

PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONGRESS ON TUNNELS AND WATER
MADRID / 12-15 JUNE 1988

TUNNELS AND WATER

*Water and its influence on the design,
construction, and exploitation of
tunnels and underground works*

Edited by

J. MANUEL SERRANO

Spanish Tunnelling Association (AETOS)

OFFPRINT



A.A. BALKEMA / ROTTERDAM / BROOKFIELD / 1988

Bassins de lancement des tunnels sous-marins pour la traversée du Détroit de Messine: Aspects du projet

P.Lunardi
Université de Florence, Italie

R.Bindi & A.Focaracci
Rocksoil Srl, Milan, Italie

RESUME: La note expose les concepts qui ont déterminé le choix des procédés relatifs à la réalisation des bassins de lancement, prévus par le projet que les sociétés Saipem, Snamprogetti, Spea et Tecnomare ont élaboré pour la traversée routière et ferroviaire du Détroit de Messine par tunnel sous-marin. Une part est consacrée aux calculs concernant le processus de détermination des dimensions et la vérification de stabilité de l'ouvrage.

1 INTRODUCTION

1.1 Generalités

La réalisation d'une liaison routière et/ou ferroviaire stable entre la Sicile et la péninsule italienne passant par le Détroit de Messine, est un sujet qui attire tout autant les techniciens italiens qu'étrangers depuis le début des années quatre-vingts.

Une preuve tangible de cet intérêt considérable nous vient du grand nombre de

propositions présentées lors du "Concours d'idées" organisé en 1969 par l'ANAS (Azienda Nazionale Autonoma Strade) et qui s'est conclu par la distribution de deux prix ex aequo à des solutions bien différentes: l'une réalisant la traversée par voie aérienne, par pont, l'autre par un tunnel sous-marin.

En novembre 1986, le groupe d'entreprises formé par les sociétés Saipem, Snamprogetti, Spea et Tecnomare a effectué, pour la solution sous-marine (voir fig. 1 et fig. 2), une étude de faisabilité qui a pris en considération plus particulièrement:

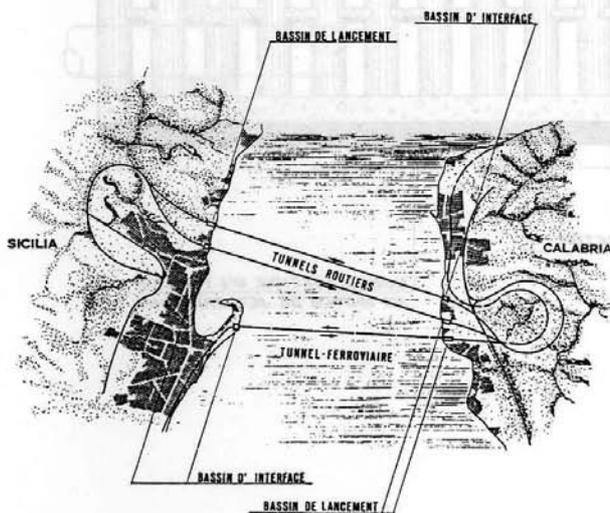


Fig. 1 Chorographie

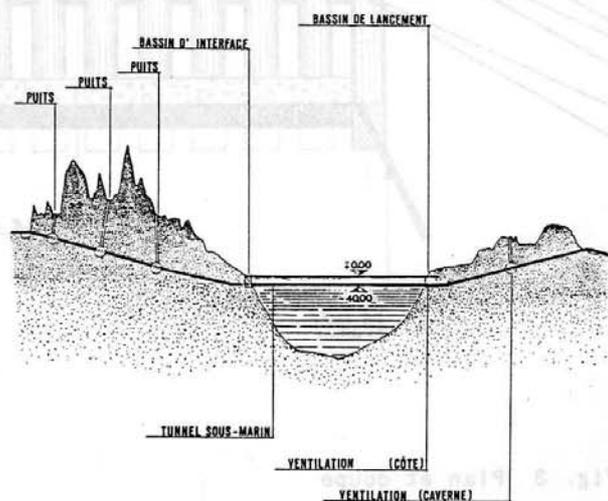
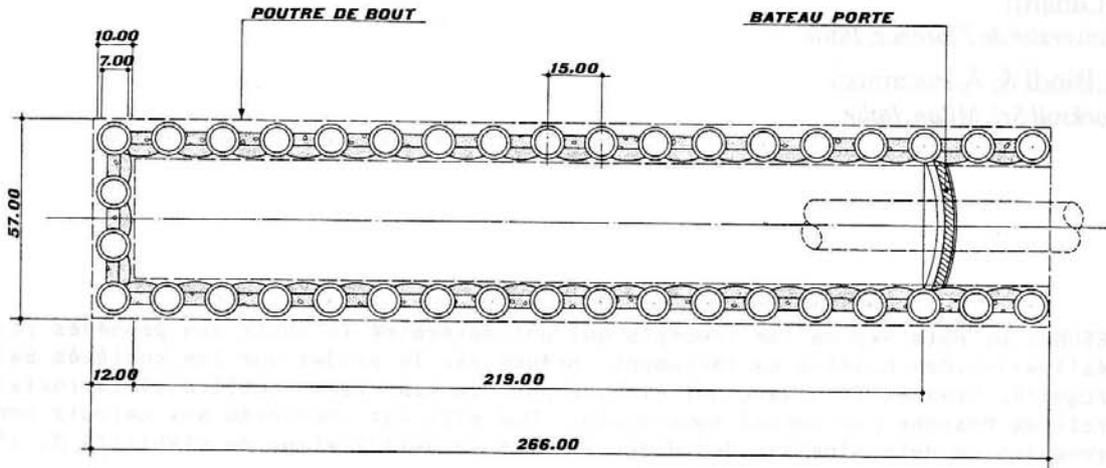


Fig. 2 Profil longitudinal du tracé

PLAN DE BASSIN DE LANCEMENT



SECTION DE BASSIN DE LANCEMENT

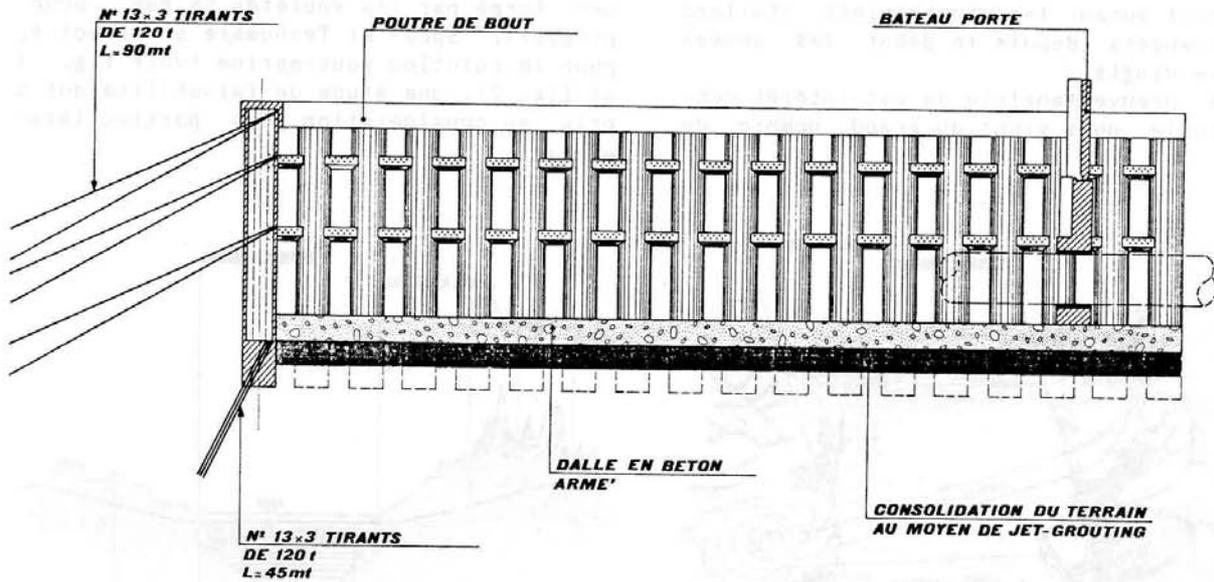


Fig. 3 Plan et coupe

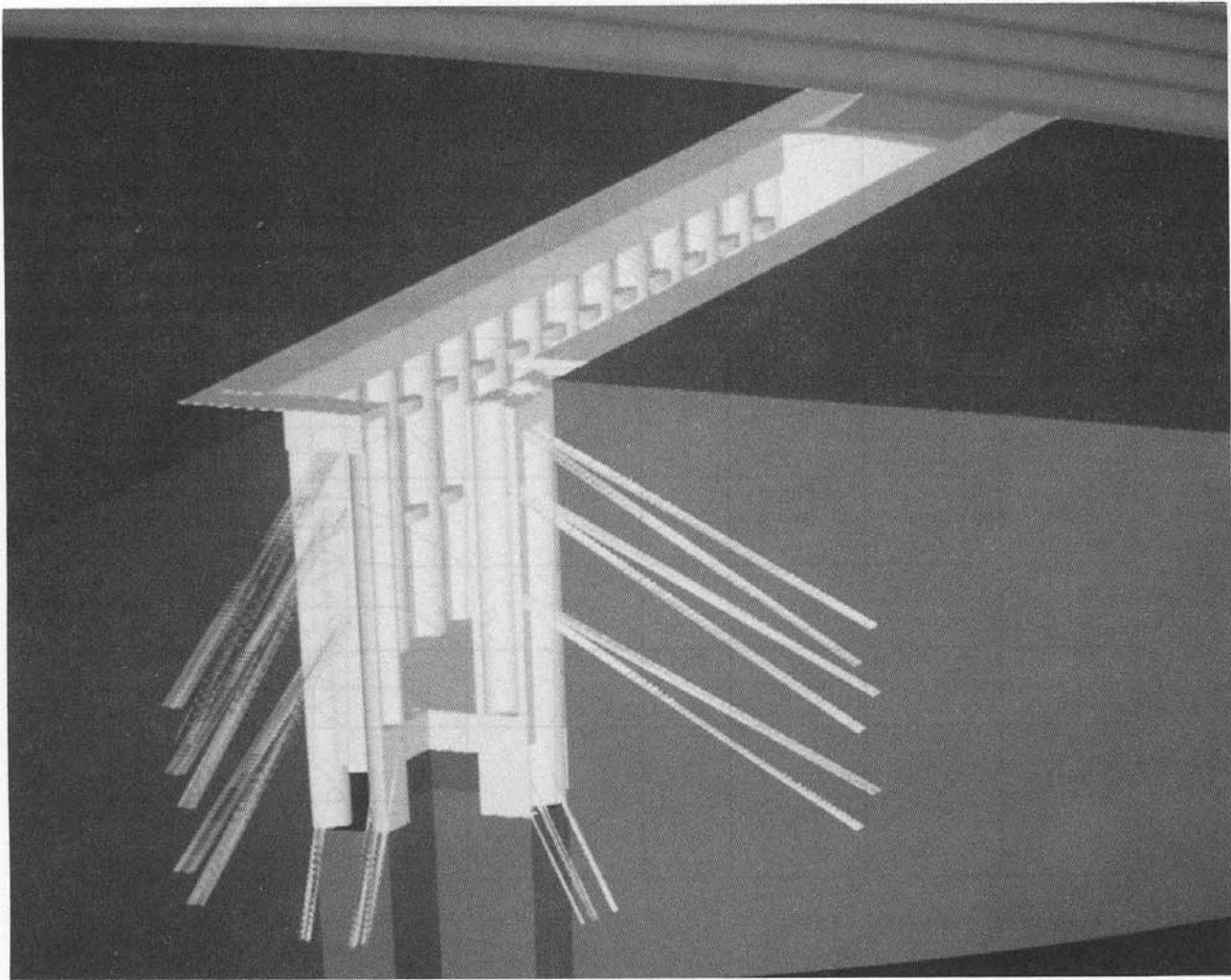


Fig. 4 Coupe tridimensionnel par ordinateur

- le tunnel sous-marin;
- les tunnels à trou borgne et les raccords à terre;
- le système d'interface terre-mer.

C'est précisément la réalisation du système d'interface entre les ouvrages en mer et sur la terre ferme qui a constitué, comme on peut le comprendre, le point le plus délicat de l'oeuvre entière, et il constituera le sujet de la relation.

1.2 Système d'interface

La particularité de l'oeuvre d'interface nous a demandé de recourir à de nouvelles solutions de projets et à des critères de construction particuliers.

Il a fallu en effet:

- inventer et mettre à point un procédure adéquate pour permettre le lancement du tunnel;

concevoir et étudier un raccord entre le tunnel creusé à trou borgne et le tunnel sous-marin, capable d'absorber et d'amortir les effets des contraintes dynamiques qui dépendent soit d'un éventuel séisme, assez probable dans la zone, soit du mouvement de dérive qui existe entre la Sicile et la péninsule italienne.

La solution choisie comporterait la réalisation de trois bassins de lancement sur la terre ferme, du côté de Reggio Calabria, un bassin pour chaque conduit, de dimensions internes égales à 208 m de longueur, 32 m de largeur, et 60 m de profondeur; et de trois bassins de dimensions égales aux précédents, sur le rivage du côté de Messine, mais de 78 m de longueur seulement.

Les bassins seront complètement immergés et donc sujets à d'importantes poussées hydrostatiques.

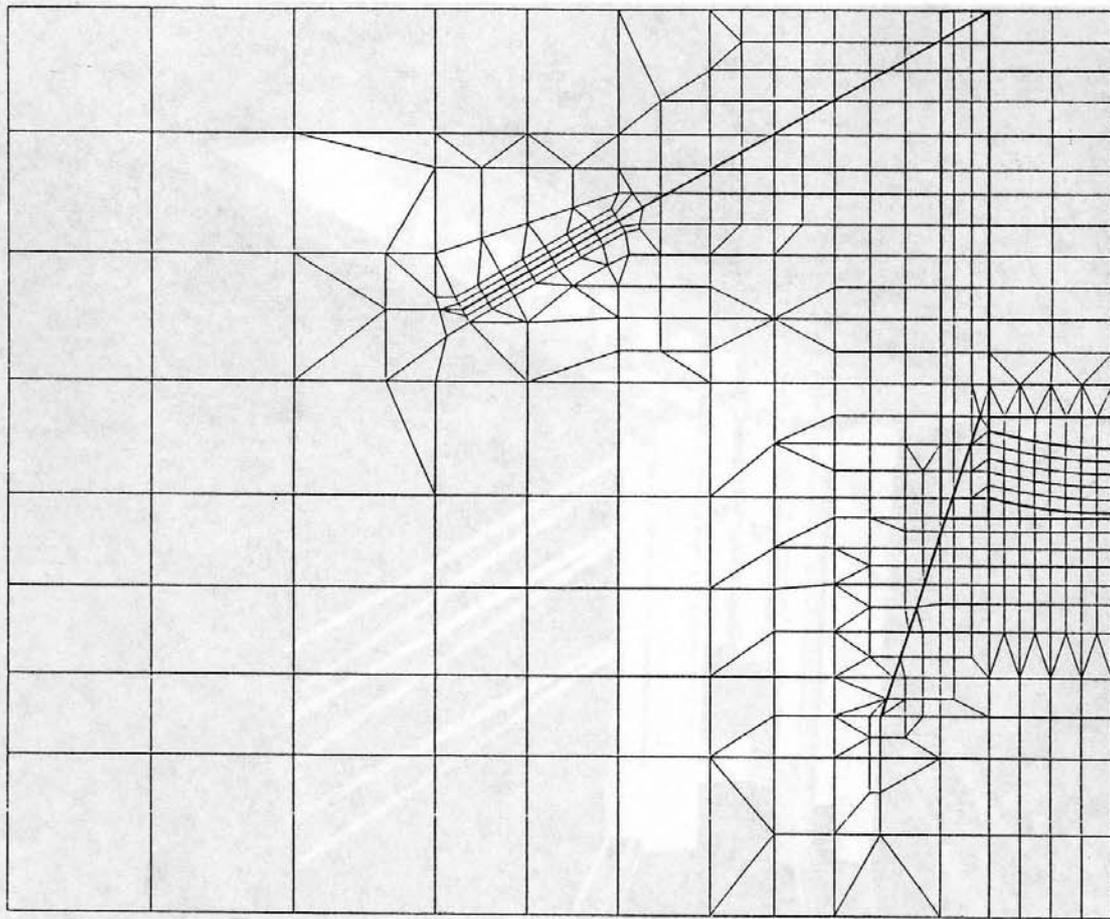


Fig. 5 Modèle à éléments finis

Au cours du mois de mars 1987, la société Rocksoil de Milan a été interpellée pour donner son apport d'expériences à la définition d'une adéquate typologie constructive des bassins de lancement, à l'exécution du processus de détermination des dimensions maximales des éléments structurels, et aux vérifications de faisabilité de l'ouvrage.

2 ASPECT DES PROJETS ET CRITERES DU PROCESSUS DE DETERMINATION DES DIMENSIONS

2.1 Fonctionnalité des bassins

Chaque bassin serait équipé pour remplir les fonctions suivantes:

- en phase de construction, comme bassin de carénage pour l'assemblage et le lancement de chaque élément du tunnel à -40 m par rapport au niveau de la mer;
- en phase d'exercice comme logement apte à recevoir l'ouvrage d'interface pour le raccord au tunnel à trou borgne et les

éventuelles oeuvres accessoires requises par la gestion routière et ferroviaire.

Ceci a donné lieu à un projet d'une oeuvre de dimensions exceptionnelles, complètement immergée dans l'eau, qui a demandé l'exécution d'une étude géologique et géotechnique approfondie du milieu, à l'analyse de toutes les phases des travaux prévus dans le bassin, pour mettre en évidence les situations transitoires les plus compliquées, à l'évaluation de tous les effets dynamiques possibles en tenant compte également des cycles d'évacuement et d'afflux des bassins.

2.2 Cadre géologique et géotechnique du site

Les terrains concernés par les ouvrages à terre prévus par le projet font partie des formations Néogéniques Quaternaires posées sur le substrat métamorphique antique.

Les bassins de lancement, en particulier, intéressent les termes plus récents de la succession stratigraphique relevée

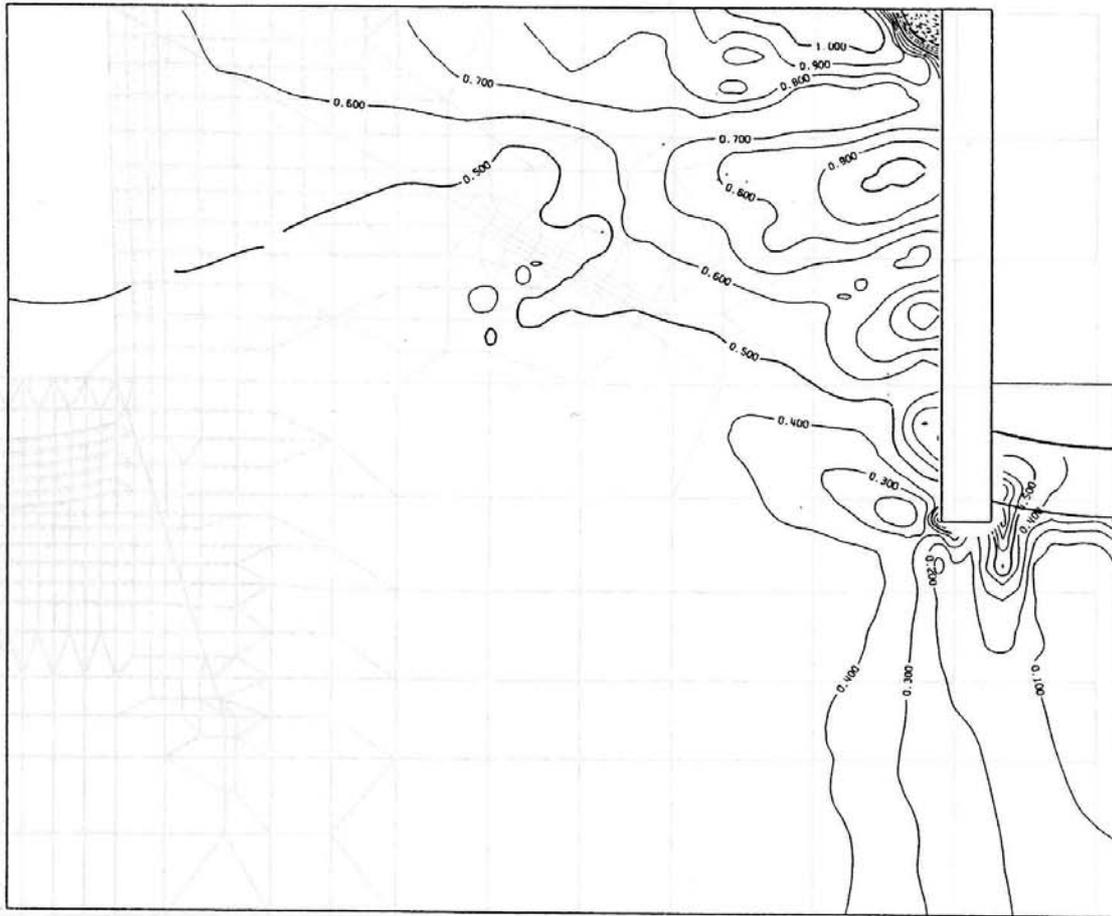


Fig. 7 Niveaux d'effort dans le terrain

éléments de renfort, trois ordres de 13 tirants de 120 t chacun, inclinés de 25° à 30° en horizontal, fixent à trite provisoire, les cloisons à des bandes sûrement stables du terrain.

La stabilité transversale à long term après le complet lancement du tunnel sera assurée par les éléments qui forment la structure intérieure de l'œuvre d'interface, qui sous un point de vue fonctionnel permet la réalisation, ou intérieure du bassin, des plans intermédiaires pour les jouissances les plus divers.

Le raccord transversal, à la base de la structure, repose sur la semelle de fond (à cote -60 m), en b.a. précontraint, avec un intrados profilé en arc et d'une épaisseur minimum d'environ 7.5 m.

Les importantes poussées hydrostatiques qui agissent sur la structure ont demandé de prévoir :

- lors de la phase constructive, la réalisation d'un fond de terrain consolidé d'environ 8 m d'épaisseur pour protéger le fond de la cuve, sujette à des pressions hydrostatiques maximales de l'ordre

de 70 t/m²;

- à long terme, la mise en œuvre d'ultérieurs tirants sub-verticaux afin de limiter les excursions verticales de la structure durant les cycles d'évacuation et d'afflux.

Enfin, après avoir considéré les actions dynamiques auxquelles serait soumise la structure durant les cycles d'évacuation et d'afflux, on a prévu la construction d'un entretoisement transversal provisoire d'une forme géométrique qui ne gênerait pas les opérations de construction prévues à l'intérieur de la cuve.

Le schéma structurel pourra ensuite devenir plus rigide ou plus flexible d'après les exigences qui seront mises en évidence par d'éventuels futurs calculs de perfectionnement.

2.4 Vérification de la stabilité

Une série de calculs de stabilité a été effectuée avec l'aide d'un ordinateur et d'un programme de calcul à éléments finis

non linéaires.

Le caractère exceptionnel de l'oeuvre, nous a demandé d'évaluer l'état de tension entre les structures en béton pour décider s'il était nécessaire ou pas de recourir à la précompression et pour obtenir de précieuses indications au sujet du processus de détermination des dimensions des tirants nécessaires pour limiter l'importance des déformations de la structure dans une échelle de valeurs acceptable.

Le modèle à éléments finis utilisé (voir fig. 5) est constitué de 565 noeuds reliés par 582 éléments "plane strain" triangulaires et quadrangulaires, et 15 éléments "frame" qui simulent les tirants en acier.

La "mesh" s'étend sur 130 m verticalement et sur 156 m horizontalement.

Pour schématiser le diaphragme, constitué dans la réalité par une série de puits et de cloisons de raccord renforcés par des nervures adéquates, on a étudié une structure d'éléments quadrangulaires et plats ayant un moment d'inertie moyen équivalent.

Le calcul, en particulier, s'est effectué dans les suivantes phases principales: phase 1: application des forces géostatiques pour la détermination des conditions initiales.

phase 2: construction du diaphragme (simulé grâce à la substitution des éléments du terrain avec des éléments en béton à comportement linéaire).

phase 3: excavation du bassin de lancement, consolidation du terrain de fond, application des tirants et simulation des poussées hydrauliques.

De cette façon on a pu étudier l'état de tension-déformation de la structure dans son entièreté et dans le rapport d'interaction avec le terrain environnant.

Les calculs effectués ont confirmé la faisabilité du projet et évincé quelques points critiques qu'il a fallu étudier attentivement lors de la phase d'exécution du projet:

- les tensions du diaphragme présentent des valeurs de traction élevées à l'endroit de l'emboîtement dans le terrain, là où le recours au béton précontraint semble nécessaire;
- le comportement déformateur de la structure (voir fig. 6) est fort influencé par l'efficacité de l'emboîtement qui sera réalisé à la base.

A la fig. 7 sont indiqués les niveaux d'effort calculés dans le terrain environnant la structure: les lignes en traits interrompus représentent les ruptures par

traction. On remarque, en particulier, que la bande de terrain dérangée à l'arrière du diaphragme est plutôt réduite par rapport aux dimensions de l'excavation et confirme la validité du processus de détermination des dimensions.

3 CONCLUSIONS ET REMERCIEMENTS

L'occasion, qui nous a été donnée, d'étudier la faisabilité des bassins de lancement prévus pour la traversée sous-marine du Déroit de Messina, en définissant les choix de projet et de construction, a représenté un de ces moments au cours duquel la créativité du projeteur est stimulée positivement par le caractère exceptionnel et l'importance de l'ouvrage.

Nous remercions donc, les Sociétés Saipem, Snamprogetti, Spea et Tecnomare pour la préférence qu'elles ont eu à notre égard en nous confiant cette recherche.

BIBLIOGRAPHIE

Saipem, Snamprogetti, Spea, Tecnomare 1987. Tunnels sous-marins pour la traversée du Déroit de Messine.