



Les appontements Milhaud de la base navale de Toulon

Sylvain BOUTEFOY¹

1 Etablissement du Service d'Infrastructure de la Défense de Toulon
BRCM de Toulon
BP 71
83800 Toulon cedex 9
sylvain.boutefoy@intradef.gouv.fr

Résumé :

Le maintien en condition d'ouvrages vieillissants mais pleinement opérationnels est toujours une tâche complexe ; a fortiori sur des ouvrages maritimes stratégiques en béton précontraint. Bien plus, la réflexion à conduire sur leur remplacement et leur future adéquation aux bâtiments de la flotte de guerre du troisième millénaire, bientôt présente et surtout à venir, est un véritable défi.

Dans ces conditions, cet article vise à présenter le raisonnement du maître d'ouvrage confronté, d'une part, au maintien en condition opérationnelle d'appontements de la base navale de Toulon, majeurs mais en fin de vie car confrontés à un risque avéré de corrosion des armatures précontraintes, et, d'autre part, à la problématique de leur remplacement. L'enjeu est de maintenir en permanence la capacité de stationnement de la flotte de la Marine, et donc de réduire les contraintes, souvent incompressibles, inhérentes, à court et moyen termes aux réparations, et à long terme au remplacement des appontements.

Mots-clés : Maintien en condition opérationnelle, Exploitation, Réfection, Béton armé, Béton précontraint, Instrumentation, Chlorures, Appontement.

1. Introduction

Les cinq appontements Milhaud représentent un linéaire d'accostage de plus de 2000 mètres sur la base navale de Toulon, premier port militaire d'Europe occidentale. Ils accueillent la flotte classique de la Marine Nationale basée en Méditerranée : la force d'action navale (frégates, ...), les bâtiments de soutien et les bâtiments de projection et de commandement.

Les appontements sont constitués de tabliers de poutres préfabriquées précontraintes par adhérence, surmontées d'une dalle de compression coulée en place dans les années 1960, et reposent sur des piles massives en béton armé datant de la fin de la première guerre mondiale.



Figure 1. Situation des appontements Milhaud de la base navale de Toulon.

Si les parties en béton armé (piles et poutres caissons d'entretoisement), bien que fortement atteintes, peuvent faire l'objet de réparations adaptées, en revanche, le diagnostic du tablier précontraint est beaucoup plus difficile à poser et les moyens de réparation quasiment inexistant.

Un premier diagnostic partiel de ces ouvrages a été réalisé au début des années 2000 et a mis en évidence une pénétration importante des chlorures en sous-face des dalles de tablier générant un risque de corrosion des armatures de précontrainte. Un diagnostic complémentaire, conduit par le CEREMA en 2014 et basé sur des investigations limitées et des essais de chargement à la rupture de quatre dalles constitutives des appontements réalisés en 2013, a révélé le mauvais état de ces ouvrages.

Dans le but de préciser l'état général des appontements, l'établissement du service d'infrastructure de la Défense de Toulon a donc confié au CEREMA (2014 ; 2015), au travers d'une convention, une double mission d'assistance : réalisation d'investigations supplémentaires et suivi des pathologies.

Parallèlement à ces opérations visant à maintenir l'exploitation des appontements et donc *in fine* l'activité opérationnelle de la base navale de Toulon, une équipe de projet a été constituée. Son but est de définir le plus en amont possible les caractéristiques techniques et fonctionnelles des appontements de demain. Le parti-pris de reconstruction à l'identique n'est en effet pas viable ; ces ouvrages ont été édifiés il y a plusieurs dizaines d'années sur la base des besoins de la Marine d'alors. La Marine a changé, en modèle de navire, en volume des équipages et en nature des besoins à

satisfaisant. Il convient donc de redéfinir dès aujourd'hui le besoin, présent et surtout à venir, afin que ces appontements soient toujours aptes à accueillir la Marine de 2100 !

2. La méthode : l'enjeu de la représentativité

2.1 Un échantillon suffisamment représentatif

La surface à prendre en compte pour les cinq appontements Milhaud est particulièrement importante ; elle représente environ 8 500 m² soit 2 000 dalles précontraintes de plus d'une dizaine de types et de tailles différents : à torons T13 ou à fils lisses $\Phi 5$ à haute limite élastique, disposés sur deux à quatre lits d'armatures.

Les premiers tests ont été réalisés sur un échantillon de quatre dalles très réduit au regard du nombre total de dalles constitutives. Sans surprise, les résultats obtenus n'étaient pas suffisamment représentatifs et les conclusions n'ont pas pu être généralisées à l'ensemble des ouvrages. Cette première campagne a toutefois permis une prise de conscience salutaire pour le remplacement ultérieur des ouvrages. Des investigations complémentaires plus exhaustives ont donc été décidées.

Afin de limiter l'étendue des zones à surveiller et, *in fine* réduire les coûts, toutes les opérations présentes et à venir sont ciblées sur des zones cohérentes et identifiées en liaison avec l'exploitant. Il s'agit de chemins de roulement de six mètres de large sur chacun des appontements.

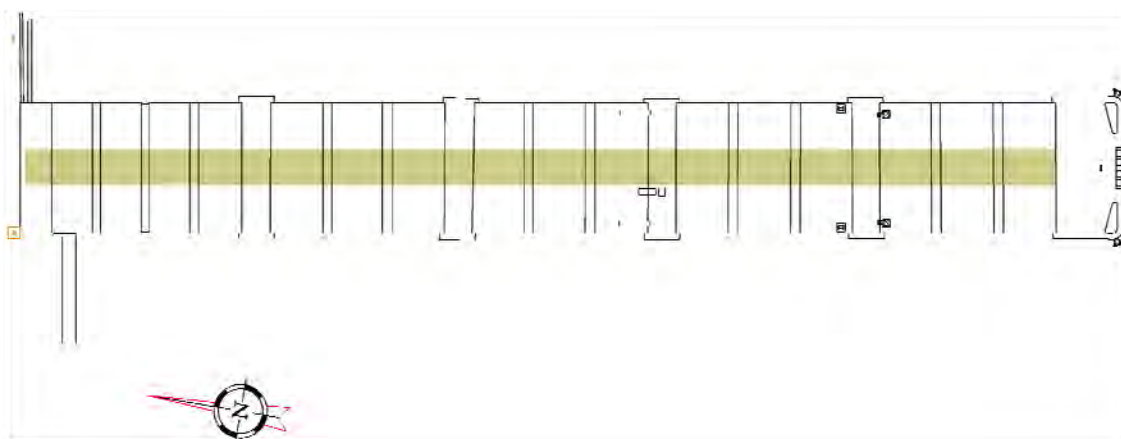


Figure 2. Chemin de roulement de l'appontement Milhaud 3.

2.2 La pénétration des chlorures : mesures exhaustives

Une campagne exhaustive de mesure de pénétration des chlorures dans les dalles de l'ensemble des 90 travées des appontements a été conduite. Les prélèvements ont été exécutés dans des dalles situées dans la zone des chemins de roulement. Les essais de détermination des teneurs en chlorures ont été réalisés à partir d'échantillons de poudre

Thème 4 – Ouvrages portuaires, offshore et de plaisance

de béton prélevés en intrados de dalle, à raison de deux sondages par dalle, l'un à mi travée et l'autre à l'about.

Les teneurs en chlorures les plus élevées en profondeur ont toujours été observées en about, à proximité d'une pile, et donc en zone de marnage, soumise aux éclaboussures induites par les vagues et la houle sur les piles. A contrario, les aciers précontraints situés à mi travée, en zone de flexion maximale, présentent un taux de chlorures libres inférieur.

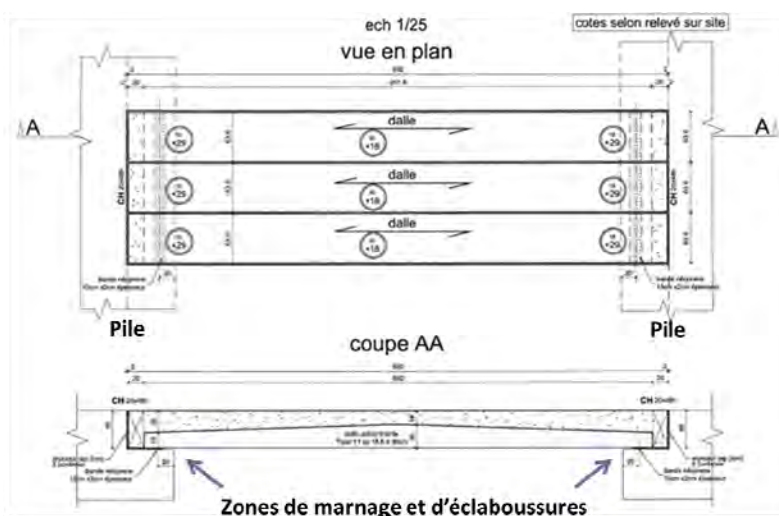


Figure 3. Vue en plan et coupe des dalles constitutives d'une travée entre deux piles.

En complément des plans disponibles, des mesures d'enrobage des armatures constitutives des dalles ont quant à elles permis de statuer sur le nombre de lits d'armatures pour lesquels le seuil d'initiation de la corrosion est atteint, voire dépassé. Ces mesures ont été réalisées à l'aide d'un ferroskan et les résultats obtenus ont été validés par des fenestragés réalisés sur les différents types de dalles.

La campagne a été réalisée sur toutes les travées, dans la zone des chemins de roulement. Les résultats obtenus sont donc particulièrement représentatifs et peuvent, avec une très bonne approximation, être généralisés à l'ensemble du chemin de roulement. Une synthèse visuelle de ces résultats est présentée ci-dessous.

Ce premier état des lieux constitue le point de référence de l'état des appontements en vue du suivi périodique de l'évolution du profil de pénétration de chlorures qui s'impose jusqu'aux opérations de remplacement à proprement parler.

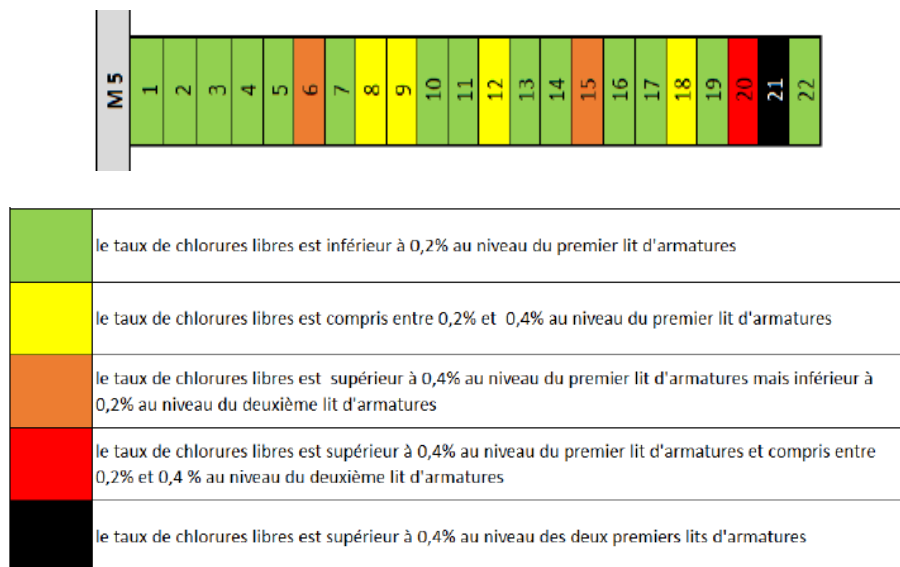


Figure 4. Pénétration des chlorures sur l'appontement Milhaud 5
(Rapport d'investigation CEMENTYS, 2015).

3. La caractérisation des matériaux

Lors des essais réalisés par le CEREMA en 2013, la rupture d'une dalle a eu lieu à charge constante une fois le palier plastique atteint. Le risque de rupture fragile sans signe avant-coureur a donc été pris en compte. Les dalles à deux lits d'armature sont ainsi en cours de remplacement sur l'ensemble des chemins de roulement des appontements.

Le CEREMA a procédé au recalcul des dalles des appontements supportant les chemins de roulement, afin de valider le maintien en exploitation de ces ouvrages dans l'attente de leur remplacement. Les calculs ont été réalisés uniquement sur la base des critères de vérification aux Etats Limites Ultimes des Eurocodes, visant à traduire le niveau de sécurité structurale (la probabilité de non-ruine) et garantir la sécurité des usagers. Les vérifications aux Etats Limites de Service (aptitude au service et durabilité) ne sont en effet plus opportunes.

3.1 Moment fléchissant vs effort tranchant

Intuitivement, le cas dimensionnant retenu en première approche pour définir la résistance structurale résiduelle des dalles était avec la flexion à mi-travée. Les calculs ont donc initialement été conduits de cette manière. Toutefois, les résultats de la campagne de pénétration des chlorures ont mis en exergue une pénétration très supérieure en about par rapport à mi-travée et *de facto* un état préoccupant des lits d'armatures en extrémité. Dans ces conditions, la sollicitation de l'effort tranchant ne saurait être négligée.

Thème 4 – Ouvrages portuaires, offshore et de plaisance

Il convient donc de vérifier la résistance des dalles également vis-à-vis de l'effort tranchant avant de pouvoir conclure. Ces calculs nécessitent en outre de préciser la connaissance des conditions d'appui au niveau des piles principales et des piles secondaires.

3.2 La limite des Eurocodes

Si les appontements Milhaud ont été dimensionnés au BAEL lors de leur construction, en revanche les vérifications conduites aujourd'hui par le CEREMA sont toutes effectuées aux Eurocodes. Le résultat de ces calculs permet de conclure à l'aptitude à la circulation des véhicules du code de la route, hors convois exceptionnels.

Dans le cas contraire, cette méthode de calcul permet également de limiter les vérifications complémentaires aux seuls cas de charges réellement mis en œuvre sur les appontements par les véhicules roulant.

Cependant, le cas des véhicules spéciaux (de type chariots lourds, transpalettes, ...) ou celui des grues routières n'est pas pris en compte. Ces cas spécifiques d'exploitation de l'appontement devraient idéalement être envisagés sous le prisme de scénarii enveloppes de mise en œuvre des patins des grues ; pour mémoire d'autres appontements supportent une pression de 1 MPa par appui. Toutefois, il est bien plus aisé de construire un ouvrage neuf respectant ces prescriptions que de tenter de justifier par un calcul de structure la descente de charge d'un patin de grue sur une zone, certes définie, mais dont l'état structurel global est plus incertain.

3.3 La susceptibilité à la corrosion fissurante sous tension

La susceptibilité à la corrosion fissurante sous tension pourrait concerner des armatures de précontraintes présentes dans les dalles des appontements Milhaud. Afin de lever cette indétermination, des essais sont en cours, sur la base des dalles prélevées lors des opérations de remplacement.

4. L'apport recherché par l'instrumentation

La refonte des appontements est actuellement envisagée à l'horizon d'une dizaine d'années, étant donnés les volumes financiers à engager et l'impact opérationnel d'un chantier d'une telle ampleur. Les opérations de mesure de pénétration de chlorures et de remplacement de dalles précédemment explicitées doivent permettre d'assurer une continuité de l'exploitation jusqu'à ces échéances. Dans ces conditions, le suivi dans la durée, d'une part, des réparations effectuées et, d'autre part, de l'évolution générale de ces ouvrages précontraints quinquagénaires, revêt un intérêt primordial.

Devant l'ampleur de la surface à contrôler, même réduite aux seuls chemins de roulement, et la durée d'observation envisagée, une réflexion approfondie est en cours pour définir l'instrumentation la plus adaptée et la plus pertinente, en termes de coût et de nature des informations disponibles.

Le dispositif d'instrumentation recherché devrait permettre de surveiller le vieillissement des ouvrages et de contrôler l'intégrité de la structure. Il serait couplé à des épreuves de chargement calibré régulières, afin de valider périodiquement la poursuite de l'exploitation ou de mettre en évidence le vieillissement des travées. Ces mesures renseigneraient d'une part, sur la déformation immédiate des dalles (à veiller *a minima* à conserver dans le domaine élastique), et d'autre part, sur le comportement de la structure à moyen terme du fait des chargements cycliques et de l'ouverture des fissures existantes, favorisant potentiellement la pénétration des chlorures et donc accélérant la dégradation.

Différents tests d'instrumentation ont été conduits *in situ* sur des portions d'appontement, à des fins d'illustration et de comparaison : mise en place de dispositifs pilotes de surveillance structurelle, composés d'extensomètres à corde vibrante, à fibre optique et audit structural afin d'estimer la capacité de chargement réelle en fonction des caractéristiques dynamiques.

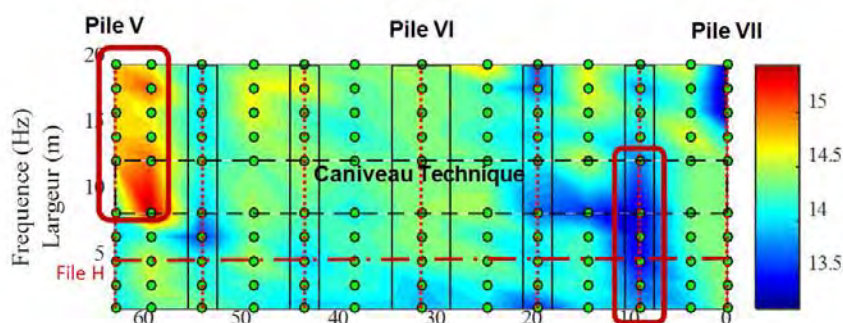


Figure 5. Cartographie des caractéristiques dynamiques
(Rapport d'investigation OXAND, 2016).

5. La problématique du remplacement : priorisation et chronologie

5.1 Refonte ou démolition

L'enjeu principal est de préserver la capacité de stationnement de la flotte, tout en l'adaptant aux caractéristiques des nouveaux bâtiments, que ce soit durant les travaux ou à terme. Il convient donc, de maintenir au maximum l'activité opérationnelle de la base navale durant les travaux de réfection des cinq appontements prévus sur une dizaine d'années. Ces considérations militent pour conserver l'implantation générale des ouvrages existants, en les allongeant pour accueillir des navires de plus fort tonnage, tout en conservant, de fait, des espaces inter-appontement constants, quitte à adapter les conditions d'exploitation actuelles. Cette solution présente potentiellement l'avantage de pouvoir réutiliser, au moins en partie, les piles existantes, comme cela a déjà pu être réalisé de manière similaire dans d'autres ports.

Thème 4 – Ouvrages portuaires, offshore et de plaisance

Une modification totale de l'emplacement de tels ouvrages serait en effet conséquente : démolition des piles fabriquées entre 1913 et 1918 et constituées de caissons en béton armé, au cours de travaux à réaliser directement en sous-marin ou à l'abri de batardeaux, par dix mètres de fonds.

5.2 Chronologie de réfection

Indépendamment des contingences financières significatives d'une telle opération, une priorisation des ouvrages à remplacer doit permettre de définir une chronologie de réalisation des tâches. L'instrumentation à mettre en place doit apporter des éléments concrets d'appréciation permettant de définir un phasage optimisé de ces travaux de remplacement.

6. Conclusion

Cet article avait pour but de présenter le raisonnement du maître d'ouvrage confronté à l'impératif du maintien, en toute sécurité, de l'exploitation d'ouvrages opérationnels mais en fin de vie. A la vue des problématiques précédemment développées et du chemin restant à parcourir, il est encore bien trop tôt pour conclure. Les réflexions évoquées ne constituent que des pistes à consolider avant de pouvoir être mises en œuvre au cours des prochaines années.

Au-delà des calculs et des mesures, l'instrumentation revêt aujourd'hui un rôle central et s'impose comme l'enjeu des réfections à venir, conditionnant *in fine* une partie majeure de la réussite du projet.

7. Références bibliographiques

CEMENTYS (2015). *Etat des lieux des chlorures des appontements Milhaud*. Rapport d'investigation.

CEREMA (2014). *Diagnostic des appontements Milhaud*. Rapport produit dans le cadre de la convention de suivi des appontements.

CEREMA (2015). *Vérification de la résistance structurale des dalles supportant les chemins de roulement*. Rapport produit dans le cadre de la convention de suivi des appontements.

OXAND (2016). *Cartographie des caractéristiques dynamiques et capacité de chargement de l'appontement Milhaud*. Rapport d'investigation.