : 7 m²)

BUTONNAGE PROVISoire : 160 butons à positionner par des scaphandriers entre -17 m et -25 m du niveau de la mer

PUITS TRAVAUX PROVISoire : Puits d'accès de 25 m de hauteur à réaliser en pieux sécants et parois clouée

DURÉE DES TRAVAUX : Approximativement 3 ans

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Établissement du service d'infrastructure de la Défense de Brest

GROUPEMENT DE CONCEPTION-RÉALISATION :
Groupement Marc SA (mandataire) / Ingerop (cotraitant) / Creocan (cotraitant) / Geos (sous-traitant)

ABSTRACT

REPAIR WORK ON THE AQUEDUCTS FOR EMPTYING AND FILLING 2 DOCKS AT BREST NAVAL BASE

A. HONNEUR, INGEROP CONSEIL ET INGÉNIERIE - S. QUÉRÉ, INGEROP CONSEIL ET INGÉNIERIE - G. LE CORRE, MARC SA - F. BUCHHOLZER, MARC SA - A. LAOT, ESID BREST

The works aim to repair the aqueducts needed for draining docks 8 and 9 at Brest Naval Base, which were constructed more than 100 years ago. The works are performed in a confined and cramped environment on structures located below sea level, with severe operating constraints related to the site's military activity. Complete draining of the structure in a complicated geological environment required in-depth design and methodological studies, taking into account the possible environmental impact involved. An access shaft created specifically for the operation allows secure access to the structures and optimises the work completion time. □

TRABAJOS DE REHABILITACIÓN DE LOS ACUEDUCTOS DE DRENAJE Y LLENADO DE 2 ESTANQUES DE LA BASE NAVAL DE BREST

A. HONNEUR, INGEROP CONSEIL ET INGÉNIERIE - S. QUÉRÉ, INGEROP CONSEIL ET INGÉNIERIE - G. LE CORRE, MARC SA - F. BUCHHOLZER, MARC SA - A. LAOT, ESID BREST

Las obras tienen como objetivo rehabilitar unos acueductos necesarios para drenar los estanques 8 y 9 de la Base Naval de Brest, construida hace más de 100 años. Las obras se llevarán a cabo en un entorno confinado y exiguo, sobre construcciones situadas bajo el nivel del mar, con fuertes limitaciones operativas derivadas de la actividad militar de la base. El drenaje completo de la construcción en un contexto geológico complicado ha precisado profundos estudios de diseño y método, teniendo en cuenta el eventual impacto medioambiental asociado. Un pozo de acceso creado específicamente para la operación protege el acceso a las obras, al tiempo que optimiza el plazo de realización. □