Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht

Band: 12 (1984)

Artikel: Projet de pont sur appuis flottants pour traversée du Détroit de Gibraltar

Autor: Lacroix, Roger / Saintier, Pierre / Fauchart, Jacques

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-12137

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Projet de pont sur appuis flottants pour la traversée du Détroit de Gibraltar

Brücke auf schwimmenden Pfeilern für die Überquerung der Meerenge von Gibraltar

Floating Bridge Project for Crossing the Strait of Gibraltar

Roger LACROIX
Président
AFPC
Paris, France

Pierre SAINTIER
Directeur
Dép. Structures Sogelerg
Paris, France

Jacques FAUCHART
Ingénieur Consultant
SETEC
Paris, France

RESUME
Le Maroc et l'Espagne ont entrepris de concert des études préliminaires sur le franchissement du détroit de Gibraltar par un ouvrage fixe. Dans ce cadre, le gouvernement marocain a créé la Société Nationale d'Etude du Détroit qui, en 1981, a confié à un groupement de consultants franco-maroco-espagnol une étude de faisabilité portant sur des solutions autres que le pont ou le tunnel. La solution originale proposée par les consultants associe un pont sur appuis semi-submersibles ancrés et des tunnels immergés à mi-eau, fondés sur des piles sous-marines.

ZUSAMMENFASSUNG
Marokko und Spanien haben gemeinsam Vorstudien für die Überquerung der Meerenge von Gibraltar mit einer festen Brücke unternommen. In diesem Rahmen hat die marokkanische Regierung die Société Nationale d'Etude du Détroit gegründet. Diese hat 1981 einer französisch-marokkanisch-spanischen Gruppe beratender Ingenieure eine Durchführbarkeitsstudie übertragen, um abzuklären, ob andere Lösungen als ein Tunnel oder eine feste Brücke in Frage kommen. Die vorgeschlagene Lösung besteht aus einer Brücke, die sich auf schwimmende, verankerte Caissons abstützt, und aus Unterwassertunneln, die auf Unterwasserpfeilern ruhen.

SUMMARY
Morocco and Spain have jointly undertaken preliminary studies on a fixed link between Africa and Europe across the strait of Gibraltar. For this purpose, the Moroccan government has created the SNED: Société Nationale d'Etude du Détroit. In 1981, SNED awarded to a group of French, Moroccan and Spanish consultants a feasibility study on solutions of a link other than a bridge or tunnel. The original solution proposed by the consultants consists of a bridge resting on partially submerged anchored caissons, and submerged tunnels at mid-depth, resting on underwater piers.

1 – HISTORIQUE

Le détroit de GIBRALTAR qui sépare l'Afrique de l'Europe de l'Ouest, bien que large seulement d'une quinzaine de kilometres, constitue une frontière naturelle entre ces deux continents.

L'idée de réaliser un ouvrage fixe de liaison permettant de développer l'acheminement des personnes et des marchandises, a été émise et soutenue par Sa Majesté le Roi du Maroc et Sa Majesté le Roi d'Espagne et, a reçu un accueil favorable auprès de nombreuses instances internationales.

Dans le but de procéder à des études préliminaires, le Gouvernement Marocain a constitué une Société Publique, la Société Nationale d'Etude du Détroit, tandis qu'une organisation similaire était mise en place du côté espagnol.

En 1981, à la suite d'une consultation internationale, la Société Nationale d'Etude du Détroit a confié à un groupement de consultants franco-maroco-espagnol, piloté par SOGELERG et SETEC, l'exécution d'études préliminaires portant en particulier sur la faisabilité technico-économique de solutions autres que le pont (étudié par Freeman Fox) et le tunnel (étudié également par SOGELERG et SETEC). C'est cette solution originale que nous nous proposons de développer dans ces grandes lignes.

2 – LES DONNES DU PROBLEME

2.1. Bathymétrie

Le détroit de GIBRALTAR a une largeur minimum de 15 km au droit de laquelle les fonds dépassent 900 m. Les fonds minima rencontrés dans la zone de franchissement possible ne sont pas inférieurs à 300/350 m correspondant à une largeur de franchissement de 25 km environ.

Transversalement, le Détroit comporte des plateaux continentaux, en pente douce jusqu'à une profondeur de l'ordre de 100 m et une vallée centrale aux pentes plus abruptes et profondes de 300 m jusqu'à 900 m environ.

2.2. Océanographie

Le Détroit de GIBRALTAR est soumis à des courants : Atlantique vers Méditerranée superficiel et Méditerranée - Atlantique profond, charriant de l'ordre de 10^6 m^3/s chacun et d'une vitesse de l'ordre de 1 m/s avec des variations importantes.

Enfin, le Détroit est sujet à des houles notables (5 m de creux).

2.3. Vents

Les vents rencontrés dans le Détroit sont importants : plus de 200 km/h.

2.4. Navigation

La navigation dans le Détroit est intense : 25 bateaux à l'heure, atteignant 500 000 tx.

2.5. Géologie

On ne connaît pratiquement rien des caractéristiques des terrains constituant le fond du Détroit et, en particulier, il n'est pas possible d'assurer que les pentes sont stables ou resteraient stables sous l'action d'une charge importante.

Le Détroit est par ailleurs situé dans un environnement sismique bien qu'il semble que la zone de franchissement ne soit pas sujette à séismes.

3 – LA SOLUTION PROPOSEE - DESCRIPTION GENERALE

3.1. Conditions de base

Prenant en considération les contraintes exposées plus haut, nous avons eu l'objectif de satisfaire aux conditions suivantes :

– Offrir des passes navigables larges compatibles avec la densité de la navigation, tant en importance de trafic qu'en tonnage des navires.

A cet égard, 3 000 m de passe paraît un minimum pour répondre à cet objectif.

– Limiter les travaux de Génie Civil sous-marins aux zones de profondeur inférieure à 100/150 m. En effet, l'expérience acquise au cours des deux décennies passées, grâce au développement des travaux offshore permet d'envisager de réaliser des fondations à des profondeurs de cet ordre.

– Assurer avec un haut degré de sécurité la protection contre les chocs d'un navire désemparé, des parties d'ouvrage exposées à ce risque.

3.2. L'implantation

Le tracé retenu suit une ligne en Z utilisant au mieux la topographie des fonds pour se situer dans la zone de profondeur minimale.

Il relie l'Ouest de Tarifa en ESPAGNE à l'extrémité Est de la baie de TANGER au MAROC. L'ouvrage a une longueur totale de 23,5 km.

3.3. Les ouvrages composant le franchissement

Ils sont de 3 types adaptés aux caractéristiques de la zone où ils sont implantés :

– La partie centrale de 10 600 m de longueur est formée d'éléments sur appuis flottants ancrés, elle assure la traversée de la vallée centrale de 350 m de profondeur et de ses flancs latéraux rejoignant les plateaux continentaux.

– Deux ouvrages latéraux formés d'éléments de tunnels posés sur des piles sous-marines fondées sur les plateaux continentaux. Chacun de ces ouvrages a une longueur totale de 6 200 m et permet d'assurer deux passes de navigation unidirectionnelle de 3 000 m chacune avec un tirant d'eau de 35 m.

– Enfin, deux ouvrages d'accès extrêmes, de 5 400 m de longueur côté Espagnol et de 1 300 m de longueur côté Marocain. Ces ouvrages ne sont pas décrits dans la présente communication.

4 – DESCRIPTION DETAILLEE DES OUVRAGES

4.1. Le pont sur appuis flottants

4.1.1. Tablier - Dans l'Avant-Projet Sommaire élaboré, le pont flottant est constitué d'un tablier en béton précontraint d'une largeur utile de 9 m. L'ouvrage est constitué d'éléments - tablier et flotteurs associés - tous semblables. L'élément de tablier a une longueur de 150 m reposant sur le flotteur par des appuis distants de 90 m :

il serait tout à fait possible de concevoir un tablier métallique de portée unitaire plus importante ; on réduirait ainsi le nombre d'éléments nécessaires pour réaliser les 10 620 m de pont flottant. Il sera du domaine des études détaillées d'optimiser le choix final sur des bases économiques (coût des structures) et techniques (notamment manœuvrabilité et mise en place des éléments).

Ces choix, en tout état de cause, ne remettent pas en question les principes directeurs de la solution générale proposée.

La partie inférieure du tablier est calée à 16 m au-dessus du niveau moyen des eaux.

4.1.2. Les flotteurs doivent être stables transversalement et longitudinalement sous les effets de la houle et des courants.

Un élément de flotteur a la forme d'un rectangle de 90 m de côté selon l'axe de l'ouvrage et 56 m perpendiculairement à l'axe de l'ouvrage. Il est constitué de 4 tubes métalliques à double paroi.

Sur ces flotteurs sont encastrés des palées verticales et des éléments de triangulation constitués par des tubes en béton de 3 m de diamètre extérieur et de 30 cm d'épaisseur, supportant eux-mêmes les chevêtres d'appuis du tablier.

4.1.3. Les tirants d'ancrages - Les flotteurs sont maintenus en position immergée par un système de tirants d'ancrages reliés à des corps morts échoués au fond. Le système assure la stabilité tridirectionnelle des flotteurs.

Les tirants sont constitués par des éléments cylindriques creux de trente mètres de longueur environ réunis par des articulations métalliques. Immergés, ces éléments ont une flottabilité nulle ce qui permet de réduire leur déformabilité en les faisant travailler sous sollicitation axiale. Ces éléments creux sont remplis de mousse plastique à très faible densité pour éviter les entrées d'eau.

4.1.4. Les corps morts sont en béton remplis de lest et sont d'un poids unitaire de 600 et 1 700 t suivant leur rôle (ancrage longitudinal ou transversal).

4.2. Les tunnels immergés

Leur objet et d'offrir des passes navigables larges - 3 000 m dans chaque sens-offrant une sécurité maxima à la navigation des plus grosses unités.

4.2.1. Les tunnels - De forme circulaire et d'un diamètre de 11,40 m, ils offrent une chaussée de 10 m de largeur utile (2 files + surlargeur de sécurité) et deux butte-roues de 0,25 m. Les espaces résiduels supérieurs (au-dessus du gabarit de 4,50 m) et inférieurs (au-dessous de la dalle de roulement) sont utilisés pour les utilités et la ventilation.

Ils sont constitués d'éléments de 100 m, en béton précontraint, l'épaisseur de la paroi étant de 1,40 m en section immergée, correspondant à une flottabilité légèrement positive minimisant à la fois les efforts dans le tube lui-même et, les réactions verticales sur les piles sous-marines. En section hors d'eau, le tube des parois est d'une épaisseur plus faible, soit 0,60 m.

La fibre supérieure des tunnels immergés est calée à 34 m sous le niveau moyen de la mer, permettant le passage d'unités de 25 m de tirant d'eau.

4.2.2. Les piles sous-marines sont constituées par un cylindre vertical en béton, de 10 m de diamètre extérieur, terminé par une embase tronconique de 25 m de diamètre environ adaptable à la nature du sol de fondation. Cette embase est remplie de lest retenu pendant le transport et la mise en place par une résille lâche qui permet de se mouler sur le sol dont le travail de préparation aura ainsi pu être minimisé.

Les piles de hauteur supérieure à 50 m sont haubanées. Les ancrages des haubans sur le corps de pile sont situés dans une chambre visitable en tête de pile.

4.3. La protection de l'ouvrage contre les chocs de navires

4.3.1. Protection du pont flottant - Il est protégé par un barrage rectangulaire dont les grands côtés, perpendiculaires à l'axe du Détroit, sont implantés à 2 000 m au moins de l'ouvrage, cette distance étant utilisée pour ralentir et stopper un navire en détresse.

L'ouvrage de protection est constitué par un filet lâche supporté par des bouées reliées par des câbles à des corps morts ou trainards de retenue. Un navire entrant en contact avec le filet mobilise progressivement un ensemble de corps morts qui oppose à son déplacement un effort de freinage croissant. L'ensemble est dimensionné pour arrêter sur une distance de 2000 m un navire de 400 000 t, d'une vitesse initiale de 7 m/s (5 m de vitesse propre + 2 m de courant).

4.3.2. Protection latérale des passes navigables - Il s'agit de protéger les parties des tunnels qui remontent de part et d'autre des passes navigables. Il s'agit, dans ce cas, de redresser le cap d'un navire qui s'est mal engagé dans la passe.

Cette protection reprend les mêmes principes que ceux décrits plus haut.

5 — MODE DE CONSTRUCTION DES OUVRAGES

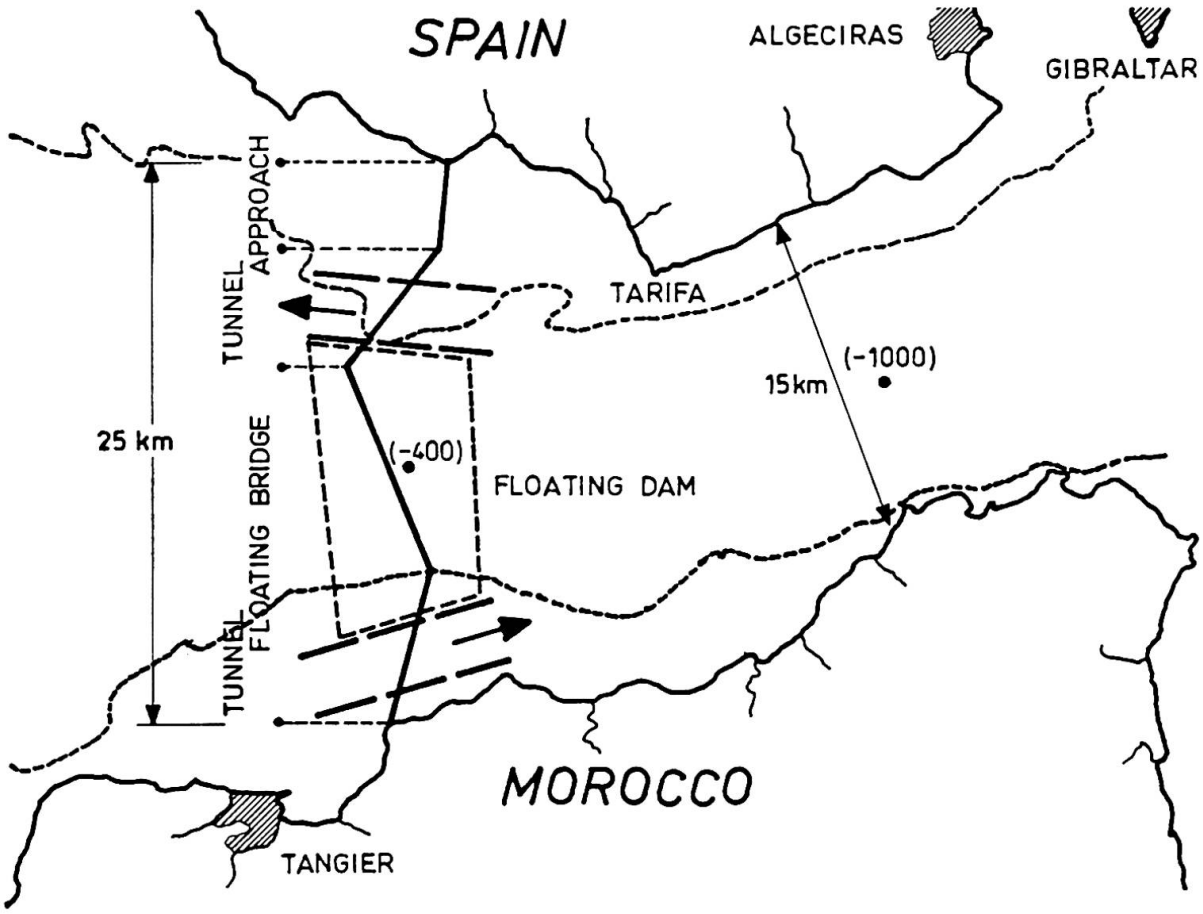
La construction d'un ouvrage de cette importance en site marin doit, pour minimiser les incidences des conditions météorologiques et maritimes, faire l'appel le plus large aux techniques de préfabrication. La conception générale décrite plus haut, répond à cet objectif tant en ce qui concerne le pont sur appui semi-submersible qu'en ce qui concerne les tunnels immergés. Seules les digues d'accès latérales seraient réalisées selon des procédés classiques, s'agissant d'ouvrages de type portuaire dans des zones de faible profondeur.

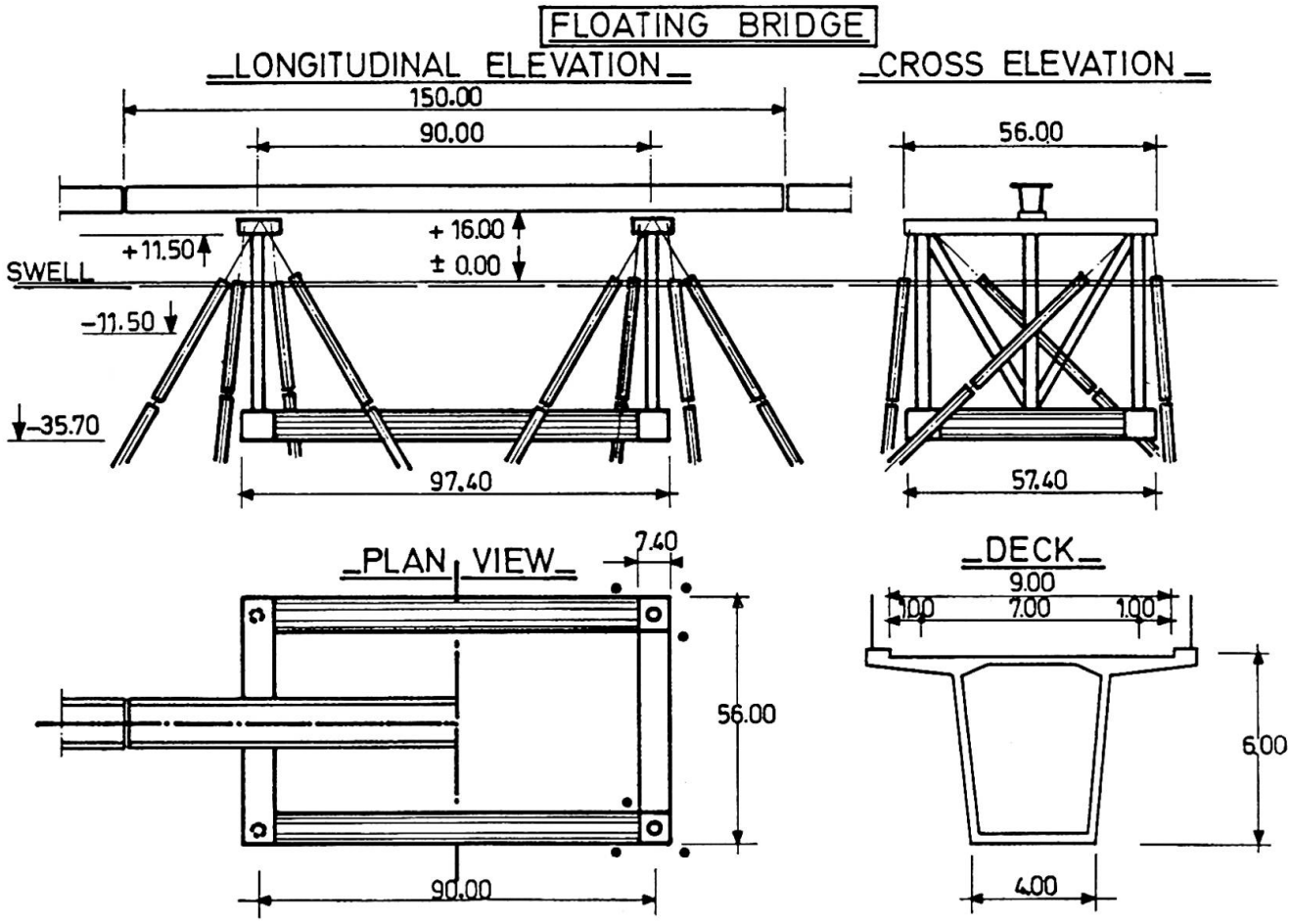
5.1. Pont sur appuis flottants

L'ouvrage est prévu préfabriqué sur les rives par élément complet (flotteur et éléments de tablier associés) et amené par flottaison sur son emplacement définitif. Au préalable, les corps morts préfabriqués auront été échoués avec leur tirant associé. L'élément de pont est alors descendu à sa cote définitive par mise en tension coordonnée des tirants, et assemblé avec l'élément adjacent.

5.2. Tunnel immergé

5.2.1. Les piles sous-marines - L'embase tronconique des piles est fabriquée en cale sèche, puis amenée par flottaison en rade de construction où le fût de pile est bétonné, des flotteurs assurant le maintien d'un tirant d'eau convenable. Après amenée sur le site, l'ensemble est descendu verticalement par ballastage progressif et ancrage sur les corps morts.


SPAIN
ALGECIRAS
GIBRALTAR
TUNNEL APPROACH
TARIFA
(-1000)
15km
25 km
(-400)
FLOATING DAM
TUNNEL FLOATING BRIDGE
MOROCCO
TANGIER

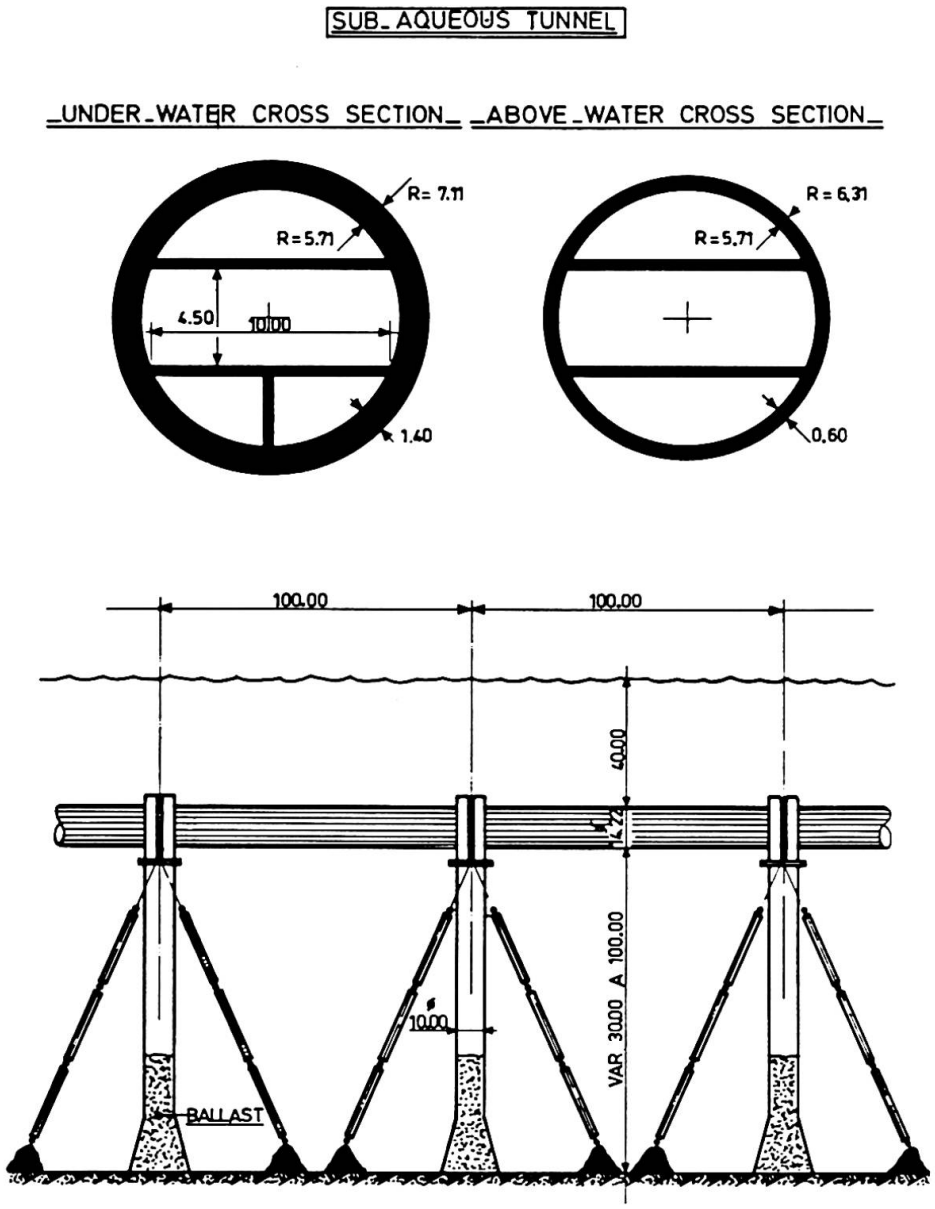

FLOATING BRIDGE
LONGITUDINAL ELEVATION
CROSS ELEVATION
150.00
90.00
56.00
+11.50
+16.00
± 0.00
SWELL
-11.50
-35.70
97.40
57.40
PLAN VIEW
7.40
DECK
9.00
1.00
7.00
1.00
56.00
6.00
90.00
4.00

5.2.2. Les éléments de tunnel - Ils sont également préfabriqués avec des cloisons provisoires d'extrémité, et amenés par flottaison. La mise en place sur les piles se fait par action sur des tirants ancrés sur des corps morts et lestage progressif des risers provisoires. La liaison avec l'élément de tunnel déjà posé est une opération qui doit s'accomoder d'une précision limitée tout en permettant d'obtenir l'étanchéité indispensable. Ce point a fait l'objet d'une étude poussée conduisant à la mise au point d'un dispositif répondant aux exigences requises.

6 — ESTIMATION ET DELAIS DE CONSTRUCTION

L'ensemble de l'ouvrage est évalué, dans les conditions économiques de 1982 à 13 500 Millions de Dirhams marocains, soit 15 Milliards de Francs Français ou 2 Milliards de Dollards US.

Le délai de construction est évalué à 8 années, à compter de la date effective de démarrage des opérations.

7 — REMERCIEMENTS

Les éléments de cette communication proviennent d'une étude réalisée pour le compte de la Société Nationale d'Etude du Détroit. Les auteurs tiennent à remercier les Autorités Marocaines pour avoir autorisé cette publication. Ils forment des vœux pour que l'œuvre entreprise par le Maroc, et dont l'intérêt économique pour les relations entre l'AFRIQUE et l'EUROPE est considérable, aboutisse à une réalisation qui comptera parmi les plus prestigieuses qui soient.