

Le bassin 10 du port militaire de Brest

Autor(en): **Boulard, J.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **10 (1976)**

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-10447>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Le bassin 10 du port militaire de Brest

Das Trockendock No. 10 des Kriegsmarine-Hafens Brest

Dry Dock no. 10 in Brest Naval Base

J. BOULARD

Ingénieur en Chef des Travaux Maritimes

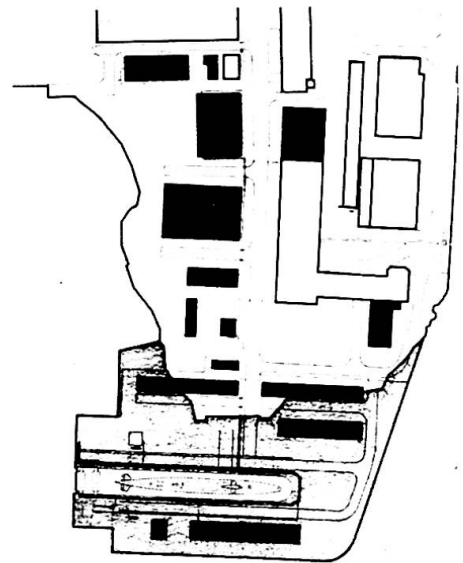
Sous-Directeur des Travaux Maritimes

Brest, France

1 - LE CARENAGE DES SOUS-MARINS DE LA FORCE OCEANIQUE STRATEGIQUE -

Le port militaire de BREST, support logistique puissant de la Base Stratégique de l'ILE LONGUE, a été retenu pour abriter la chaîne industrielle de grands carénages des Sous-Marins Nucléaires Lanceurs d'Engins (S.N.L.E.). La complexité des opérations (il faut démonter et évacuer du sous-marin par des brèches de très faibles dimensions tout son équipement interne, ventiler l'appareillage dans les différents ateliers spécialisés pour démontage, contrôle et réparation, et remonter l'ensemble dans l'ordre inverse), et le faible délai qui leur est imparti (moins d'un an), ont pratiquement conduit la Direction Technique des Constructions Navales, chargée des travaux de carénage, à concevoir un complexe industriel neuf très spécialisé, dont la pièce maîtresse est un bassin de radoub taillé "sur mesure", dit Bassin 10, situé au milieu d'un terre-plein gagné sur le plan d'eau de la Rade.

Ce Bassin, de dimensions modérées, se caractérise par la sophistication de ses équipements. En particulier la station de pompage doit pouvoir assurer n'importe quel niveau à l'intérieur du Bassin par n'importe quelle marée (y compris surremplissage), et, outre le service du Bassin et du sas d'entrée, assure diverses autres fonctions (réseau d'eau de réfrigération à pression réglée par exemple).



Environnement du Bassin 10
En gris, terrain gagné sur la mer

2 - CONCEPTION DU BASSIN 10 -

Du fait de certaines difficultés géotechniques du site retenu (failles, couches perméables), il a été finalement décidé de construire le Bassin 10 en échouant sur une plateforme souple, traitée par pilonnage intensif, et réglée avec une extrême précision (de l'ordre du centimètre), un "bateau" en béton précontraint et armé, préfabriqué dans un grand bassin de radoub de l'Arsenal de BREST, et amené sur le site en flottaison. Les terre-pleins adjacents, contenus par une digue munie d'un filtre en matériau synthétique, sont ensuite gagnés sur la mer par remblaiement sableux et reçoivent les superstructures industrielles adéquates.

L'emplacement du bassin de préfabrication, à l'amont d'une rivière sinueuse, posait des problèmes de tirant d'eau du caisson préfabriqué. Ceci a nécessité de concevoir l'ensemble du bassin et de sa station de pompage accolée sous forme de trois

caissons préfabriqués (déplacements : 15.000, 17.000 et 7.000 tonnes) assemblés et rigidifiés à flot, constituant ainsi un monolithe dissymétrique en forme de L, d'épaisseur de l'ordre de 30 m., avec des branches de respectivement : 168 et 53 m., déplaçant après lestage près de 80.000 tonnes lors de l'échouage.

Cette contrainte a été l'occasion de développer un système de clavage original assurant la continuité de la structure et le transit des efforts importants qui la sollicitent (moment fléchissant maxi. 670.000 kNm, effort tranchant maxi. 41.000 kN).

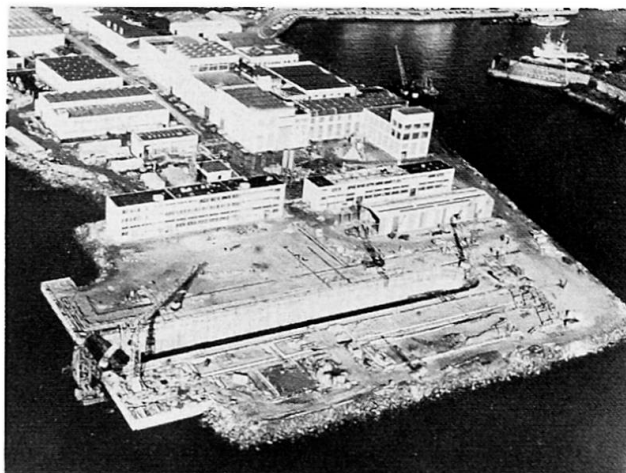
La rigidification était pratiquement imposée par une très sévère contrainte de déformation différentielle maximale tolérable pendant 1 an sur la ligne d'attinage de 160 m. (déformation différentielle inférieure à 3 cm.).

3 - ORIGINALITES DE L'OUVRAGE -

L'ouvrage présente 3 grandes originalités qui constituent semble-t-il 3 premières mondiales :

- sa fondation souple sur ballast compacté dynamiquement et réglé avec une grande précision;
- sa conception en éléments flottants clavés à flot avant échouage;
- l'emploi de textiles synthétiques pour la retenue du remblai sableux qui l'entoure.

Par ailleurs, il a nécessité la résolution d'un certain nombre de problèmes théoriques et technologiques, liés à la recherche de la légèreté maximale de sa structure et au caractère agressif du milieu qui l'entoure.



Zone du Bassin en cours de finition

4 - CARACTERISTIQUES GENERALES DE STRUCTURE -

Le projet retenu après concours, dû au groupement SPIE-BATIGNOLLES-CITRA-FRANCE-LEVAUX, s'apparente à la solution étudiée par l'Administration. La structure du Bassin est composée de trois caissons alvéolaires en béton armé et précontraint, deux pour le corps de Bassin et un pour la Station de Pompage.

On peut remarquer qu'une structure de bajoyers en voûtes ondulés (déjà envisagée par l'Administration) a été retenue. Elle permet, en effet, en principe, de conférer à l'ensemble une souplesse longitudinale intéressante (effet "accordéon") tout en résistant partiellement en voûte aux efforts locaux dus aux sur ou sous-pressions d'eau et de remblai.



Remorquage du corps de Bassin

Le parti proposé par l'Entreprise s'oriente en revanche délibérément vers la légèreté, avec des parois très minces de 30 cm. pour les voûtes, de 40 cm. pour les autres dalles et nervures. Ceci est à comparer par exemple à l'écluse de BOULOGNE qui, pour des dimensions générales analogues, est soumise à des efforts bien plus faibles, et présente des parois de 70 à 50 cm. d'épaisseur. Ce parti de légèreté s'explique par le souci d'atteindre dans le Bassin de préfabrication une hauteur de caisson maximale ne nécessitant pas de continuation des travaux à flot (comme prévu dans le projet de l'Administration, bien plus lourd), et un minimum de sujétions de marée pour l'exécution des superstructures.

La structure résistante est constituée de nervures transversales en forme de U, précontraintes verticalement (bajoyers) et horizontalement (radier) par respectivement 16 et 7 câbles BBR-B 30 ϕ 7, avec en section courante 6 barres précontraintes DJP de 33 T. utiles verticales reprenant aux naissances du radier les efforts tranchants. Ces nervures sont espacées de 5 m. et sont épaisses de 40 cm.

La poutre constituant le corps du bassin, de 30 m. de large, 21 m. de haut et 167 m. de long, est précontrainte longitudinalement par des câbles situés dans la dalle inférieure du radier, et dans 2 poutres supérieures de couronnement, coiffant chaque bajoyer et coulées après échouage des caissons. Certaines nervures longitudinales du radier sont également précontraintes dans les zones d'about. En phase de flottaison, le moment négatif agissant sur la structure "accordéon" souple, non encore raidie en tête par les poutres de couronnement, est repris en béton armé par un tirant fortement ferraillé intégrable à ces dernières, constitué d'une dalle de 40 cm. d'épaisseur à la cote 6,80, coiffant les bajoyers et ajourée pour permettre le remplissage ultérieur de leurs alvéoles.

La zone d'avant-bec est constituée d'un arc élégi armé de 11 m. de rayon extérieur, à 2 parois de 30 cm. (les élégissements étant remplis de béton après échouage).

Le radier est fermé dans sa partie supérieure par une dalle armée de 40 cm, ajourée pour remplissage des alvéoles, qui se prolonge dans les bajoyers par 2 raidisseurs dont le rôle est d'assurer la diffusion de la précontrainte transversale horizontale. Ces raidisseurs sont transformés dans les zones de culées de l'arc d'avant-bec en diaphragmes d'encastrement à la torsion d'axe vertical.

Les alvéoles du radier sont remplis après échouage de sable ou de béton, une dalle de 50 cm. d'épaisseur comportant une plateforme d'attinage et des caniveaux de drainage venant le couronner après remblaiement. Les alvéoles de bajoyer sont remplis soit de sable injecté, soit de béton.

La résistance générale de la structure s'apparente donc plutôt à celle d'un châssis-caisse d'automobile, par opposition à un châssis-poutre comme, par exemple, l'écluse de BOULOGNE.

5 - COMPLEXITE DES CALCULS -

La fondation souple de l'ouvrage, sa dissymétrie, son tronçonnement, sa rigidification ultérieure par des poutres de couronnement coulées après échouage, ainsi que la complexité et la finesse des formes liées à une recherche de légèreté maximale, ont conduit à des calculs très développés.

Ainsi l'évaluation des efforts d'ensemble (flexion par exemple) concerne a priori 5 phases de flottaison et 9 phases après échouage, comportant chacune 5 hypothèses de répartition des réactions du sol, soit 50 cas. En fait, certains cas étant enveloppes, ce nombre peut être réduit mais reste néanmoins important.

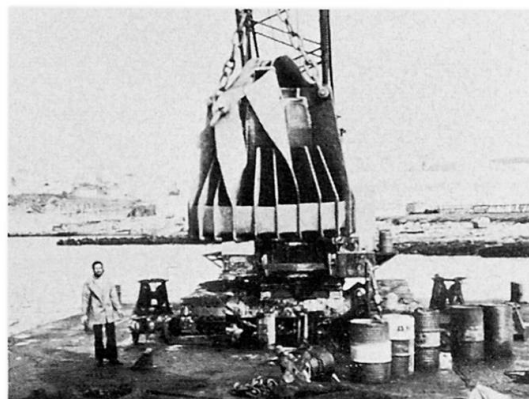
Le problème se complique notablement quand on descend au niveau des efforts locaux. Dans le cas des voûtains constituant les bajoyers, on a théoriquement, en effet, si la cale est découpée en 4 zones de 40 m. de long par exemple, à calculer les ferraillements de chaque lit d'un niveau dans 2.400 cas et à prendre les enveloppes des sections d'acier trouvées.

Les sollicitations générales ont été déterminées par l'emploi de gros programmes de calcul automatiques tridimensionnels.

La légèreté volontaire de l'ouvrage a conduit à des taux de ferraillement élevés (jusqu'à 200 kg/m³) nécessitant de grandes précautions à la mise en oeuvre.

6 - FONDATION DU BASSIN 10 -

La plateforme de fondation a été réalisée par emploi d'une technique récente, le compactage dynamique (procédé L. MENARD), qui consiste à consolider le sol au moyen de l'énergie de choc d'une masse importante tombant d'une grande hauteur, avec contrôle de l'évolution des caractéristiques géotechniques du sous-sol. Déjà appliquée à BREST par le Service des Travaux Maritimes pour des fondations d'ateliers lourds, elle voit avec le Bassin 10 sa première application sous-marine.



Masse de compactage dynamique sous-marin

La masse utilisée était de 11 tonnes déjàugées, tombant d'environ 10 m. Un profilage convenable et sa forme spécialement étudiée ont permis de constater que la déperdition d'énergie à l'impact était inférieure à 5%. En revanche, l'expérience a montré qu'une fraction importante de l'énergie se dissipait dans l'eau pendant et après l'impact.

L'énergie totale appliquée à la fondation du Bassin 10 est d'environ 2,5 millions de tonnes mètres (25 GJ). Le contrôle a nécessité 400 essais pressiométriques. Le réglage final, réalisé entièrement par plongeurs sous parfois plus de 20 m. d'eau, intéresse une surface de 6.500 m², la précision étant de l'ordre de 2 cm., contrôlée par plus de 1.500 points de visée avec report en surface.

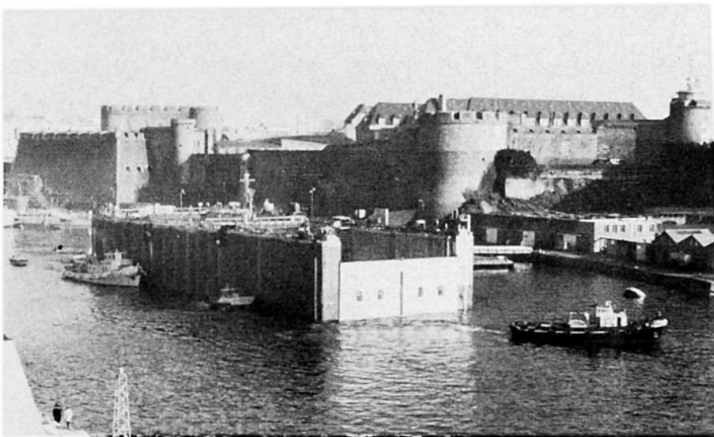
Les caractéristiques d'élasticité obtenues sont plus favorables que toutes celles des diverses hypothèses prises en compte dans les calculs, car relativement homogènes sur toute l'étendue de la plateforme.

7 - SOLIDARISATION ET RIGIDIFICATION A FLOT DES ELEMENTS PREFABRIQUES -

Le clavage à flot des éléments du corps de bassin et de sa station de pompage posait des problèmes techniques originaux liés à la nécessité de conférer aux joints rigides une résistance et une étanchéité suffisantes d'une part, de réaliser d'autre part un alignement le plus parfait possible entre les éléments de façon à éviter les portages différentiels sur l'assise.

La technique retenue par la SPIE est la suivante :

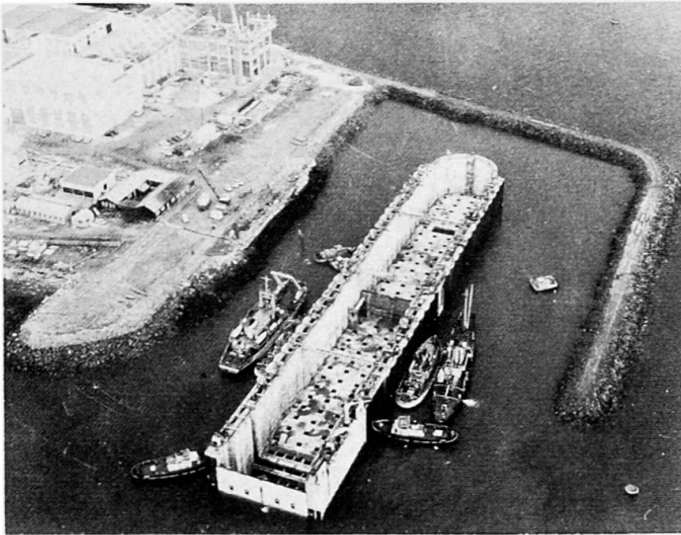
- équilibrage par lest liquide des tirants d'eau des deux éléments du bassin,
- rapprochement par treuils et positionnement relatif par pénétration de goujons mâles dans des réservations femelles,
- alignement des arêtes inférieures du joint par 6 vérins lourds agissant sur les goujons. Calage des goujons,
- réglage du parallélisme des faces du joint par vérins plats. Mise en tension de câbles provisoires hors d'eau pour écrasement du joint d'étanchéité périphérique en U contrôlé par appuis sur vérins plats (10 kN/m). Vidange de l'espace interne au joint avec écrasement additionnel de ce dernier dû à la variation de poussée hydrostatique. Mise en tension de câbles provisoires supplémentaires. Le joint peut alors résister aux efforts dus à la houle et au vent, et être même calé sur des butées par dégonflement des vérins plats en cas d'efforts anormaux (tempête),
- enfilage des gaines et des câbles de cloutage du joint. Bétonnage de la partie précontrainte,
- mise en tension progressive des câbles. Dégonflement des vérins plats. Le joint résistant est alors constitué de béton précontraint qui réalise la continuité de la structure,
- bétonnage de blocage des alvéoles du joint et injections d'étanchement.



Remorquage du caisson d'entrée du Bassin
Déplacement 17.000 tonnes

Le joint du bassin a été réalisé à l'abri de la houle à l'intérieur d'un des grands bassins de l'Arsenal, en eau porte en place.

L'alignement des axes des 2 caissons du bassin était contrôlé sur 160 m. par un rayon laser. Le clavage s'est effectué avec un déport de l'ordre de 5 à 12 mm. sur 160 m. de l'impact sur la cible; ces variations étant dues aux déformations de la forme sous l'effet des écarts de température de la partie émergée. La coïncidence locale des plans des faces inférieures des 2 caissons de bassin est réalisée au millimètre. Pour la station de pompage, il subsiste une "marche d'escalier" de l'ordre du centimètre dont l'origine n'a pu être expliquée.



Amenée du corps de bassin sur le site d'échouage, avant clavage de la station de pompage latérale (déplacement 35.000 t.)

8 - PREFABRICATION -

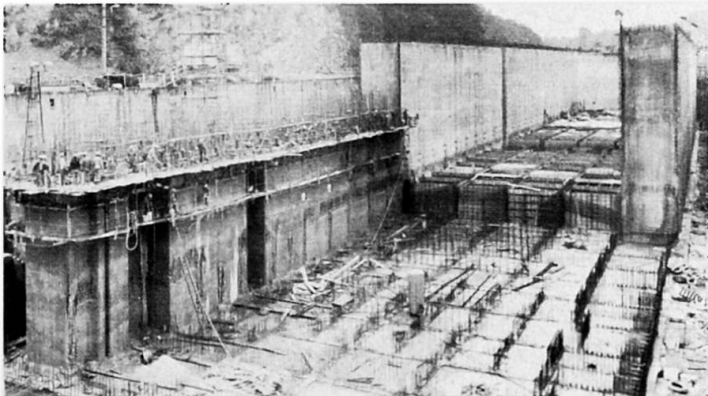
La préfabrication a été réalisée par la technique des coffrages glissants pour les bajoyers, par plots de 70 m. de longueur maximale (développé de plus de 200 m), et avec des coffrages traditionnels pour le radier alvéolaire.

Le bassin représente 56.800 m² de coffrages, 1.500 km d'acier à haute adhérence, 22 km d'acier dur ϕ 7 de précontrainte en 1.110 câbles de 30 fils, 500 barres précontraintes.



Finition de la digue d'enclôture du terre-plein après échouage du bassin et adjonction d'un caisson de quai.

La qualité du béton et la protection des aciers actifs et passifs contre l'agressivité du milieu marin ont fait l'objet de précautions originales. Au total une vingtaine de tonnes de résines diverses (époxydiques, polyesters) et d'élastomères ont été utilisées en adjonction aux bétons, et en collages et protections diverses. En particulier, certaines gaines de câbles précontraints exposés ont été injectées avec des coulis spéciaux aux résines, et certains fils de précontrainte préenrobés à chaud de résines époxydiques.



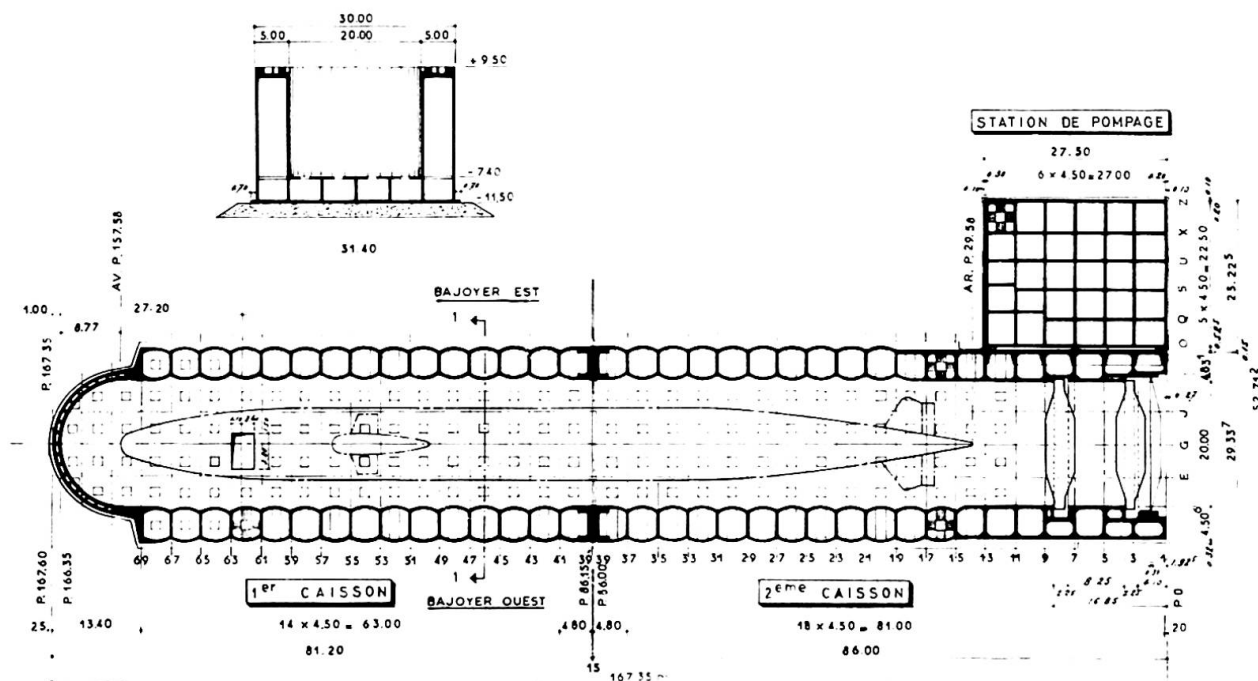
Les contrôles de qualité ont revêtu sur ce chantier une ampleur exceptionnelle, en particulier pour la résistance et la compacité des bétons, pour lesquels des tests statistiques élaborés ont été mis au point.

Préfabrication d'un quart de bajoyer du 2^e caisson

9 - COMPORTEMENT DE L'OUVRAGE -

En service depuis l'été 74, le Bassin 10 se comporte conformément aux prévisions et a rendu tous les services qu'on attendait de lui. En particulier les tassements absolus sont faibles (de l'ordre de 4 cm) et les tassements différentiels inférieurs à 10 mm.

BIBLIOGRAPHIE - Revue Travaux n° 475 Octobre 1974 - Article détaillé de l'Auteur sur le Bassin 10.



Caractéristiques dimensionnelles du Bassin 10

RESUME - Le Bassin 10 a été préfabriqué en 3 caissons alvéolaires de béton précontraint, assemblés à flot et échoués sur une plateforme élastique continue réglée avec une extrême précision. La légèreté de la structure et la variété et l'ampleur impressionnantes des efforts qu'elle subit entraînent une grande sophistication des calculs et des formes, nécessitant l'emploi généralisé de techniques nouvelles: compactage dynamique aérien et sous-marin; système de clavage (dont un laser) pour jonctionnement des caissons; procédés spéciaux de protection contre l'environnement maritime. Le Bassin est en service depuis la mi-74.

ZUSAMMENFASSUNG - Das vorgefertigte Trockendock No. 10 besteht aus drei wabenförmigen Senkkästen aus Spannbeton. Die Senkkästen wurden in schwimmendem Zustand zusammengesetzt und auf ein durchgehendes elastisches Fundament gesetzt, dessen Oberfläche mit höchster Genauigkeit reguliert worden war. Die Leichtigkeit der Konstruktion und die vielfältigen und grossen Belastungen denen sie ausgesetzt ist, führen zu einem sehr hohen Schwierigkeitsgrad in der Berechnung und der Bemessung. Neue Techniken wurden angewandt: Dynamische Verdichtung an der Luft und im Wasser, ein Verbindungssystem (unter Verwendung von Laser), um die Kästen zusammenzufügen; spezielle Schutzmassnahmen gegen die Einwirkung des Meerwassers. Das Becken steht seit Mitte 1974 in Betrieb.

SUMMARY - Prefabricated dry dock no. 10 consists in three honeycomb prestressed concrete caissons, assembled while afloat, and sunk on a continuous elastic foundation of extremely accurate surface grading. The structure lightness (caisson walls are only one foot thick) and the impressive variety and magnitude of the efforts it must withstand, lead to sophistication of calculation and design. Extensive use of new techniques has been needed: underwater and land dynamic compaction (total energy 10 million mt); keying system (including laser beam) for caissons junction; special processes for protection against salt water environment. The dock has been used since mid-74.