

sous-marins nucléaires français

auscultation
du nouveau
dispositif
de
mise
à
l'eau



Photo: DCN-Cherbourg

Thierry ESCOFFIER / Stéphane MACQUET
J. Yves BIENFAIT / Claude MAUGER
Arsenal de Cherbourg - Direction des Travaux Maritimes

Louis ROCHET
*Laboratoires
des Ponts et Chaussées*

Alain BENOIT
CETE/LRPC Lyon/Groupe Mécanique des Roches

Ilario PREVITALI
Société SINTEGRA

Au mois d'août 1997, soutenu par son système de « marcheurs », le deuxième sous-marin nucléaire lanceur d'engins de la nouvelle génération (SNLE-NG), « Le Téméraire », parcourait les 200 mètres qui séparaient sa nef d'assemblage du dispositif de mise à l'eau (DME) où il devait être achevé.

En 1993, cette nouvelle procédure de mise à l'eau avait été inaugurée pour le lancement du premier SNLE-NG, « Le Triomphant ».

Celle-ci est basée sur l'utilisation de robots marcheurs soutenant et déplaçant le sous-marin vers une plate-forme submersible constituant un ascenseur pouvant descendre dans le bassin de mise à l'eau, lors de sa vidange. Par le processus inverse, par le remplissage du bassin, la plate-forme permet également de remonter un sous-marin.

Compte tenu des spécificités de cette technique, des charges à reprendre (500 tonnes/m² pour un « colis » pouvant peser jusqu'à 13 500 tonnes!) et de l'impossibilité d'éprouver l'ouvrage à sa charge nominale avant sa première utilisation, la Direction des Travaux Maritimes (DTM) a décidé de mettre en place un système d'auscultation destiné au suivi du comportement du DME (« Ouvrage CACHIN ») pendant les phases de service et dans le temps, à plus long terme.

La Maîtrise d'Œuvre du système, dont le cahier des charges a été établi par Louis ROCHET, expert auprès des LPC, est assurée par le CETE de Lyon. Celui-ci réalise également les mesures d'auscultation, en partenariat avec SINTEGRA.

LES OBJECTIFS DE L'AUSCULTATION

Par la mise en place d'un système d'auscultation, la DTM entendait se doter d'un outil de suivi des déformations de l'ouvrage destiné à assurer une bonne gestion de celui-ci, tout au long de sa durée de vie.

Cette gestion étant principalement orientée vers la programmation des actions de maintenance préventives nécessaires à son bon fonctionnement, la fiabilité dans le temps des différentes déterminations géométriques réali-

sées représentait la caractéristique la plus importante requise pour le système devant être créé.

Les événements particuliers que sont les opérations de mise à l'eau des sous-marins constituent des temps forts de l'auscultation du DME (dispositif de mise à l'eau). Fortement sollicité durant un laps de temps très court, l'ouvrage fournit alors des renseignements d'ordre géométrique très importants pour l'étude de son comportement. Ils s'inscrivent dans le suivi à long terme du DME.



PRÉSENTATION DU DISPOSITIF DE MISE À L'EAU

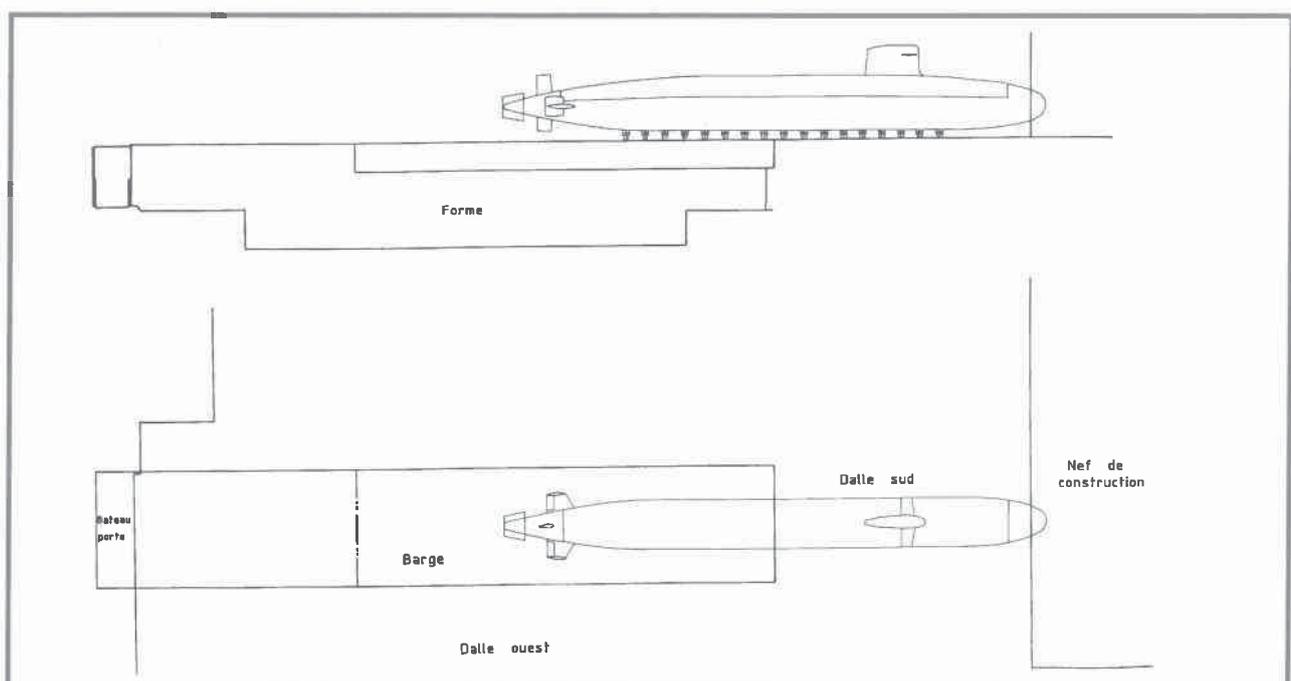
Le nouveau dispositif de mise à l'eau des sous-marins de nouvelle génération est constitué d'un bassin, aussi appelé forme, (30 m de large sur 160 m de long) dans lequel une plate-forme submersible peut descendre ou monter, pendant les phases de vidange ou de remplissage. Un bateau-porte permet au sous-marin de prendre la mer.

Lors de l'arrivée du sous-marin, la plate-forme repose sur des piliers en béton réalisés contre les bajoyers de la forme. Les mouvements verticaux de l'ensemble sont rendus possibles par des échancrures ménagées dans

les côtés de la plate-forme, placées à l'aplomb des piliers après mise en flottaison et transfert longitudinal.

Deux dalles dites de « transfert » sont utilisées soit pour amener les sous-marins de la nef où ils sont assemblés ou entretenus (dalle sud), soit pour stocker ceux-ci après les avoir sortis du bassin (dalle Ouest).

Les transferts des sous-marins sont assurés par l'utilisation d'une quarantaine de robots marcheurs. Ces derniers sont asservis à un système informatique qui gère la synchronisation du déplacement de l'ensemble : vitesse de croisière de cet étrange et impressionnant cortège : 2 m à la minute !



LE CONTEXTE GÉOLOGIQUE

L'ouvrage a été exécuté dans des terrains métamorphiques issus de dépôts sédimentaires grossiers, d'âge cambrien, constitués de schistes cristallins, à schistosité bien marquée, due à un dynamométamorphisme intense, accompagné d'une abondante minéralisation séréciteuse.

Au droit du site, la structure générale soulignée par la schistosité est orientée sensiblement E.W., avec un pendage vers le nord.

Une tectonique complexe a imprimé au massif ses traits structuraux majeurs caractérisés, outre la schistosité, par deux directions dominantes conjuguées de fracturation orientées NE.SW et N.S. à NNW-SSE fortement redressées, et une troisième direction de cisaillement sensiblement E.W. recoupant obliquement la schistosité.

Ces éléments structuraux ont constitué une des données essentielles prises en compte dans la conception et la réalisation de l'ouvrage.

CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DU DISPOSITIF D'AUSCULTATION

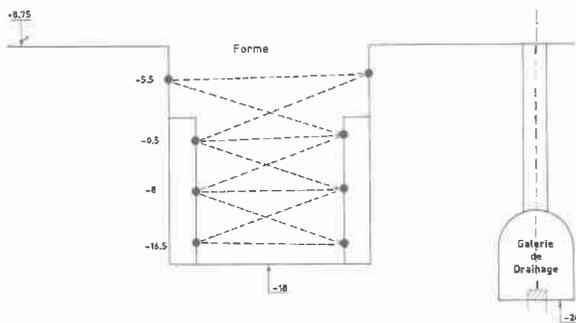
3 systèmes d'instrumentation ont été mis en œuvre sur le DME :

• **Extensométrie** : Ce système est composé d'un ensemble de repères de type métrologique scellés à différents niveaux dans les parois de la forme, à partir desquels peuvent être tendus des fils « invar ». Les mesures de distances successives entre ces repères permettent de suivre l'évolution de la déformée intérieure de la forme.

Ces mesures, réalisées par le LRPC/Lyon, sont rattachées au référentiel topométrique de surface.

Matériel utilisé : Distancemètre orientable LRPC/Lyon de type DO2/résolution : 0,1 mm.

Précision sur une base de 40 m : 0,3 mm environ.



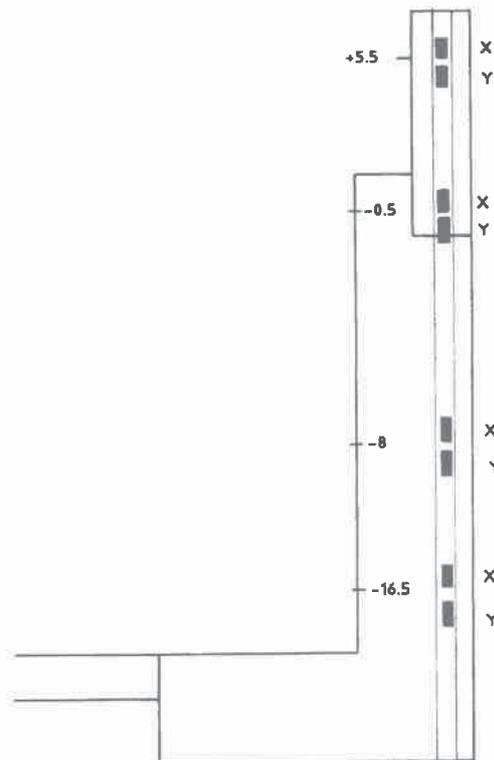
• **Inclinométrie** : Ce système, exploité par le LRPC/Lyon, est composé d'un ensemble de 23 inclinomètres placés dans 6 piliers de la forme, à quatre niveaux différents.

Les mesures d'inclinaison sont enregistrées en continu. Un logiciel implanté sur un micro-ordinateur situé dans un local situé sur le site du DMR gère l'ensemble du système (enregistrement des données).

Ces mesures relatives sont destinées à un suivi à long terme des déformations de la forme. Elles permettent également un suivi instantané pendant les transferts.

• **Topométrie** : Ce système consiste en un suivi, par des moyens classiques (théodolites/tachéomètres/niveaux), des déformations planimétriques et altimétriques des dalles de transfert Sud et Ouest.

Les mesures sont assurées par SINTEGRA.



– **Le référentiel planimétrique** utilisé est constitué d'un canevas principal composé de trois points de référence situés à 20 mètres de profondeur, dans le radier de la galerie de drainage ceinturant la forme. Ceux-ci sont réputés stables.

La matérialisation en surface de la verticale passant par ces points est réalisée à l'aide d'un fil à flotteur, à bain de mercure. La précision de centrage pouvant être obtenue est de l'ordre de 0,5 mm.

Une quinzaine de points situés en surface, réputés instables et faisant l'objet d'un contrôle à chaque utilisation, constitue un canevas secondaire sur lequel sont rattachées toutes les mesures topométriques planimétriques réalisées. Ces points sont matérialisés par des cylindres de référence $\varnothing 30$, en bronze marine, scellés.

– **Le référentiel altimétrique** utilisé est constitué d'un canevas principal composé de trois points de référence situés sur le site de l'Arsenal et suffisamment éloignés du DME. Ceux-ci sont réputés stables.

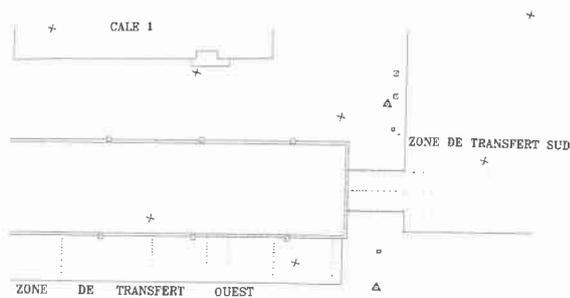
– **Les repères d'auscultation** : Les dalles de transfert sont équipées de repères. Ceux-ci sont matérialisés par des cylindres de référence $\varnothing 18$, en bronze marine, scellés dans le béton.

En dalle Sud, 69 repères sont répartis sur 3 profils, parallèles à la trajectoire de déplacement des sous-marins lors des transferts.

SUIVI DES TRANSFERTS EN TEMPS RÉEL

Essais de chargement préalables :

Compte tenu de l'impossibilité d'éprouver l'ouvrage à sa charge nominale avant sa première utilisation, préalablement au premier transfert, des essais de chargement ont été effectués sur les dalles Sud et Ouest, dans des conditions assez proches de la réalité, comme pour un ouvrage d'art.



Les mesures topométriques réalisées lors de ces essais ont permis d'une part de valider les méthodes de calcul employées pour dimensionner le cloutage du massif rocheux dans lequel a été réalisée la forme et d'autre part de définir les seuils « d'alerte » à utiliser lors du suivi en temps réel des déformations des dalles pendant le transfert.

Les seuils suivants ont été retenus :

- En altimétrie : 2,5 mm en variation
- En inclinaison : rotation de 50 secondes d'arc
- En planimétrie : Les déplacements horizontaux, faibles et à la limite de la précision des mesures, ne constituent pas un indicateur adapté à la surveillance.

Ces seuils correspondent au double des valeurs maximales mesurées lors des essais.

Des informations sur le comportement non élastique du massif rocheux et sur l'effet de la mise en eau de la forme ont également pu être obtenues.

CONTRAINTES SPÉCIFIQUES RELATIVES AU TRANSFERT

Les systèmes d'instrumentation sont exploités pendant les opérations de mise à l'eau selon une configuration spécifique qui doit être adaptée aux contraintes particulières d'un suivi en temps réel.

Pendant le transfert :

- Mesures topométriques de surface : uniquement altimétriques.
- Mesures inclinométriques dans les poteaux équipés des chaînes clinométriques.
- Suivi des éventuelles variations des débits dans la galerie de drainage (désordres dans l'étanchéité de l'ouvrage, indicateurs de mouvements dans le massif).

Avant et après le transfert :

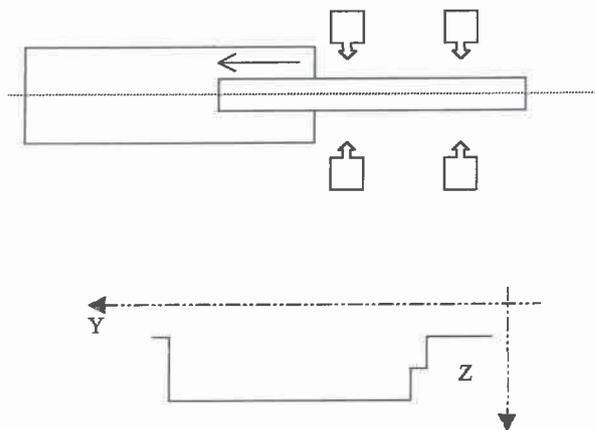
- Mesures extensométriques dans la forme

Les mesures doivent être interprétées en continu, en prenant en compte leur évolution par rapport aux seuils définis.

Principales caractéristiques du système de suivi en temps réel

Type de mesures : Compte tenu du fait que les dalles ne peuvent être équipées qu'en surface (pas de possibilité d'y intégrer des capteurs), un système basé sur des visées optiques effectuées sur des cibles omnidirectionnelles a été élaboré.

Ces visées sont réalisées à l'aide de plusieurs théodolites, utilisés en simultané, couvrant le secteur de déplacement du sous-marin.



Lors du transfert du premier SNLE-NG, Le Triomphant, 4 théodolites électroniques de haute précision (Leica T2002 et T2000) ont été utilisés simultanément.

Le suivi des déformations est effectué à partir de mesures différentielles d'angles observés sur les repères matérialisés sur les dalles; les cylindres de référence $\phi 18$ étant équipés de cibles à tête sphériques.

Les variations angulaires fournissent les déformations sur les deux axes Y (sens de déplacement du sous-marin) et Z.

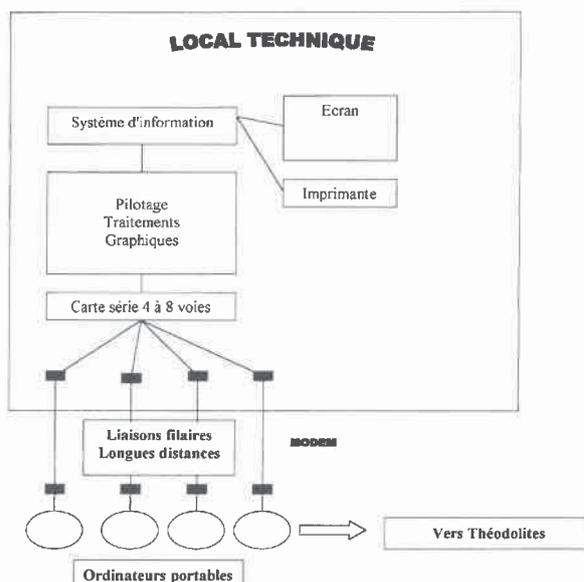
La précision pouvant être obtenue est de l'ordre de : 0,2 à 0,4 mm.

Informatisation du système

Par la visualisation graphique des déformations, en temps réel, à l'écran d'un ordinateur situé dans un local implanté sur le site, le système informatisé mis en place constitue pour les experts chargés du suivi un outil d'aide à la décision.

L'acquisition des données : Elle est assurée, pour chaque théodolite, par un logiciel implanté sur un micro-ordinateur portable (développement par SINTEGRA) assurant les fonctions suivantes :

- Pilotage des mesures : constantes de la station
- Reconnaissance des repères
- Gestion des séries de pointés (dispersion et tolérance)
- Envoi de la mesure sur le serveur du local technique, par liaison filaire (RS232 + modem) au serveur.

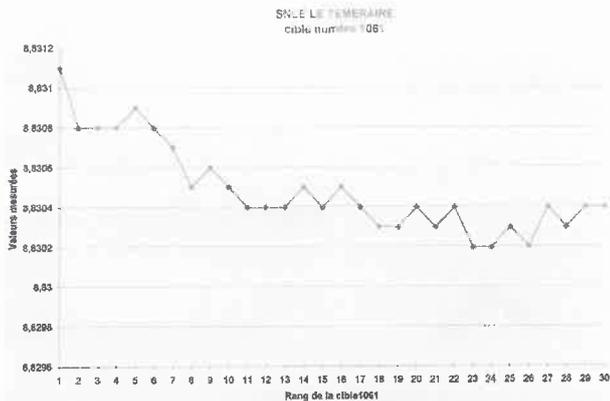


Le traitement des mesures

Un logiciel spécifiquement développé par le LRPC/Lyon assure la réception des mesures et leur exploitation, sous forme de visualisation graphique des 3 profils.

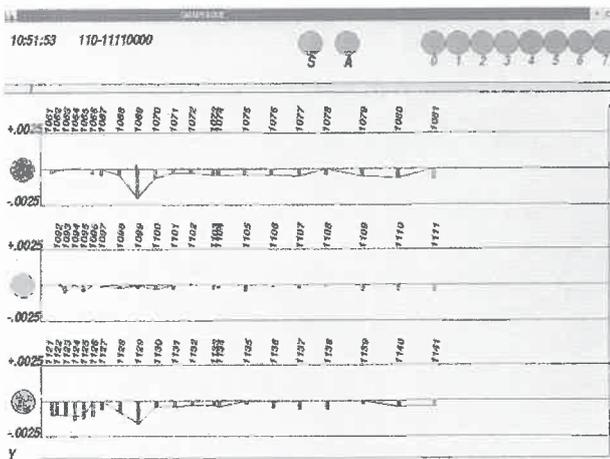
Le serveur piloté sous le système d'exploitation OS2/Windows 3.11 réceptionne sur sa carte multivoies les mesures émanant de toutes les stations de mesures.

Le système d'exploitation OS2/Windows 3.11 a été choisi pour ces fonctionnalités multitâches qui lui permettent de gérer les conflits que provoquerait l'arrivée simultanée des mesures.



Graphique de déplacement d'une cible. (exemple)

Chaque mesure en provenance des théodolites, fait l'objet d'un archivage immédiat et entraîne la mise à jour de l'écran graphique représentant la déformée des trois profils implantés sur la dalle de transfert.



Écran du suivi sur le serveur. (exemple)

L'application permet aussi d'effectuer à travers un tableau de bord toutes les opérations d'initialisation et de paramétrages du système de mesure. Il permet aussi de consulter l'historique d'une cible ou d'une série de cibles.

RÉSULTATS DE LA DERNIÈRE CAMPAGNE D'AUSCULTATION – MISE À L'EAU DU TÉMÉRAIRE EN 1997

Mesures à vide avant transfert/comparaison avec état 1991

– **Mesures extensométriques** : Pour les mesures réalisées entre les piliers sur lesquels vient reposer la barge de transfert, une nette convergence atteignant 4 mm a été observée.

– **Mesures topométriques** : L'ensemble des repères de la dalle Sud s'est déplacé vers la forme (mouvement de 1.5 à 5 mm). Ceci est corroboré par les mesures extensométriques.

Suivi du DME pendant le transfert :

– **Mesures topométriques sur 69 repères de la dalle sud** : Les enfoncements sous la charge du Téméraire sont restés inférieurs à 2,5 mm. Ces valeurs confirment la bonne tenue de la dalle de transfert, déjà éprouvée lors du transfert du Triomphant, en 1993.

– **Mesures inclinométriques** : Les rotations enregistrées présentent des valeurs analogues à celles de 1993.

Remarques : Légère déformation des piliers au fur et à mesure de la progression du sous-marin/bonne réversibilité des déformations lors des cycles chargement-déchargement.

Quel que soit le type de mesure, des variations non négligeables directement liées aux cycles thermiques ont été mises en évidence : 25 secondes d'arc sur 24 heures dans les piliers/1 mm en surface sur la dalle sud à vide, sur 24 heures.

CONCLUSION

Le contrôle des déformations du DME lors des opérations de chargement ou de déchargement d'un sous-marin, et le suivi de l'ouvrage dans le temps ont justifié la mise en place d'un dispositif d'auscultation et de traitement des mesures relativement complexe et original.

L'expérience acquise au cours des deux opérations de mise à l'eau, effectuées pour les sous-marins Le Triomphant et Le Téméraire, a montré une bonne adaptation du système au contrôle de l'ouvrage pendant la phase de transfert du navire sur la plate-forme du DME. Parallèlement, le système d'auscultation a permis d'analyser la réversibilité et l'évolution des déformations induites par le chargement, et l'influence des efforts thermiques cycliques sur l'ouvrage.

Dans le temps, tous ces effets sont à considérer dans le développement éventuel de phénomènes de fatigue en relation avec un vieillissement de l'ouvrage. Les mesures pertinentes fournies périodiquement par le système d'auscultation (extensométrie/inclinométrie/topométrie) permettront d'améliorer la connaissance du comportement du nouveau dispositif de mise à l'eau face au vieillissement.