

ALDILONDA : ANCRAGES PRECONTRAINTS SUR-MESURE POUR LA REALISATION D'UNE PASSERELLE SUSPENDUE AU-DESSUS DE L'EAU A BASTIA PAR NGE FONDATIONS

ALDILONDA: SUITABLE PRECONTRAINTS ANCHORAGE FOR SUSPENDED FOOTBRIDGE ABOVE THE SEA IN BASTIA

P.GIRARDI ¹, A.HALARY ², C.PERRUQUETTI ³, J.B GOUSSE ⁴

¹ NGE FONDATIONS – Directeur Scientifique et Technique

² NGE FONDATIONS – Ingénieur Matériel – Service Recherche et Innovation

³ NGE FONDATIONS – Ingénieur Travaux Confortement

² NGE FONDATIONS – Responsable Exploitation Génie Civil

RESUME

La réalisation d'une promenade sur la mer à Bastia (Corse) a nécessité entre autres la mise en œuvre de consoles en béton armé préfabriquées, de portée 3.15m à 6.15m et ancrées dans le rocher par des tirants précontraints.

Les contraintes environnementales et l'impossibilité d'accès par la mer ont contraint les ingénieurs du Service Recherche et Innovation de NGE FONDATIONS à élaborer des outils spécifiques pour la réalisation d'ouvrages complexes.

ABSTRACT

The realization of a walk on the sea in Bastia (Corsica Island) also requires the implementation of prefabricated reinforced concrete consoles, ranged from 3.15m to 6.15m and anchored in the rock by pre-stressed draughts. Environmental constraints and the impossibility of access by sea have forced NGE Foundations' method and material engineers to develop specific tools for the construction of complex works.

1 Présentation des ouvrages de cheminement du projet

Les principaux ouvrages de fondations, soutènement et confortement sont :

- **Partie centrale** : promenade littorale longeant les remparts de la citadelle de Bastia, depuis le bastion jusqu'à la digue ; elle comprend 23 consoles ancrées par 124 tirants actifs avec protection P2 (forage 165mm et linéaire de 2'015ml) avec précontrainte jusqu'à 1500 kN et des dalles clouées au rocher par 89 ancrages passifs avec protection P2 (forage 150mm et linéaire de 400ml) ;
- **Partie Nord** : rampe d'accès à la passerelle constituée d'éléments en béton armé préfabriqués reposant sur 40 micropieux de longueur variant entre 10 et 25 mètres (forage 300mm en technique ODEX et linéaire de 740ml) ; le forage s'effectue à travers la jetée existante constituée de maçonneries et d'enrochements sur 3,5 mètres d'épaisseur (ancrage dans le rocher « sain ») ;
- **Partie Sud et Galerie souterraine traversant le « bastion »** : ouvrages de soutènement de hauteur vue 6,75m constitués de micro berlinoises avec profilés

HEB (220ml) associés à 3 lignes d'ancrages et de parois clouées (400m²) comprenant 5 lignes d'ancrages ;

- **Travaux de sécurisation le long du cheminement** : purge, déroctage et confortement par clouage de la paroi verticale du massif rocheux (travaux sur cordes)

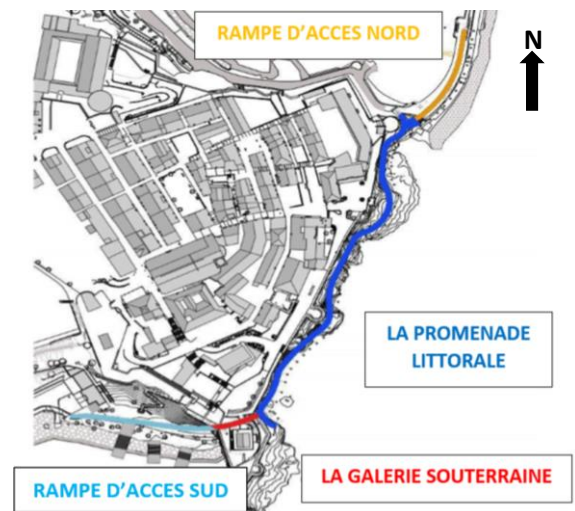


Figure 1 : Vue générale des ouvrages du projet (à gauche « simulation »)

Le présent article se concentre sur les travaux de la promenade littorale.

La conception et la justification des ouvrages se sont appuyées sur la normalisation Eurocode en vigueur [NF EN1990, 1991, 1992, 1997 et 1998].

2 Eléments principaux du dimensionnement de la promenade (partie centrale)

2.1 Eléments consoles et éléments tablier en balcon

Les consoles en béton armé préfabriquées, espacées tous les 6 mètres, ont une partie « type » identique et une partie « rallonge » pour tenir compte de la distance variable entre le front de roche (après déroctage) et la base de la console.

Les dalles de tablier sont encastrées à chaque extrémité dans les consoles par l'intermédiaire de zone de clavetage (le restant de la surface entre les dalles et la roche est comblé par des caillebotis).

2.2 Efforts à reprendre

Sous l'action d'efforts verticaux, les modèles de calculs définissent :

- Les moments de flexion enveloppe induits par les efforts descendants (poids propre, retombée de houle, surcharges piétons et vélos) qui génèrent des tractions à reprendre par les ancrages supérieurs de la console, et des compressions dans la partie basse de la console (interface avec la roche) ;
- Les moments de flexion enveloppe induits par les efforts ascendants (houle) qui génèrent des tractions à reprendre par les ancrages inférieurs de la console, et des compressions en partie haute à l'interface avec la roche ;

- Les efforts tranchants sont repris à l'interface par frottement entre la console et la roche grâce à l'effet de compression permanent induit par les ancrages précontraints

Les efforts horizontaux induits dans les passages sur mer par l'effet des gradients de température sont repris aux extrémités par les parties sur roche.

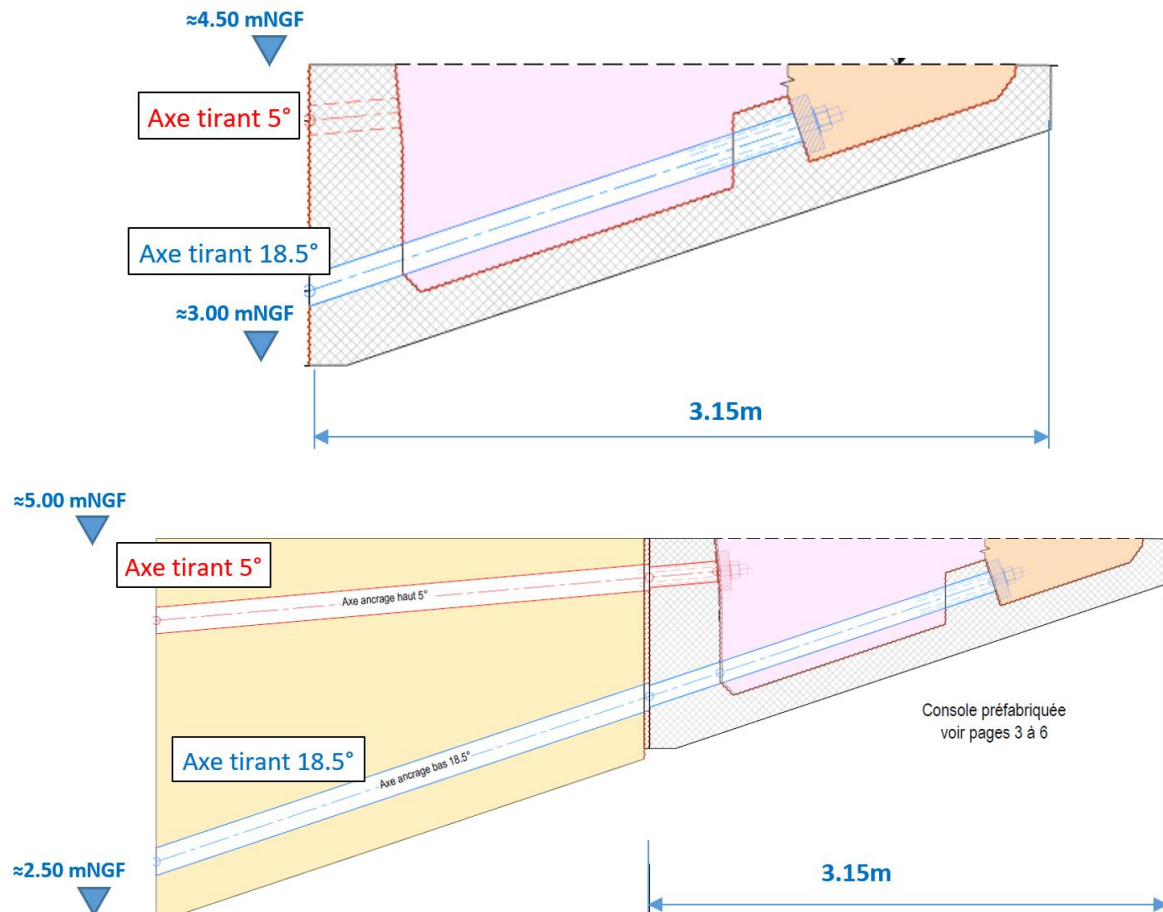


Figure 2 : Console « type » (en haut) et console « rallongée » (en bas)

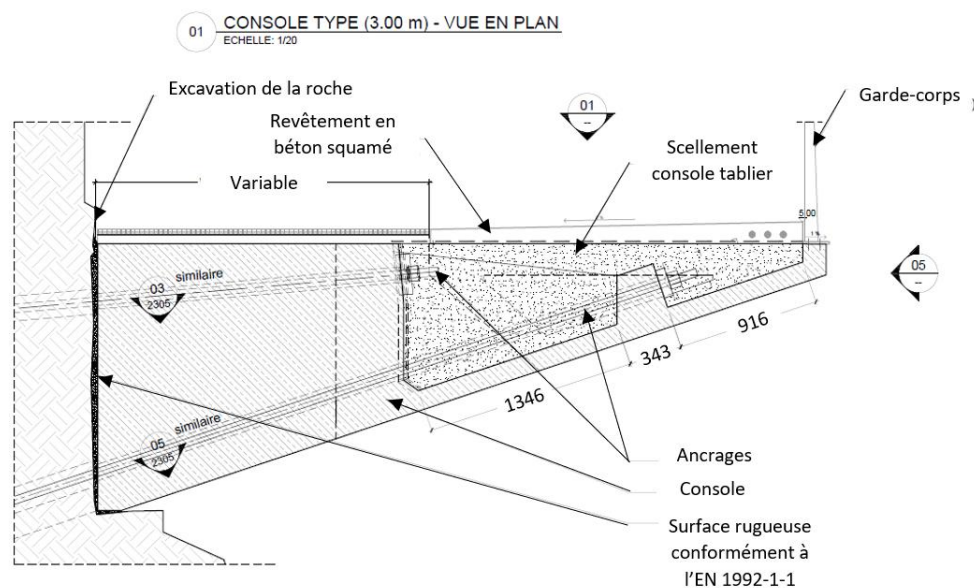


Figure 3 : Tablier – Coupe transversale en rive (au droit d'une console)

2.3 Cas particulier de la houle

L'ouvrage est dimensionné pour reprendre 3 types de chargement de houle :

- Houle20 : période de retour de 20 ans (combinaison ELS fréquent : pas de décompression du béton dans les zones précontraintes) ;
- Houle50 : période de retour de 50 ans (ELS car et ELU fond) ;
- Houle 100 : période de retour de 100 ans (ELU accidentel) ;

Les chargements de houle ont été obtenus à partir d'essais réalisés en canal et bassin à houle par Océanide (essais dynamiques en 2D et 3D).

Les essais ont été recalés (direction de propagation de la houle) pour tenir compte des effets de la tempête de 2018.

Ces chargements sont dimensionnant pour les ouvrages, compte tenu d'une part des valeurs à introduire dans les combinaisons de charges et d'autre part des bras de levier (distance entre centre de gravité des consoles « type » et des ancrages en paroi) des éléments en porte-à-faux.

Pour les éléments les plus sollicités, les pressions équivalentes à appliquer au tablier sont de l'ordre de 95 kPa (H20), 122 kPa (H50) et 250 kPa (H100), ce qui induit des tractions allant jusqu'à 1500 kN dans les tirants précontraints.

3 Caractéristiques des éléments en béton armé en partie centrale

Les consoles et éléments du tablier, réalisés dans l'usine de préfabrication de LAGARRIGUE (Groupe NGE), ont fait l'objet de nombreuses mises au point technique compte tenu de la complexité de leur géométrie et de leur densité de ferrailage.

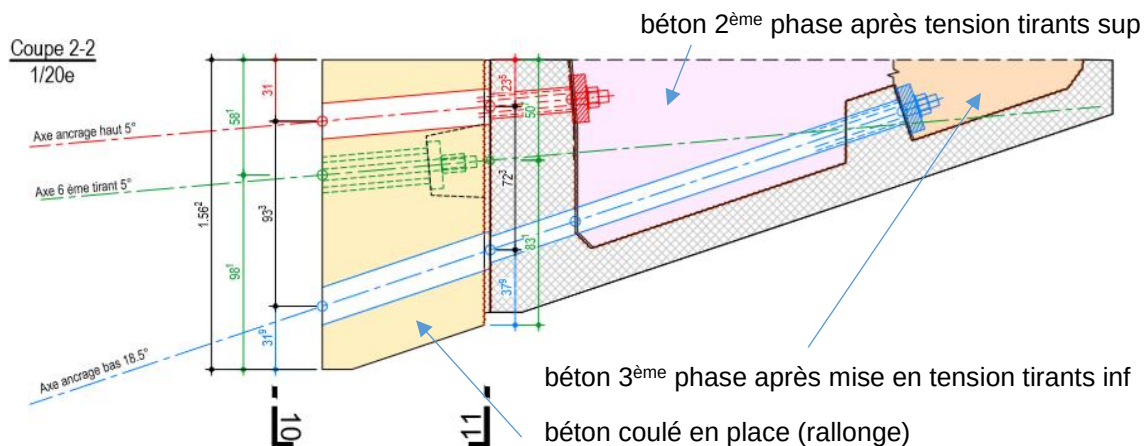


Figure 4 : Coffrage console « type » avec rallonge coulée en place

Les principaux enjeux portaient sur :

- La manutention : positionnement adapté des tiges Artéon pour le levage, complété par un renforcement localisé du ferrailage et l'épaississement de la sous face des consoles (partie fragile) ;
- La pose : garde de 30 mm à l'interface avec la roche pour calage (*), plots variables (« rallonge ») coulés en place, positionnement millimétré des coupleurs (400 par éléments) pour assurer le bon liaisonnement tablier/console au droit des clavetages ;

En complément des modèles de calculs, plusieurs moules d'essais ont été nécessaires pour obtenir entièrement satisfaction, ce qui a nécessité des échanges permanents entre le préfabricant, le BET Structure et l'entreprise NGE FONDATIONS.

Le béton utilisé pour les éléments préfabriqués et ceux coulés en place est du C50/60 XS3, la formulation ayant été étudiée par la spécialiste des bétons (BIPS) du groupe NGE pour obtenir une résistance de 50 MPa à 48 heures.

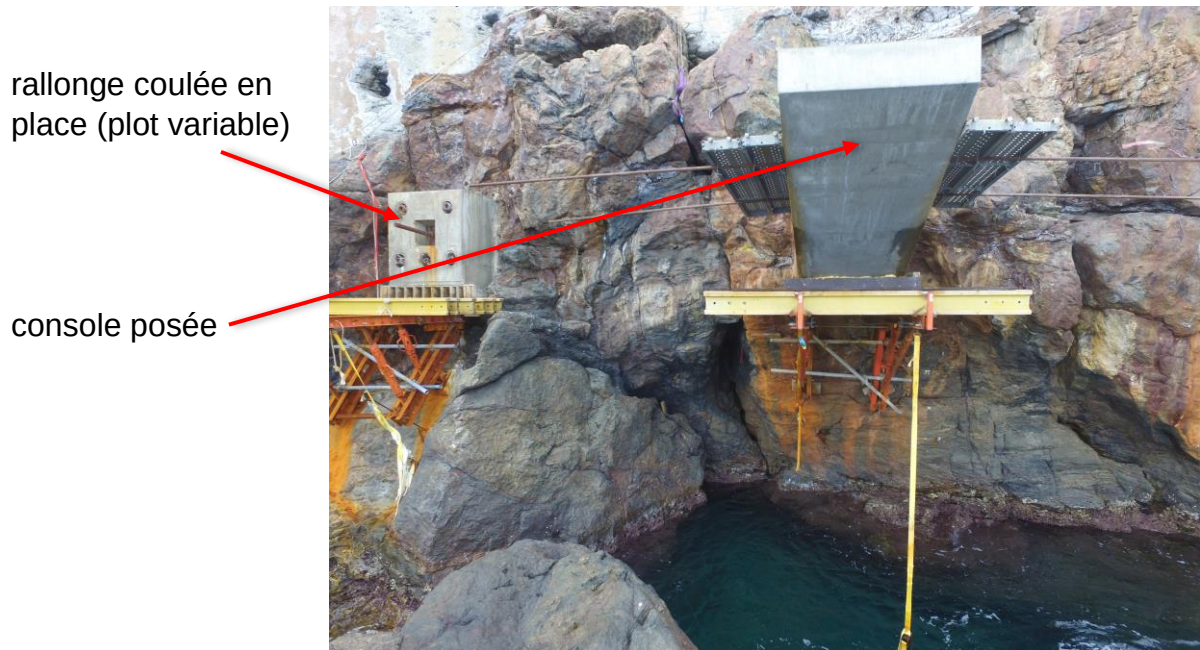
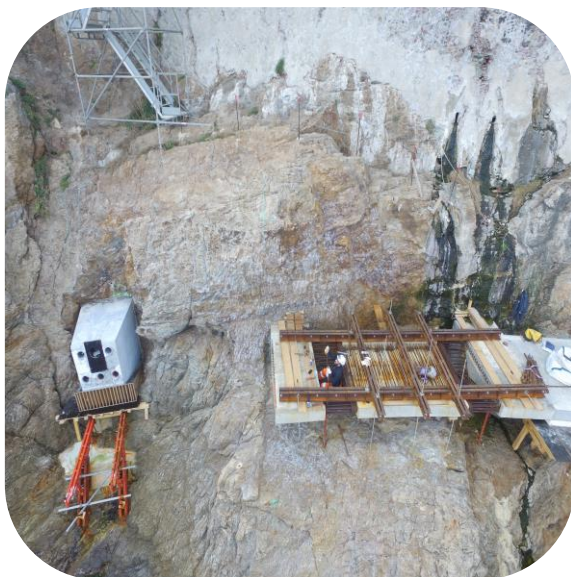


Figure 5 : Pose d'un plot variable et d'une console

La manutention des consoles (5 tonnes avant mise en œuvre du béton de complément) et des tabliers (éléments de 7 à 9 tonnes) a été effectuée avec une grue mobile de 55 tonnes (capacité de levage de 9 tonnes à 15 mètres).

Après blocage des ancrages et avant mise en tension complète des tirants, un matage au mortier sans retrait type CLAVEX a été mis en œuvre pour assurer le parfait contact console/roche.



Figures 6 : à gauche pose d'un tablier – à droite amenée d'une console

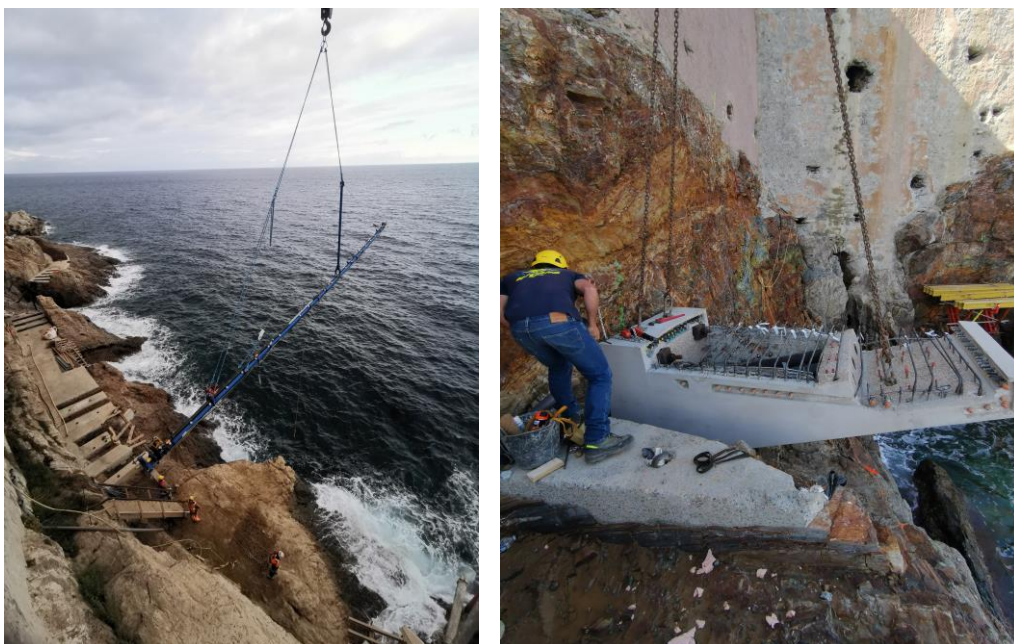
4 Moyens de forage et de mise en œuvre des tirants



Figures 7 : Forage sur châssis suspendu et gabarit de guidage

Le forage de tirants dans le rocher, inclinés et azimutés, est une opération délicate et rendue très complexe du fait de travaux en hauteur.

Les ingénieurs du parc matériel de NGE FONDATIONS ont mis au point un équipement spécifique à ce chantier en adaptant sur un châssis suspendu un mât de forage d'une foreuse Beretta T43 (*normalement à chenille*) avec moteur d'alimentation hydraulique déporté. Ils ont aussi conçu un « berceau de pose » de longueur 24 mètres, baptisé le voilier, pour rendre possible l'équipement des barres des tirants (jusqu'à 700kg) et en assurant l'intégrité de leur protection P2



Figures 8 : à gauche berceau – à droite console en cours de réglage

Le berceau est muni de 2 treuils (un d'entraînement et un de freinage) et de rouleaux de convoyage permettant d'équiper le forage avec les barres et les canules d'injection. Afin de guider les forages dans la roche (diamètres 150 et 165 mm et longueur pouvant aller au-delà des 20 mètres, avec des azimuts et inclinaisons très précises à assurer), des gabarits métalliques ont été conçus en partenariat avec le service matériel du groupe NGE.

La pose d'une console préfabriquée a nécessité en moyenne 5 jours de travail pour le forage (à l'air) et le scellement des barres au coulis fortement dosé ($C/E > 2$).

5 Tirants d'ancrage et micropieux

Les ancrages des consoles sont constitués de 124 tirants actifs de caractéristiques :

- Barres M1030 de diamètres 40 et 50mm (limite élastique 835 MPa)
- Barres SAS950 de diamètre 57mm (limite élastique 950 MPa)
- Barres M60 de diamètre 60mm (limite élastique 1050 MPa)

Pour les ancrages en 40 & 50, la gaine de protection P2 est de 80mm et le diamètre de forage est de 150mm (longueur de forage jusqu'à 17m).

Pour les ancrages en 57 & 60, la gaine de protection P2 est de 100mm et le diamètre de forage de 165mm (longueur de forage jusqu'à 22m)

Compte tenu des puissances nécessaires, l'utilisation d'une glissière hydraulique MC200 adaptée pour le chantier pour les barres de 40 et 50 mm de diamètre, et d'une glissière T43 sur châssis pour les barres de 57 et 60mm, ont été nécessaires.

Les travaux s'effectuant au-dessus de la mer, les équipements ont été amenés par grutage puis fixés par des ancrages au rocher, et les opérateurs équipés de baudriers et de cordes ont pu travailler en sécurité.



Figures 9 : à gauche forage des tirants - à droite mise en tension par vérinage

Les forages ont été réalisés à l'aide de tiges de diamètre 114mm (25kg/ml) et de longueurs comprises entre 0,75m et 1m.

La mise en tension s'est avérée délicate car elle a dû s'opérer en plusieurs phases :

- 1^{ère} phase de mise en tension (tirants supérieurs) après blocage contre la paroi ou le plot béton et matage au mortier sans retrait de la face contre paroi
- 2^{ème} phase de mise en tension (tirants inférieurs) après coulage du béton de 2^{ème} phase des consoles, puis coulage du béton de 3^{ème} phase (cf figure 4)

Diamètre barre [mm]	Tension de blocage maximum [kN]
40	630
50	983
57	1293
60	1488

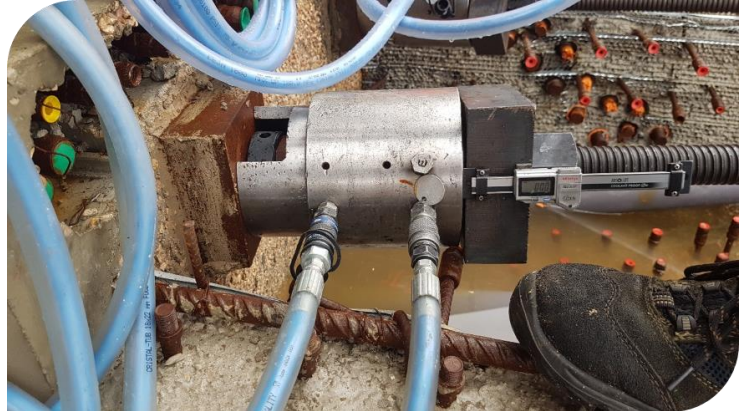


Figure 9 : mise en tension des tirants supérieurs

6 Conclusion

Ce chantier particulier de construction d'une structure accessible au public, en conditions spéciales, mixant ouvrages de génie civil et de géotechnique complexes, a nécessité des moyens en matériel spécifiques et innovants.

Il a demandé une précision de pose et de fabrication (éléments préfabriqués assemblés par clavetage ou ancrés dans la roche à l'aide de barres en attente munies de manchons) rarement rencontrée dans les ouvrages classiques de géotechniques.

Les modélisations ont montré que les efforts de houle ou les gradients de température étaient dimensionnant, conduisant à prévoir une très forte densité d'armatures (360 kg/m³) et des bétons de résistance minimale à la compression de 50 MPa.

7 Références bibliographiques

NF EN 1990 et annexes : Base de calcul des structures

NF EN 1991 et annexes : Actions sur les structures

NF EN 1992 et annexes : Calculs des structures en béton

NF EN 1998 et annexes : Calculs des structures pour leur résistance au séisme

NF EN 1997 et annexes : Calculs géotechniques

CCTG Fascicule 68 : Exécution des travaux de fondations des ouvrages de génie civil