

16 octobre 2014

Le bateau-porte du Grand Port Maritime de Marseille



Le 16 octobre 2014, la délégation AFGC Méditerranée et la direction Territoriale du CEREMA (ex CETE Méditerranée) ont organisé une journée consacrée à la construction du bateau-porte de la forme 10 du GPMM.

Rappel du programme

8h30 : Accueil, siège du GPMM

9h30 : Introduction

J. Resplendino – AFGC

9h30 : Présentation opération générale

P. Bion - GPMM

9h50 : Diagnostic des structures existantes

T. De Folleville – Setec TPI

10h10 : Le programme du dialogue compétitif

- Le choix de la procédure

PA Mizzi – GPMM

- Le programme fonctionnel

Ph Jouve – GPMM

10h25 : Organisation du groupe de concepteur constructeur

C. Amorim, JC Roux – Spie Batignolles TPCI

10h40 : Etudes de conception : dimensionnement

C. Pratz – Setec TPI

11h00 : Pause-café

11h15 : Approches performantielles sur les bétons

A. Gouin – ATCM, N. Cordier – CEREMA

11h30 : Exécution des travaux – Méthodes

JC Roux – Spie Batignolles TPCI

12h10 : Suivi et contrôle des travaux

T. Paris – GPMM

12h30 : Débat

13h00 : Déjeuner

14h30 : Visite du chantier

17h30 : Fin de la journée

1 – Le mot du président de l'AFGC Méditerranée

L'association française de génie civil est un lieu d'échanges où se côtoient maître d'œuvre, maître d'ouvrage, bureaux d'études, architectes et plus généralement tous les acteurs oeuvrant pour le génie civil. Le but de l'association est de faciliter le partage des connaissances et des savoir-faire. Les nombreuses manifestations organisées par les sept délégations régionales de l'association ainsi que les publications scientifiques et techniques contribuent grandement à atteindre cet objectif. L'expérience acquise sur le terrain est également mise en avant lors des visites de chantier.



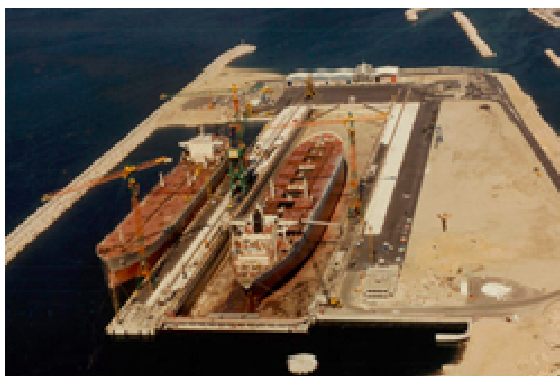
2 – Présentation de l'opération

La forme de radoub n°10 du GPMM a été construite (pour un coût de l'ordre de 280 Millions de francs qui correspondrait aujourd'hui à environ 500 millions d'euros) de 1972 à 1976

en partie Nord du port de Marseille pour recevoir des navires de 700 à 800000 tonnes (notamment des supertankers parmi les plus gros navires pétroliers du monde).

Il s'agit de la 3ème plus grande forme de radoub au monde après celles de Lisbonne et de Dubaï, ses dimensions sont 465m x 85m x 11m soit un volume d'approximativement 480 000 m³ (l'équivalent de 192 piscines olympiques). Elle se remplit en 1h50 et se vide en près de 3h grâce à des pompes extrêmement performantes (débit de 40m³/s). Elle a été entièrement faite en remblai maritime.

Le bateau porte qui l'isole actuellement de la mer est un ouvrage en béton précontraint de 85,35m de long, 15m de large et 13,30m de hauteur ce qui représente un poids de 9100 tonnes.



Forme 10 du GPM et BP associés

Le GPM a donc pour mission d'apporter des garanties de bon fonctionnement à ses clients sur une durée de plusieurs années. Le diagnostic sur la structure existante ne pouvait pas répondre favorablement à ces attentes, un fort investissement a été voté pour remettre en état la forme d'ici Septembre 2015 : 28 millions d'€ dont près de la moitié uniquement pour le bateau-porte qui est véritablement l'ouvrage clef dont dépend toute l'installation.

Pour remplir cet objectif, le GPM va pouvoir s'appuyer sur l'expérience issue du diagnostic détaillé du bateau-porte existant et ainsi reconstruire un nouveau bateau-porte dont la fiabilité assurera la pérennité de la forme et de ses équipements pour 25 ans et plus.

Ce bateau-porte est un ouvrage complexe : c'est un ouvrage poids qui doit résister à la poussée de l'eau et à l'«agression» permanente de l'environnement marin et, il doit également avoir comme l'indique son nom des caractéristiques de bateau (flottaison, maniabilité...). Il sera suivi de très près tout au long de sa durée de vie par une instrumentalisation poussée que nous aurons l'occasion de voir plus tard dans ce rapport.

Les travaux ont débuté au 3ème trimestre 2013 et devront être finis au 2ème trimestre 2015 soit un délai global de 21 mois dont 4 mois uniquement pour la préparation.

3 – Les études de conception

Réalisée en 2012, l'inspection et le diagnostic de la structure existante ont permis d'enrichir les connaissances sur « le comportement à long terme d'un telle structure » et ont ainsi permis de consolider les hypothèses et les principes de conception du nouveau bateau-porte. D'autre part, il fallait s'assurer que l'ancien bateau-porte (qui était échoué depuis quelques temps au fond de la forme 9 du GPM) pouvait

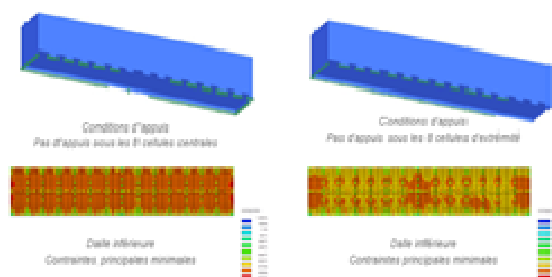
Les manifestations régionales

servir et assurer de manière pérenne l'étanchéité de la forme 10, le temps du chantier de construction du nouveau bateau porte.

Le bateau porte existant est une structure entièrement précontrainte, dans les 2 sens vertical et horizontal, comportant des câbles verticaux en boucle de type 12T30 de classe TBR (très basse relaxation). Il se compose de 28 alvéoles séparées en 4 compartiments de ballast comportant chacune de 7 cellules communicantes. Le tout est posé sur un radier de 50 cm d'épaisseur. Cet ouvrage est supporté côté mer par un appui linéaire qui assure l'étanchéité et, côté forme par plusieurs appuis ponctuels de type tronconique qui assurent la butée horizontale.

Les sociétés DIADES, SETEC TPI et le LERM ont assuré l'inspection détaillée et l'expertise de la structure.

Afin d'étudier le bateau porte actuel et sa précontrainte, une modélisation aux éléments finis a été effectuée avec un logiciel interne à SETEC TPI : Pythagore.



Les conclusions de cette inspection et de la modélisation ont été que l'ouvrage ne respecte pas les critères de fissuration aux EC2 mais qu'il n'y avait pas de risque de ruine de l'ouvrage à l'ELU. Donc, le bateau-porte peut assurer à court terme la fermeture de la forme 10 même s'il ne respecte pas toutes les normes actuelles.

4 – L'approche performantielle

Le bateau porte est un ouvrage en béton précontraint (de forte densité de ferrailage passif et actif) d'un volume de 3600m³ de béton. Il a une durabilité de 50 ans et est immergé en permanence dans l'eau de mer. Les dégradations de béton dans ce milieu se traduisent par les attaques par les chlorures et la corrosion des armatures d'autant plus importantes dans les zones de marnage.

Pour répondre à cet objectif de durabilité, plusieurs dispositions ont été adoptées :

- Utilisation d'un BHP C 60/75-
- Précontrainte isolée électriquement
- Protection cathodique des armatures HA
- Utilisation d'une membrane à perméabilité contrôlée sur les coffrages,
- Mise en place d'une approche performantielle sur le béton.

Cette approche performantielle, formalisée à travers le CCTP du chantier du bateau, est une approche mixte comportant des prescriptions traditionnelles complétées par des objectifs sur les indicateurs de durabilité vis-à-vis de la corrosion des armatures.

Approche mixte	
Approche prescriptive	Indicateurs de durabilité- Seuils (vis-à-vis de la corrosion des armatures)
- classe de béton C60/75 - classe d'exposition XC4, XS3 - teneur minimale en liant équivalent 350 kg - rapport (E_{eff} / E_{eq}) < 0.35 - ciment CP, PM, CI 0.2 $D_{max} = 20$ mm - niveau de prévention vis-à-vis de l'alcali-réaction : C d'où l'utilisation de granulats NR (non réactifs). - niveau de prévention vis-à-vis de la réaction sulfatique interne : Ds (catégorie d'ouvrage III et classe d'exposition XH3 avec une élévation maximale de t° de 65°C.	- porosité accessible à l'eau, $P_{eau} < 11 \%$ - coefficient de diffusion apparent des chlorures, $D_{app} < 2,5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ - Perméabilité apparente aux gaz, $K_{gaz} < 50 \cdot 10^{-18} \text{ m}^2$

5 – Exécution des travaux

Réalisation du radier

L'étanchéité horizontale doit être assurée par un joint en compression entre le bateau porte et le seuil. Pour assurer cette fonction, une méthode de « boîte à sable » a été développée : la poutre principale et les sabots sont réalisés sur des boîtes à sable. A la fin des travaux, le sable est chassé des boîtes pour insérer le joint sous la poutre et les azobés sous les sabots.

Le même principe est appliqué pour les plots béton et les étaies sur lesquels repose l'ouvrage. Des profilés métalliques sont disposés sur les plots et des bastings sur les profilés pour éviter le déversement. Les tables coffrantes habillées en contre-plaqué sont mises en place. Après ferrailage et bétonnage, on chasse le sable pour retirer les plots, les étaies, les tables et les réutiliser ailleurs.

Les reprises de bétonnage se font en stremaform pour qu'elles restent propres.

Le ferrailage du radier est complexe même s'il ne présente pas des grands diamètres (diamètre moyen inférieur à 13mm) et que son ratio est relative faible (120kg/m3).

La précontrainte dans le bateau porte est aussi bien longitudinale que transversale.

Réalisation des voiles

Pour les élévations, la contrainte principale demeure le délai de reprise de bétonnage. L'exécution est donc décomposée en quatre levées. L'ensemble des voiles est coulé à l'aide des bennes à béton (8 à 12 m3/h). On coffre une file et des amorces de voiles longitudinaux en quinconce. L'amorce de voile fait 90 cm d'épaisseur, une deuxième élévation de 4.29m, une troisième levée de 3.40m et la dernière qui fait 2.66m. On arrive ainsi à la réalisation du pont d'épaisseur 30 cm qui est raccordé au voile par un gousset.

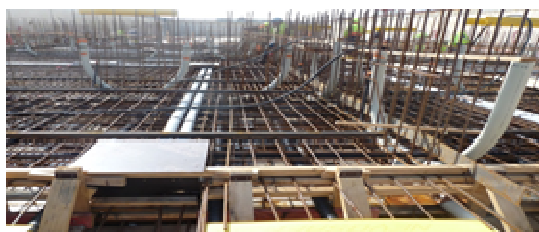
Phasage de construction :

Le nouveau bateau porte est construit avec un phasage en pyramide. Selon la méthode étudiée par SPIE, on construit en partant du milieu de l'axe du bateau porte vers l'extérieur. Ce phasage a des avantages qui sont :

- La sécurisation du planning car on libère les alvéoles où il y a l'ensemble de l'équipement (les pompes de ballastage et la tuyauterie) qui peut être posé sans retard ;
- L'affranchissement de détails non muris tels que le dispositif de guidage ; lors de l'échouage, les sphères de guidage doivent venir se placer dans un logement ancré

dans la forme, ce qui permet de caler au bon endroit transversalement le bateau porte.

Ce phasage a par contre un inconvénient qui est que deux fronts sont ouverts en attaquant par le milieu. En termes de délais de reprise de bétonnage, les travaux doivent se faire deux fois plus vite.



6 – Visite de chantier

La visite de la forme 10 a débuté par un bref exposé des plans du projet.

Suite à cela, nous avons visité l'élément témoin du bateau porte : il s'agit d'une porte de longueur réduite qui présente toutes les difficultés que la mise en œuvre de l'ouvrage pourrait soulever.



7 – Conclusion

Cette conférence et la visite qui l'a suivie nous ont permis de découvrir et de comprendre un projet très important pour la vie maritime du port de Marseille. Nous avons vu toutes les phases du projet de reconstruction du bateau porte de la forme 10. Cela nous prépare amplement à la vie professionnelle, en ce sens que nous avons constaté de façon pratique le rôle de l'ingénieur dans un projet de cette envergure.

*Compte-rendu rédigé par Axelle Yanire SOMDA
Élève ISBA-TP (Marseille)*