



Partie 4 – Traitement de l'information

OFFSHORE: FPU (FLOATING PRODUCTION UNITS) EN BÉTON

PLAN D'INSPECTION ET DE SURVEILLANCE DE LA COQUE DE LA BARGE NKP (N'KOSSA PRODUCTION, CONGO)

OFFSHORE FPU (FLOATING PRODUCTION UNITS) CONCRETE INSPECTION AND MONITORING – APPLICATION TO THE HULL OF THE NKP BARGE (N'KOSSA PRODUCTION, CONGO)

Pascal COLLET^(a), Patrcik MEULI^(b*)

- a. TOTAL SA. Tour NEWTON, 9, place des Vosges - Quartier Gambetta, La Défense 5 - 92400 Courbevoie,
pascal.collet@total.com
- b. TOTAL EP Congo, Pointe Noire patrick.meuli@external.total.com

RÉSUMÉ

Dans le cadre du développement du champ pétrolier N'Kossa au Congo, TOTAL dispose d'une unité flottante en béton précontraint depuis 1996, nommée NKP. Il existe uniquement deux ouvrages flottants en béton dans le monde pétrolier, la Tension Legs Platform (TLP) Heldrum et la barge NKP. Cette barge est intégrée au système de management de l'intégrité des unités flottantes de TOTAL. A ce titre, la barge fait l'objet d'un suivi régulier. Cette procédure d'inspection et de surveillance de la coque est basée sur une analyse des pathologies constatées et potentielles.

L'objet de cet article est de présenter la méthodologie mise en œuvre et quelques recommandations d'équipement d'un ouvrage flottant en béton précontraint en vue de faciliter sa surveillance.



Figure 1 : Barge NKP en opération



ABSTRACT

In order to develop N'Kossa field in Congo, TOTAL operates a floating unit NKP in prestressed concrete since 1996. This FPU is unique in oil&gas industry with Heldrum Tension Leg Platform. This concrete barge is part of Floating Units Integrity Management System (FUIMS) of TOTAL and shall be inspected and monitored to full fill all requirements. This assessment is based on concrete damages done or expected.

This paper addresses the mains results of concrete inspections and the tentative of monitoring plan that TOTAL would like to implement in the future.

Mots-clés : NKP, FPU, béton haute performance, plan d'inspection



Figure 2 : Forme 10 de MARSEILLE - Construction NKP

1. INTRODUCTION

A la demande de ELF CONGO, la J.V BOUYGUES + BOUYGUES-OFFSHORE a commencé les études d'une barge en béton précontraint le 18 Août 1993. Cette barge, nommée NKP, équipée de 34000 t d'équipements d'exploitation et capable de loger 160 personnes, a été mise en service en juin 1996 à 60 Km au large de Pointe Noire au Congo. Afin de prolonger l'exploitation à une durée de 50 ans, bien au-delà de la durée de projet prise en compte à la conception, TOTAL met en œuvre une stratégie de surveillance et de maintenance de l'ouvrage.

2. LA BARGE NKP

2.1. Les principales caractéristiques de la barge NKP

- Longueur : 220m, Largeur : 46m, Hauteur : 16m, pour un tirant d'eau de 10,50m (à vide un tirant d'eau de 7,20 m), Profondeur d'eau : 170m.
- Poids lège : 107 000 tonnes comprenant 73 000 tonnes pour la coque et 34 000 tonnes pour l'équipement industriel,
- La barge est ancrée par 12 chaînes de 4" ¼ et de 950m de longueur environ
- Les épaisseurs de béton de l'ouvrage sont : Radier : 45 cm, Bordés : 50 cm, Pont : 40 cm, Voile central : 50 cm, Voiles transversaux et longitudinaux : 40 cm.

2.2. Conception

Les hypothèses suivantes ont été prises :

- Durée de vie de 30 ans sur le site sans interruption (pas de retour en cale sèche)
- Stabilité maintenue avec l'envalissement de deux compartiments contigus
- Resistance à la fatigue pour 60 ans

- Remorquage de la barge avec les conditions « Golfe de Gascogne »
- « Règles Techniques [françaises] de Conception et de Calcul des Ouvrages et Constructions en Béton Armé suivant la Méthode des Etats Limites », édition mars 1992 (en abrégé BAEL 91) et « Règles Techniques [françaises] de Conception et de Calcul des Ouvrages et Constructions en Béton Précontraint suivant la Méthode des Etats Limites », édition avril 1992 (en abrégé BPEL 91).
- Le standard norvégien NS 3473 E «Design Rules for Concrete Structures», 4^e édition, Novembre 1992, et les standards auxquels ce dernier fait référence ont été utilisés pour conduire les justifications non traitées par le BAEL 91 ou le BPEL 91 et notamment pour tous les aspects qui concernent les vérifications aux états limites d'ouverture de fissures, les états de contraintes pluriaxiaux, la fatigue et les contraintes tangentes. Fascicule 65-A du C.C.T.G.; Normes NF
- Det Norske Veritas (DnV) - Part 3, Chapter 1 of « Rules for Classification of Fixed Offshore Installations - Structural Design », July 1993, en particulier pour la protection contre la corrosion en milieu marin agressif des structures en béton armé.

2.3. Matériaux

La construction de cette barge a nécessité :

- 27 000 m³ de béton haute performance B70 MPa,
- 2 350 tonnes d'acières de précontrainte,
- 5 000 tonnes d'acières passifs.

Le taux de précontrainte, constituée des câbles 12 et 19 T15S, vaut 87 Kg/m³ de béton.

Le taux d'armatures passives s'élève, quant à lui, à 185 Kg/m³ de béton en moyenne.

2.3.1. Béton

Le sable composé de 70% de naturel et 30% de concassé, est fourni par les Carrières du «Moutonnier», les gravettes et gravillons sont des calcaires concassés de la carrière de L'Estaque à Marseille. Le ciment provient de l'usine LAFARGE de LA MALLE, 8% de fumée de silice est



incorporé directement en usine. Les adjuvants, super-plastifiant THP et CERITARD, sont fournis par CHRYSO.

La formule utilisée :

- Sable 0/4 : 710 kg
- Gravette 3/7 : 180 kg
- Gravillon 7/16 : 885 kg
- Ciment : 423 kg (+ 37 kg de fumée de silice)
- Super plastifiant : 2,2% du poids de ciment
- Retardateur : 0,5% du poids de ciment
- Eau : 168 l

La résistance moyenne à la compression sur cylindre s'établie à 78Mpa.

2.3.2. Précontrainte de l'ouvrage

La barge est précontrainte dans les 3 directions. Pour la vérification à long terme de l'ouvrage il est considéré une perte de l'ordre de 30% de l'effort appliqué à la mise en tension. Pour NKP, dans la section à mi-longueur (midship) cette considération représente :

- Mise en tension : 670 000 kN
- Effort à long terme : 468 000 kN

3. DÉSORDRES CONSTATÉS PENDANT LA VIE DE L'OUVRAGE

Depuis 1996, la barge est en exploitation continue. Le plan d'inspections recommandé par le constructeur a été mis en œuvre. Celui-ci se limitait à un programme d'inspection visuelle systématique et un contrôle strict du fonctionnement de la protection cathodique. Des travaux de reprise de défauts localisés et d'endommagements liés aux opérations ont été réalisés sans générer de contrainte sur l'exploitation de la barge.

D'une façon générale les désordres observés sur le béton ont été les suivants :

- Affaiblissement des anciennes reprises ou réparations traduites par la présence de fissures ou décollement à l'interface produit de réparation/matériau d'origine,
- Fissures plus ou moins localisées et/ou faïençage du béton mais sans problème d'étanchéité,
- Epaufures superficielles du béton ou éclats localisés. Ces défauts sont liés au phénomène de corrosion des aciers passifs dans l'enrobage,
- Eclats très nets du béton avec mise à nu des armatures sous-jacentes. Ce phénomène peut être localement accompagné d'une diminution notable du diamètre des fers corrodés. Il s'agit en particulier de la zone sous la torche où le béton peut être soumis à un rayonnement important et une température de peau de l'ordre de 90°C.

4. INSPECTIONS DE L'OUVRAGE

A partir de 2003, des diagnostics plus complets que ceux préconisés par le constructeur ont été réalisés, puis un programme systématique d'inspection et de surveillance approfondi a été mis au point et mis en œuvre.

4.1. Rapport d'expertise 2003

En 2003, TOTAL a réalisé un diagnostic de l'état du béton de la barge NKP et des désordres sur le pont. Le seuil de taux de chlorure de 0,4% est atteint à 15mm de profondeur.

4.2. Rapport d'expertise 2013

Un diagnostique du béton d'enrobage en divers points au dessus de la ligne de flottaison a été réalisée en 2013. Les emplacements ont été définis afin de couvrir le maximum de situation d'environnement du béton (maritime, chaleur, froid, hydrocarbure, H₂S, etc.). On constate aucune carbonatation du béton, la teneur en sulfates est partout inférieure aux seuils normatifs et les sulfures ne sont présents qu'à l'état de traces. Les résultats montrent qu'en 18ans, le béton est pollué par les chlorures sur environ 20mm en moyenne.

5. PROTECTION CATHODIQUE

L'ensemble de la partie immergée de la barge est sous protection cathodique par anode sacrificielle en zinc (50 anodes pour la protection cathodique de la coque).

Annuellement, des mesures de champs de potentiels et des inspections visuelles des anodes sont réalisées.

6. PLAN D'INSPECTION

En 2011, il est envisagé de prolonger l'exploitation de la barge jusqu'en 2045, soit plus de 50 ans. Pour ce faire, une démarche de surveillance et d'inspection est mise en œuvre. Ceci s'est concrétisé par la remise en classe de l'unité flottante NKP par Bureau Veritas en septembre 2013.

Les rapports d'inspection du béton de 2003 et 2013 constituent la base de départ de mesure de l'évolution de la pénétration des chlorures, des sulfates et de la carbonatation. Dans le cadre du plan de surveillance, tous les 5 ans, des mesures similaires seront réalisées afin de quantifier cette progression.

6.1. Principe d'inspection par zone

En vue d'obtenir une bonne connaissance de l'intégrité de la coque en béton à intervalles réguliers, ce plan d'inspection propose des tâches de principe selon l'exposition aux processus de dégradation et aux moyens d'inspection disponibles. En fonction des résultats, des inspections complémentaires et plus précises pourront être recommandées après analyse.

Le principe général d'inspection de la coque en béton consiste à revoir :

- tous les 2,5 ans, en inspection rapprochée (CVI), toutes les zones comportant des anomalies existantes, réparées ou envisagées,
- et tous les ans, en visite globale (GVI), l'ensemble de l'ouvrage.

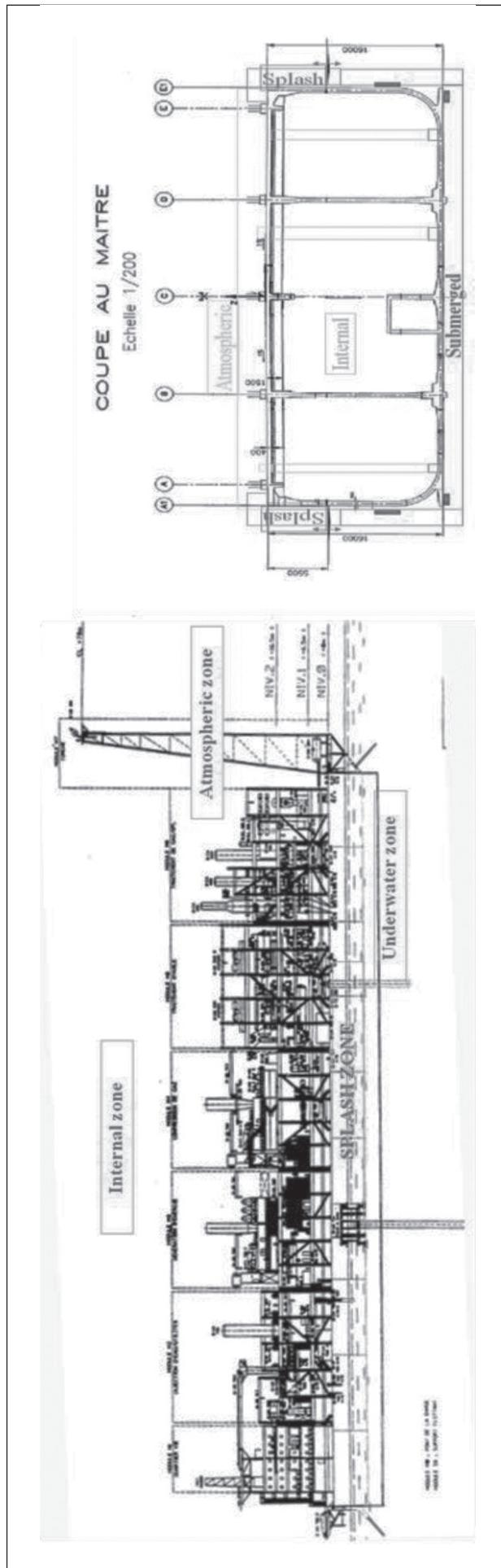


Figure 3 : Illustration des zones d'inspection

Un plan de repérage des zones particulières imposant une CVI est défini et mis à jour annuellement en fonction des résultats de chaque inspection.

L'ouvrage est considéré selon 5 parties distinctes :

1. Dans la partie immergée en opération (SUBmerge zone)
2. Sur les bordés, dans la zone d'éclaboussure et d'action de la houle (SPash zone)
3. Sur le pont (ATmospheric zone)
4. Dans la coque, caisson par caisson, comprenant les ouvrages et équipement indissociablement liés à la coque (INternal zone)
5. L'ensemble de la coque béton (Concrete Hull) pour ce qui concerne de l'instrumentation de l'ouvrage.

6.1.1. Programme d'inspection

Le programme d'inspection est établi à partir de l'ensemble des informations disponible sur la conception, la réalisation et la maintenance de l'ouvrage. Il doit permettre dans un délai de 5 ans, en répartissant au mieux les zones d'inspection à chaque visite, de couvrir l'ensemble de la coque.

Le plan d'inspection comprend GVI: inspection visuelle, CVI : inspection rapprochée, NDT : mesures non destructives, CD: prises d'échantillon et mesures en laboratoire, IWS : inspection sous marines.

Dans la zone sous marine, nous n'anticipons pas de problème majeur compte tenu de la protection cathodique et des inspections intérieures. Toutefois, un nettoyage de la zone à inspecter est nécessaire afin de retirer les salissures marines et pouvoir observer le béton autour des points particuliers. La splash zone est la plus exposée à la mer et aux chocs et fera l'objet d'une attention particulière.

6.2. Instrumentation

Un programme d'instrumentation évolutif de la barge est en cours de définition. Plusieurs objectifs sont recherchés afin de disposer :

- d'un outil de surveillance de l'ouvrage permettant d'orienter les campagnes inspections visuelles,
- d'une information quasi immédiate sur l'intégrité de la coque en cas d'évènement majeur (choc, explosion, feu, etc.).

Cette instrumentation devra quantifier la perte de précontrainte à long terme (prise en hypothèse à 30% sur 30 ans) qui représentera un des critères d'endommagement de l'ouvrage pouvant remettre en cause son exploitation sans possibilité d'intervention de renforcement.

6.2.1. Monitoring par fibres optiques

Les déplacements et déformations de la structure en béton peuvent être mesurés par des capteurs ou des fibres optiques installées préalablement. Cela peut permettre de mesurer le déplacement relatif et absolu si l'on dispose d'un point fixe (ce qui n'est pas évident sur un ouvrage flottant), la déformation de la structure, la précontrainte (Load Cell), la contrainte interne au béton et externe (Gauge), contrôler le chargement de la structure (Load cells) et l'état de la corrosion (Corrosion Sensors), mesurer les ranges de température (thermomètres).



L'exploitation de ces data est le fil conducteur afin de déterminer les outils et les périodes de mesure. Le contexte d'un ouvrage flottant, au large du Congo, en opération, dans un milieu maritime et industriel doit conduire les laboratoires à proposer des solutions robustes et adaptées comprenant les outils d'interprétations et d'exploitations.

6.2.2. Mesure des modes propres de la structure

L'intégrité d'une structure peut être approchée par la caractérisation de la réponse de l'ouvrage à une sollicitation dynamique. En recherchant les principaux modes propres de la structure et, soit en comparant à la théorie, soit en comparant à des mesures antérieures, on peut ainsi montrer une modification de la raideur intrinsèque de la structure et donc de son intégrité. Ces mesures peuvent être réalisées sous une sollicitation artificielle (balourd) ou sous bruit de fond (usager de l'ouvrage, houle, vent, etc.) Le spectre de réponse (amplitudes, fréquences and amortissement) est mesuré en différent points de l'ouvrage. La barge NKP a fait l'objet de mesures des modes propres en 2006 et cela constitue un point de départ. Des mesures périodiques seront réalisées prochainement afin de commencer l'analyse de cette technique sur ce type d'ouvrage flottant.

7. CONCLUSION

En près de 20 ans d'opération sur site, on peut raisonnablement considérer que le béton est en excellent état et ne montre aucun signe de dégradation chimique anormale. Le plan d'inspection et de surveillance mis en place permettra d'anticiper le vieillissement de la structure et de prendre suffisamment en avance les mesures qui pourraient s'avérer nécessaires pour accompagner cette « poutre-navire » jusqu'en 2045.

RÉFÉRENCES

- A Concrete Oil Production Barge, Congo, Valençons C. Bouygues Offshore, Structural Engineering International, February 1996, n.1 v.6.
- Lessons learnt from 12 years operations of a huge floating production unit made of pre-stressed high performance concrete, IPTC-12546-PP December 2008, Authors: Bertrand LANQUETIN, Hédi DENDANI, Jose ESTEVE, Pascal COLLET.
- Structural integrity management for a large pre-stressed concrete floating production unit, OMAE2007-29535 June 2007, Authors: Bertrand LANQUETIN, Jose ESTEVE, Pascal COLLET.



Figure 4 : Transfert de Marseille à FOS pour l'installation des Topsides