

Paroi moulée

Injections, ancrages, génie civil, béton projeté, instrumentation

CENTRE CULTUREL ET DES EXPOSITIONS MONACO



Une fouille de 17 000 m² clé en main

Le projet d'encuvement du Centre Culturel et des Expositions, une fouille de 17 000 m² descendant jusqu'à 25 mètres de profondeur, soit 19 mètres sous le niveau de la mer Méditerranée, se trouve dans un site sismique à la géologie tourmentée.

L'espace constructible de la Principauté de Monaco se réduit et les nouvelles constructions sont réalisées sur des terrains gagnés sur la mer. Le projet du CCE s'inscrit dans ce contexte. Il se situe en bord de mer, sur un terre-plein délimité par une digue constituée d'éléments en béton posés sur un cavalier en enrochements.

Un terrassement préliminaire a amené le niveau de ce terre-plein de la cote + 5,50 à + 2,50, niveau de la plate-forme de travail.

Le substratum est constitué côté terre par du calcaire jurassique dur, fracturé et perméable et côté mer par du marno-calcaire compact, peu perméable. La faille du Larvotto sépare ces deux zones dans le sens longitudinal de la fouille.

Ce substratum est atteint sur la moitié de la fouille et plonge à près de trente mètres côté mer où il est recouvert par des sables quaternaires très fins et des remblais mis en place pour

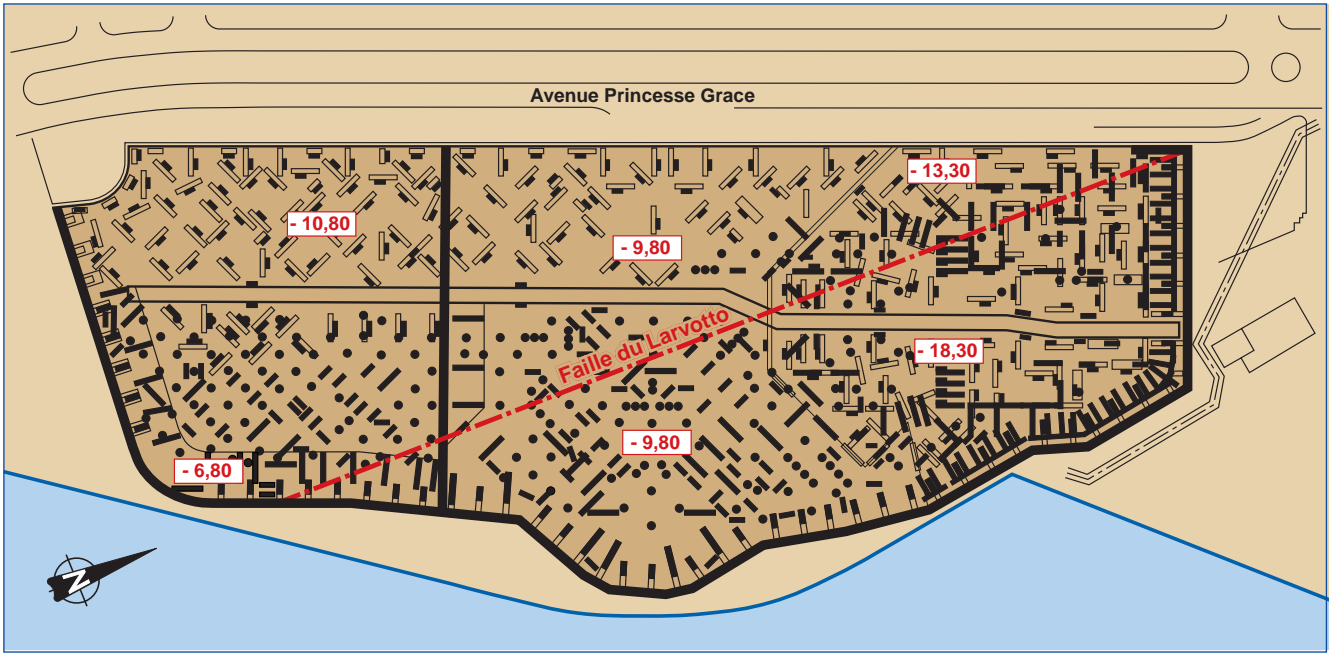


Vue générale du chantier (parois moulées avec contreforts, parois en T, radiers)

MAÎTRE D'OUVRAGE :	ETAT DE MONACO - SERVICE DES TRAVAUX PUBLICS
MAÎTRE D'ŒUVRE :	GROUPEMENT D'ARCHITECTES MONEGASQUES NOTARI-GENIN
BUREAU D'ETUDES STRUCTURE :	COYNE & BELLIER
BUREAU CONTRÔLE :	VERITAS
OPC :	COTEBA MONACO
ENTREPRISE GÉNÉRALE :	SOLETANCHE SAM
SOUS-TRAITANTS :	EGTM (RADIERS) ; EGTM - ALBERTI (TERRASSEMENTS)
DURÉE DES TRAVAUX :	JANVIER 1993 À JANVIER 1998 (DONT 1 AN D'ARRÊT DE CHANTIER)
COÛT DES TRAVAUX :	380 MF H.T.
EFFECTIF DEPUIS SEPTEMBRE 96 :	60 À 110 PERSONNES

QUANTITES PRINCIPALES :

- Parois moulées et fondations (béton, coulis) : 25 000 m²
- Béton fondations : 22 000 m³
- Aciers fondations : 3 000 t
- Coulis d'injection : 25 000 m³
- Forages petit diamètre (fonds injectés, tirants, micropieux, clous) : 105 000 ml
- Béton génie civil : 24 000 m³
- Aciers génie civil : 4 000 t
- Terrassements : 250 000 m³
- Démolitions : 5 000 m³
- Radier drainant : 17 000 m²
- Béton projeté : 2 000 m²
- + dispositif pompage, instrumentation (topo, capteurs piézos, cales ...)



Vue en plan des différents niveaux des fonds de fouille

gagner cet espace sur la mer.

Le projet du CCE est presque entièrement enterré pour des raisons d'ordre architectural et esthétique, afin de ne pas constituer un écran le long de la mer. Sa longueur est de 220 mètres pour une largeur de 55 à 85 mètres. L'encuvement est une boîte autostable et étanche.

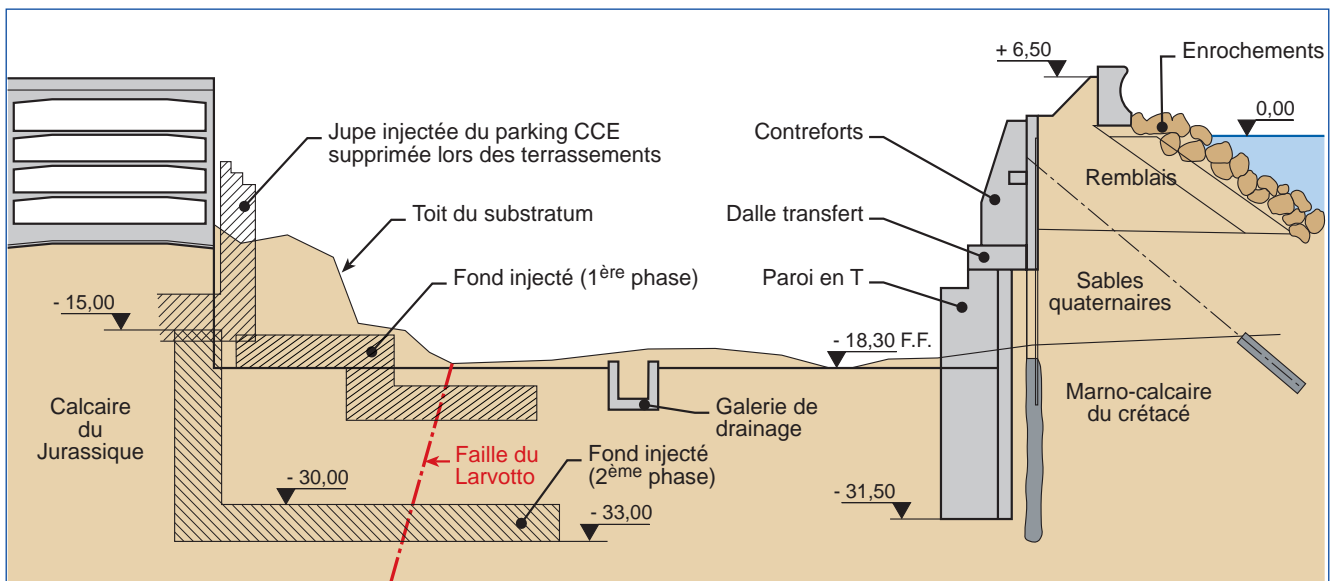
La collecte des eaux est assurée par un radier drainant et une galerie de drainage, jusqu'à la fosse de relevage (-25 NGF) où un pompage permanent est installé.

La réalisation de la fouille a nécessité la réalisation d'un soutènement auto-stable sur trois côtés, constitué d'une paroi moulée tenue en place par des tirants et d'un ensemble paroi-contreforts-radier en phase de service. Les fondations de l'ouvrage sont de deux natures, des bèches quand le rocher affleure ou des fondations profondes (barrettes, pieux et micropieux).

Le soutènement initial est constitué par une paroi moulée d'épaisseur 1,02 m descendue jusqu'au marno-calcaire,

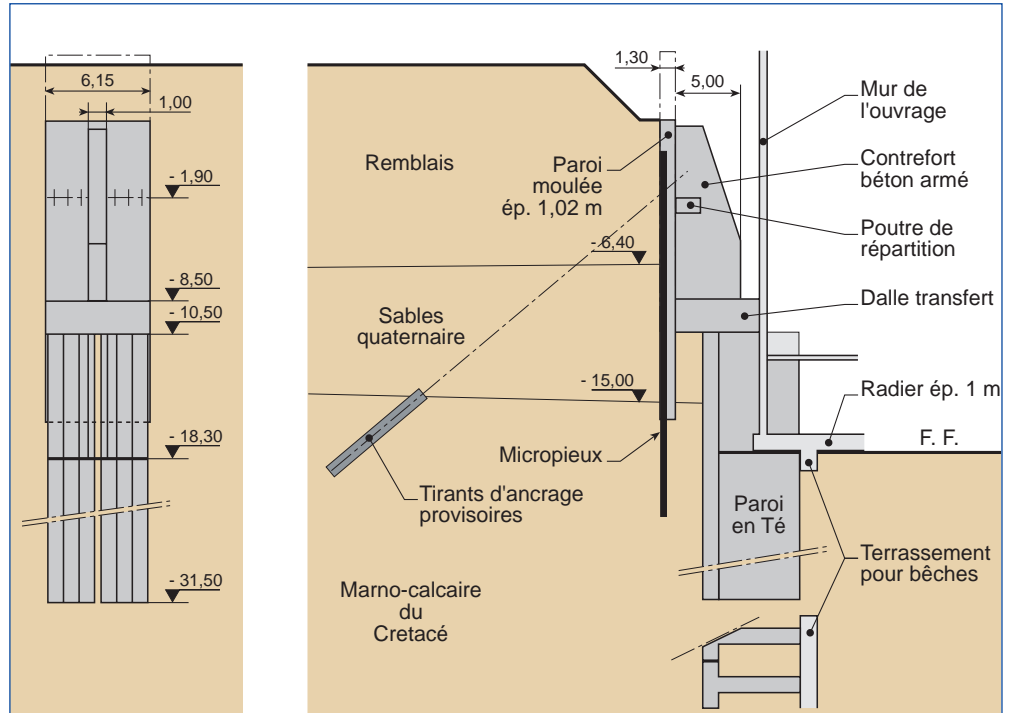
avec une profondeur maximale de 34 mètres. Elle est maintenue en phase travaux par 220 tirants précontraints 5 à 7 T 15 ancrés dans les sables quaternaires et le marno-calcaire. Une jupe injectée de 15 mètres prolonge la paroi pour assurer l'étanchéité relative de la boîte. En phase de service, l'autostabilité du soutènement est assurée par des contreforts en béton armé prenant appui sur le radier et des fondations profondes.

Le projet a considérablement évolué au cours des travaux.



Coupe transversale en zone nord (partie très profonde)

La zone sud a été approfondie de 3 mètres en partie centrale et des barrettes diaphragmes munies de micropieux assurent le transfert des efforts de butée. Un deuxième lit de tirants 7 T 15 à été réalisé sous nappe en zone centrale, pour maintenir une tension de 0,6 TG environ dans ceux du premier lit (durée supérieure à 18 mois). La zone nord a été approfondie de 9,00 m. Un deuxième soutènement a été construit à l'intérieur du premier soutènement, au moyen de panneaux de paroi moulée en T ancrés dans le rocher. La liaison des deux soutènements est assurée par une dalle de 2 m d'épaisseur sur laquelle sont érigés les contreforts en béton armé. Préalablement à tous ces travaux de confortement, il a été réalisé dans le calcaire jurassique de nouveaux fonds



Coupe du soutènement en zone nord

injectés calés en altitude par rapport aux nouveaux fonds de fouille pour être stables vis-à-vis des sous-pressions. Les dispositifs de collecte des eaux comportent un tapis drainant constitué de matériaux 4/60 et d'un bidim

anticontaminant, de drains de surface en épi vers la galerie de drainage de dimensions 2,50 x 2,50 jusqu'à la fosse de relevage, point bas du projet à -25 NGF. La galerie permet la collecte de toutes les eaux, le contrôle et le nettoyage de

anticontaminant, de drains de surface en épi vers la galerie de drainage de dimensions 2,50 x 2,50 jusqu'à la fosse de relevage, point bas du projet à -25 NGF. La galerie permet la collecte de toutes les eaux, le contrôle et le nettoyage de



Vue en plan de la zone sud (galerie drainage, fondations dégagées, butons installés)



Vue de la zone nord et du confortement (nervure des parois en T, dalle transfert, contreforts)

drains ainsi que la réalisation éventuelle de travaux complémentaires dans le temps.

Le deuxième soutènement : panneaux paroi en T

Compte tenu de la nature des terrains à traverser, 40% de sables et 60% de rocher (résistance à la compression dépassant 800 bars), l'outillage Hydrofraise a été adopté pour la perforation. Il a fallu au préalable procéder à la démolition d'anciennes fondations. Ces travaux ont consisté tout d'abord en la réalisation de forages de diamètre 70 mm avec espacement de 0,8 à 0,9 m et pétardage avec charges de l'ordre de 350g/m³ de béton. La démolition a été menée au trépan et la récupération à la benne.

Ces excavations ont été réalisées perpendiculairement à l'axe des fondations à démolir puis ont été remblayées en béton maigre.

Les difficultés rencontrées lors de la perforation des parois moulées ont été de plusieurs types :

- dureté du terrain avec consommation importante de pics.
- présence de micropieux 109/127 du projet initial et d'aciers HA50.
- caractéristiques de la boue avec cake et filtrat élevés (arrivées d'eau de mer). Trois types de bentonite ont été utilisés Cforage, C2 et CM20 (boue mixte avec polymère).

Les cages en T de dimension 2,80 x 5,50 confectionnées sur le site en un seul élément de 24 m (35 t chacune) avaient la particularité de comporter des aciers HA56 et une très forte densité d'aciers de 210 kgs/m³.

La manutention a été effectuée au moyen de deux palonniers écarteurs et d'un palonnier en T et de deux grues (une de 200 t et une de 50 t).

Le béton mis en œuvre a été spécialement étudié pour ce site. Il est

composé d'agrégats de faible granulométrie (0/14) pour garantir un meilleur enrobage et un meilleur coefficient d'adhérence acier/béton des armatures.

Les autres travaux

Les terrassements dans le rocher (plus de 30 000 m³) ont été réalisés par minage suivant un maillage de 1,50 x 1,50 environ et des charges de 250 à 350 kgs/m³ de terrain.

A proximité des ouvrages de paroi moulée et des jupes injectées sur une bande de 3 mètres, le brise-roche hydraulique a été utilisé.

Une grue à tour a été installée dans la partie profonde au nord de la fouille pour la réalisation des travaux de bèches, tapis drainant et radier.

Les contraintes du site ont été essentiellement d'ordre environnemental, à savoir les rejets en mer des eaux de pompage, les nuisances sonores et la pollution de l'air.