



Figure 1 : Vue tribord du Bathyscaphe à Toulon en 2025.

— BATHYSCAPHE FNRS III, TOULON (83) —

Diagnostic corrosion et préconisations de conservation.

RAPPORT FINAL

Destinataire : Elsa LEWUILLON

MUSEE NATIONAL DE LA MARINE

MUSEE DE LA MARINE DE TOULON

Adresse : PLACE MONTSENERGUE,
QUAI DE NORFOLK
83000 TOULON

Téléphone : 04 22 02 42 01

Mobile : 06 84 43 23 41

Courriel : e.lewuillon@musee-marine.fr

Copie(s) à : -

Réf. du rapport : R1337

Nombre de pages hors annexe(s) : 25

Nombre d'annexe(s) : 5

Réf. du devis : D-24/359

Réf. de la commande : N° EJ : 20240023132

Date du devis : 25/11/2024

Date de la commande : 29/11/2024

0	31/01/2025	Première édition.	J.B. MEMET / P. DE VIVIÉS	P. DE VIVIÉS / J-B. MEMET
REV.	DATE	DESCRIPTION	REDACTEUR	RELECTEUR

A-CORROS Expertise

Adresse : Pôle économique et technologique ARCHEOMED, 17 chemin de Séverin – 13200 ARLES / Tél. : 04.90.98.08.38

SARL immatriculée au R.C.S de Tarascon - Code APE : 7112B

SIRET : 494 736 226 000 31 - TVA Intracommunautaire : FR 50494736226



SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	1
2. DOCUMENTS DE REFERENCE.....	1
3. EMPLACEMENT / ORIENTATION / CORROSIVITE DU SITE.....	1
4. NOMENCLATURE	3
5. RAPPEL DES ACTIONS REALISEES LORS DE LA REHABILITATION DE 2005	3
6. METHODOLOGIE.....	4
7. ARCHIVES DU SERVICE HISTORIQUE DE LA DEFENSE.....	5
8. DIAGNOSTIC 2025 DU FNRS III	6
8.1. POINTS IMPORTANTS DU CONSTAT D'ETAT	6
8.2. CONSTAT D'ETAT DE POINTS SPECIFIQUES	7
8.2.1. ETAT DES ANCRAGES POUR LE LEVAGE	7
8.2.2. ECOUTILLE D'ACCES A LA SPHERE.	8
8.2.3. EQUIPEMENTS DE L'ENTREPONT, ENTRE COQUE ET PLANCHER SUPERIEUR DE PONT	9
8.2.4. ACCES INTERIEUR DE COQUE	9
8.3. CONSTAT D'ETAT DES PARTIES COURANTES.....	10
9. ANALYSE D'UN ECHANTILLON DE PEINTURE.....	15
9.1. STRATIGRAPHIES	15
9.2. ANALYSES PLOMB DANS LES ECHANTILLONS DE PEINTURES	17
9.3. OBSERVATIONS AU MICROSCOPE ELECTRONIQUE A BALAYAGE ET ANALYSES ELEMENTAIRES (MEB-EDS)	18
9.3.1. METHODOLOGIE D'ANALYSE.....	18
9.3.2. RESULTATS DES ANALYSES MEB.....	18
10. CALCUL STRUCTUREL	20
11. CONCLUSIONS GENERALES	22
12. PRECONISATIONS – PROPOSITION DE MESURES CONSERVATOIRES.....	22
13. PROPOSITION DE RESTAURATION	24
13.1. ORGANISATION DES TRAVAUX.....	24
13.1.1. ETAT SANITAIRE DU SOUS-MARIN ET CHIFFRAGE DES OPERATIONS A REALISER SUR SITE.	24
13.1.2. IDENTIFICATION D'UN LIEU DE CHANTIER POUR DEPLACEMENT FNRS III POUR TRAVAUX	24
13.1.3. FABRICATION DU PALONNIER.....	24
13.1.4. FABRICATION DES SUPPORTS POUR TRANSPORT ET SOCLAGE	24
13.1.5. DEMONTAGE DE LA DALLE EN BETON SOUS SPHERE	24
13.1.6. ESSAI PALONNIER ET LEVAGE SOUS-MARIN AVEC GRUE POUR TRANSPORT DANS LIEU DE CHANTIER	24
13.1.7. MONTAGE ECHAFAUDAGE, BACHE INSTALLATION SYSTEME DEPRESSION	24
13.1.8. SABLAGE,	24
13.1.9. TRAVAIL DE CHAUDRONNERIE	24

13.1.10. AVIVAGE ET MISE EN PEINTURE 1 ^{ER} COUCHE ET SYSTEME COMPLET	24
13.1.11. TRANSPORT DU SOUS-MARIN (PAR BARGE OU TRANSPORT EXCEPTIONNEL CAMIONS)	24
13.1.12. REPOSE ET INSTALLATION DU SOUS-MARIN SUR SON NOUVEAU SOCLE ET RETOUCHE DE PEINTURE.....	25
13.2. BUDGET ESTIMATIF	1
ANNEXES.....	1

1. INTRODUCTION

En 2007 puis 2018, la société A-CORROS a réalisé des missions de diagnostic corrosion du Bathyscaphe FNRS III conçu par Auguste PICCARD et exposé près de la Tour Royale à Toulon (83). Ces missions avaient données lieu aux rapports A-CORROS référencés R009 et R653.

Cette mission 2025 a été découpée en missions complémentaires suivantes :

- **Une recherche documentaire aux archives du Service Historique de la Défense**, les 06 et 07 janvier 2025 à la suite d'un travail préparatoire d'Elsa Lewuillon, administratrice du Musée de la Marine de Toulon. L'objectif de cette recherche documentaire était de récolter le maximum d'information techniques permettant de nourrir le calcul structure en vue du transport et de la réhabilitation du Bathyscaphe,
- **Un diagnostic sur site de plain-pied et en nacelle** le 08 janvier 2025 afin de rédiger un constat d'état réactualisé du bathyscaphe FNRS III. Pour ce constat d'état, A-CORROS était assisté de Breaking Waves, Bureau d'Etudes Structures navales.
- **Un calcul de structures** (Breaking Waves) afin de statuer sur le déplacement du Bathyscaphe eu égard à son état de conservation, et **la rédaction du présent rapport de conclusions sur l'état de conservation et la formulation de préconisations en vue de la réhabilitation**, assorties d'estimation financières.

La mission a été conduite par les 2 cogérants d'A-CORROS, Philippe de Viviés – Conservateur-Restaurateur de Biens Culturels, Responsable du Pôle Patrimoine et Jean-Bernard Memet, Responsable du pôle Industrie-Monuments Historiques, Docteur en corrosion marine et inspecteur en anticorrosion par systèmes de peinture. Ils étaient assistés de Jérôme Vola, Responsable ingénierie structure de l'entreprise Breakingwaves Services.

2. DOCUMENTS DE REFERENCE

- Eléments d'archives : boîtes 95vp8, 95vp10, 95vp11, 95vp12 et 95vp13 du service historique d'archives de la Défense
- Rapport A-CORROS Réf R009 – 08/2007 -Mission d'expertise corrosion du Bathyscaphe FNRS III (inv n°5 BS 8),
- Rapport A-CORROS Réf R017 – 03/2008 - Cahier des préconisations pour la restauration / maintenance du Bathyscaphe FNRS III (inv n°5 BS 8),
- Rapport A-CORROS Réf R653 - — BATHYSCAPHE FNRS III, TOULON (83) —Diagnostic corrosion et préconisations de conservation.
- Norme NF ISO 9223 : 2002-06 – corrosion des métaux et alliages : corrosivité des atmosphères,
- Norme NF EN ISO 12944-2 – Peintures et vernis : anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture, partie 2 : classification des atmosphères,
- Norme NF EN ISO 12944-4 - Peintures et vernis : anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture, partie 4 : types de surface et préparation de surface,
- Norme NF EN ISO 12944-5 - Peintures et vernis : anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture, partie 5 : systèmes de peintures

3. EMPLACEMENT / ORIENTATION / CORROSIVITE DU SITE

Pour mémoire, situé près de la tour royale, à l'est de la ville, le Bathyscaphe FNRS III est présenté parallèlement à la ligne de côte, à une vingtaine de mètre de la berge donnant sur la rade de Toulon. Il offre son flanc tribord aux embruns les jours de tempête. Sa proue est orientée vers le sud, légèrement à l'ouest tandis que sa poupe se dresse vers le nord, légèrement est. Deux photographies de géolocalisation sont données à titre indicatif en annexe 1.

L'accès au site est commun à celui de la Tour Royale et maintenu fermé au public sauf évènement exceptionnel (journées du patrimoine, festivals, ...)

Compte-tenu de sa situation, **le Bathyscaphe est placé dans un environnement de classe de corrosivité C5** au sens de norme NF ISO 9223 corrosivité des atmosphères **et C5M** au sens de norme NF EN ISO 12944-2 classification des environnements.



Figure 2 : vue depuis la baignoire du Bathyscaphe, en direction de la mer



Figure 3 : images géolocalisées de la position du Bathyscaphe près de la tour Ariane, face à la mer

4. NOMENCLATURE

La charpente de la sphère d'observation du bathyscaphe est constituée de 2 cadres métalliques dont le cadre supérieur est soudé à la sous-face de la carène. Le cadre inférieur est assemblé au cadre supérieur par des montants verticaux constitués de tubes ronds. Le cadre inférieur est en partie enrobé dans le socle en béton. Par ailleurs, en guise de bers, le bathyscaphe est soutenu de part et d'autre de la sphère par des piliers en béton peint.

Les termes utilisés pour la description du sous-marin sont décrits dans le schéma de présentation en figure ci-dessous : baignoire, carène, sphère, stabilisateurs...

Les parties hautes (pont supérieur et baignoire) ainsi que le dessous de la coque sont peints en rouge, les flancs latéraux de la coque ainsi que la sphère d'observation sont peints en jaune.

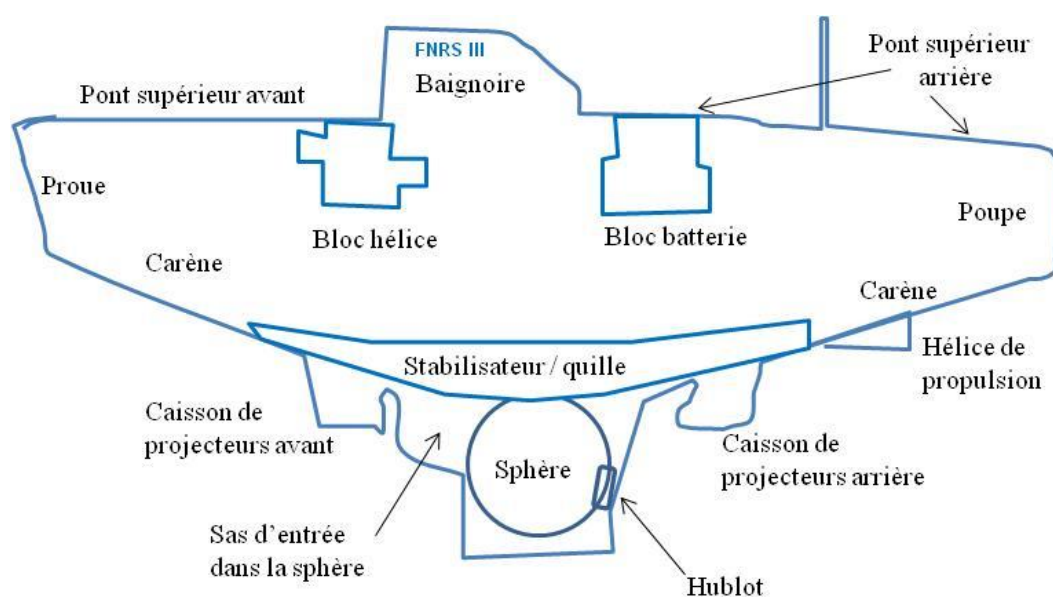


Figure 4 : représentation schématique du FNRS III et éléments de terminologie

5. RAPPEL DES ACTIONS REALISEES LORS DE LA REHABILITATION DE 2005

Lors de la précédente expertise en 2007, le personnel de la Direction des Construction Navales (Naval Group aujourd'hui) qui avait réalisé les dernières opérations de restauration (réparation et remise en peintures seraient des termes plus appropriés) du bathyscaphe entre le 14 et le 26 juin 2005, avait fourni le détail des interventions : La remise en état portait sur 3 types d'interventions :

- 1. Remise en peinture de la carène et des piliers de soutien,
- 2. Remplacement des tubes projecteurs,
- 3. Soudure de nouvelles tôles sur les parties de très faible épaisseur de métal résiduel.

D'après les archives conservées au Service Historique de la Défense (cf. Annexe 1), le système de peintures originales dans les parties extérieures du FNRS III était le suivant :
(nous n'avons pas pu retrouver les équivalences d'aujourd'hui ni les fiches techniques)

Baignoire / pont supérieur	1 couche wash-primer, 4 couches de peinture d'impression vinylique ou chromate de zinc formule A.14.
Coque	1 couche wash-primer, 4 couches de liaison système Pacifique, 1 couche antifouling et une couche flottaison.
Sphère	1 couche primaire N°1 (P.R), 1 couche PR 395 P., 1 couche antifouling.

Il est possible qu'en fonction du degré de soin apporté à la préparation de surface pour la seconde remise en peinture, des traces de ce systèmes soient encore présent.

D'après le compte-rendu succinct obtenu en 2007, **la préparation de surface** a été réalisée par « grattage », lessivage et dégraissage du substrat avant sa mise en peinture. La technique pour procéder au « grattage » de la surface a en fait été adaptée à la nature et à l'état de conservation de la tôle : quand cela a été possible, **un piquetage** a été réalisé mais la plupart du temps, c'est **un ponçage léger ou un brossage** qui ont permis de décaper la surface pour retrouver les tôles d'origine. Habituellement, la préparation de surface sur ce type de substrat s'effectue à l'aide de sablage ou hydro-décapage, nous supposons donc que le métal avait semblé trop fragile pour que le protocole de préparation soit ainsi revisité.

Les personnes présentes lors de la visite nous ont confirmé qu'entre la préparation de surface et l'application, ils avaient procédé à **quelques soudures de tôles** dans les parties dont l'épaisseur résiduelle de métal était trop faible (stabilisateurs, dessous de carène, bloc hélice, ... voir photographies en annexe).

L'application des peintures a été réalisée sous la responsabilité d'un chef d'équipe ACQPA niveau 2 (ACQPA : Association pour la Certification et la Qualification en Peintures Anticorrosion). Trois couches ont été appliquées après la préparation de surface. La chronologie d'application ainsi que les caractéristiques des peintures utilisées sont résumées dans le tableau 1.

Dans le rapport, malheureusement, aucune indication ne concerne l'épaisseur de chacune des couches ainsi que le contrôle qualité de ces épaisseurs post-application.

Tableau 1 : caractéristiques des peintures utilisées pour la carène et les piliers en béton

Carène			
Couche	Référence Marine	Marque	Composition
1 ^{ère} couche	Hempadur 4508H	Hempel	Primaire epoxy - polyamide
2 ^{ème} couche	Hempadur 45143	Hempel	Primaire epoxy - polyamide
3 ^{ème} couche	H/THANE Rouge	Hempel	Polyuréthane
4 ^{ème} couche	H/THANE Jaune	Hempel	Polyuréthane
Piliers en béton			
1 ^{ère} couche	M29	Castellano	Information non connue
2 ^{ème} couche	M29	Castellano	Information non connue

Signalons de plus que tous **les tubes projecteurs de lumière ont été remplacés** par des tubes en PVC peints dans une couleur strictement identique à celle du bathyscaphe (rouge) afin de respecter les couleurs d'origine. Nous n'avons malheureusement pas eu accès aux photographies avant démontage.

Enfin, **quelques agrafes** de jonction des 2 demi-coques de la sphère ont été fabriquées et réinstallées avant remise en peinture. Nous ne connaissons pas exactement leur emplacement.

6. METHODOLOGIE

Le constat d'état sur site a été réalisé les 07 et 08 janvier 2025.

Concernant l'intervention sur le bathyscaphe, les parties hautes ont été observées depuis une nacelle sur porteur ; les parties basses ont été observées de plain-pied. Le rapport A-CORROS ref R653 (qui s'était appuyé sur le rapport de 2007 R009) a servi de référence pour la terminologie et les constats avant/après. Ainsi, des photographies ont été prises dans des zones identiques de manière à pouvoir observer leur évolution entre 2007, 2018 et 2025.

L'ensemble de ces observations est présenté en **Annexe 2**, sous la forme d'un tableau de synthèse qui liste les différentes parties et organes constitutifs du bathyscaphe en précisant les photographies qui s'y rapportent. L'annexe 3 quant à elle met en perspective les zones diagnostiquées en 2007 avec celles diagnostiquées en 2018 et aussi celles prises lors de cette nouvelle campagne 2025.

Le bilan sanitaire général est résumé dans le paragraphe ci-joint.

7. ARCHIVES DU SERVICE HISTORIQUE DE LA DEFENSE

Le jour précédent le diagnostic du Bathyscaphe, des recherches aux archives du Service Historique de la Défense ont été réalisées à la suite du travail préparatoire d'Elsa Lewuillon. Cette journée a permis d'enregistrer et d'illustrer une grande partie des informations concernant des détails caractéristiques pouvant alimenter les notes de calculs.

Etaient spécialement recherchées, les informations de poids et les éléments techniques concernant la manutention du FNRS III.

La liste suivante recense les documents pouvant présenter un intérêt spécifique pour le projet :

Boîte 95 vp 10

Plan 24955 SM (451) : Sondage de la coque du flotteur : Mesure d'épaisseur résiduelle de la coque (photos)

Plan 23695 SM (438) : Relevé des différentes zones de peintures carénage hiver 57/58 : plan indiquant les différents systèmes posés (photos)

Boîte 95 vp 8

Plan R22715 SM (682) : Remorquage - détail : éléments de remorquages (photos)

Plan R22715 SM (682) : Remorquage - Ensemble : (photos)

Plan 22530 SM (511-3) : Transport du FNRS III : Renforcement de l'accorage du berceau par des cornières soudées sur le pont du bateau : (Photos)

Boîte 95 vp 11

Plan RSM 4904 (640) : Plan de emménagements – coupe longitudinale : (photos)

Plan RSM 4902 (640) : vue en plan extérieure : (photos)

Plan RSM 4901 (640) : vue longitudinale extérieure : (photos)

Plan RSM 4875 : devis de poids définitif : (photos)

Plan RSM 4835 (682) : arrimage sur le pont du cargo Dives (1953) : (photos) poids du bâtiment estimé 31.2 t

Plan RSM 4749 (511-3) : chantier pour transport : (photos)

Boîte 95 vp 12

Plan RSM 4553 (511-5) : Mise à l'eau : (photos)

Plan RSM 4021 : Support de la sphère pour manutention : (photos)

Boîte 95 vp 13

Plan RSM 3891 (631) : attache de la sphère au flotteur - ensemble : (photos)

Plan RSM 3744 (631-7) : détails des cloisons longitudinales et transversales : (photos)

Plan RSM 3737 (682-1) : construction d'un palonnier : (photos)

Plan RSM 3714 (2-11) : Distribution des couples : (photos)

Plan RSM 3699 (682-7) : Pitons de levage : (photos)

Plan RSM 3644 (61-1) : devis de poids : (photos)

Les informations importantes qui ont pu être retrouvées concernant en particulier **le poids du bathyscaphe**, les **zones d'ancrages sur le pont** pour le grutage, **les caractéristiques techniques du palonnier** à fabriquer et les **caractéristiques techniques des supports originaux** - de type bers - pour l'amarrage du bathyscaphe sur barge. Les photographies de ces archives se trouvent dans l'annexe 1.

De manière générale, ces archives présentent des informations très pertinentes pour le projet de restauration.

- Poids estimatif du bathyscaphe dans sa configuration actuelle : 22 tonnes
- Zones d'ancrage sur le pont : 2 pitons d'élingage
- Caractéristiques du palonnier : Calculé pour soulever le bâtiment sans essence, eau dans le sas, sans batteries et sans lest de grenailles : correspond à un poids de 30,5 tonnes.

8. DIAGNOSTIC 2025 DU FNRS III

8.1. POINTS IMPORTANTS DU CONSTAT D'ETAT



Figure 5 : vue générale tribord du FNRS III, le 08/01/2025



Figure 6 : vue générale bâbord du FNRS III, le 08/01/2025

D'une manière générale, **l'état de conservation du bathyscaphe s'est très fortement dégradé depuis la première visite de 2007 et cette dernière visite de 2025.**

Il a été constaté **des corrosions foisonnantes sévères sous peinture** apparues après cloquage et l'écaillage de la peinture. Aujourd'hui, ce sont les produits de corrosion en expansion volumique qui provoquent le cloquage de la peinture et une corrosion galopante.

En de nombreuses zones, la corrosion est importante et a conduit à la perforation des tôles. En dehors des tôles, sur les équipements se présentant sous d'autres formes (tubes, plats, pièce complexes, etc.), des pathologies similaires ont été observées. Ces pathologies sont caractéristiques des phénomènes de corrosion se développant sur les structures aériennes en environnement maritime (front de mer, embruns, chlorures).

Parmi les parties les plus sévèrement touchées et probablement les plus difficiles à traiter, on compte les stabilisateurs, le dessous de la sphère ainsi que sa ceinture d'agrafes et son cerclage, les structures connexes à la sphère (structure porteuse tubulaire) mais aussi les différents organes situés sous le flotteur (sas, caissons à grenailles, vannes, etc.).

Un point de vigilance devra être porté sur la zone d'interface entre la coque et les piliers de support. Ces zones sont propices à des rétentions d'eau (salée dans ce contexte) et potentiellement à de fortes corrosions.

Il est à noter également une atteinte sensiblement plus sévère du côté tribord faisant face à la côte, donc plus soumis aux embruns que le côté bâbord.

Sur le pont, l'ensemble des charnières et verrous, ainsi que les systèmes de fermeture des couvercles des blocs batterie sont particulièrement atteints par la corrosion. Cette corrosion s'est développée au niveau de l'interface entre les verrous ou charnières et la coque, sous peinture. Elle peut avoir 2 origines : soit une corrosion par confinement, soit une corrosion existante sous peinture, car les zones considérées sont difficilement accessibles par la peinture, mais suffisamment accessible pour l'eau de mer.

Matériaux :

En ce qui concerne les matériaux en présence, il semblerait, d'après les constatations faites, que les tôles constituant la baignoire, le pont, le flotteur et les stabilisateurs sont des tôles en acier galvanisé.

Les plaques boulonnées sur les faces latérales du pont sont a priori en alliage d'aluminium car le test à l'aimant s'est révélé négatif (= matériau non magnétique).

La sphère est a priori en acier et le cerclage en périphérie du hublot en alliage d'aluminium et les vis qui le maintiennent en acier inoxydable (A4 / 316L).

8.2. CONSTAT D'ETAT DE POINTS SPECIFIQUES

Une attention particulière a été portée à des points spécifiques du FNRS III en relation avec les futures opérations de réhabilitation. Ces points spécifiques concernent l'état des anneaux de levage mais également des éléments non diagnostiqués dans les opérations précédentes comme l'écouille d'accès à la sphère ou le sas de descente dans le bathyscaphe. Les constats d'état sont présentés ci-dessous.

8.2.1. ETAT DES ANCRAGES POUR LE LEVAGE

L'intervention de diagnostic avait également pour objectif de déterminer la manière la plus pertinente de déplacer le FNRS III, à la fois pour des questions pratiques, structurelles et économiques. L'étude de la documentation historique – présentée ci-avant - a permis de retrouver des photographies de précédentes opérations de levage.

En effet, **le FNRS III a été conçu pour être déplacé grâce à des anneaux de levage situés sur le pont supérieur, en amont et en aval de la baignoire**. Le grutage s'effectuait grâce à un palonnier extenseur placé au droit de ces points d'ancrage (illustrations dans les 2 figures ci-dessous).



Figure 7 : vue historique d'une opération de levage du FNRS III

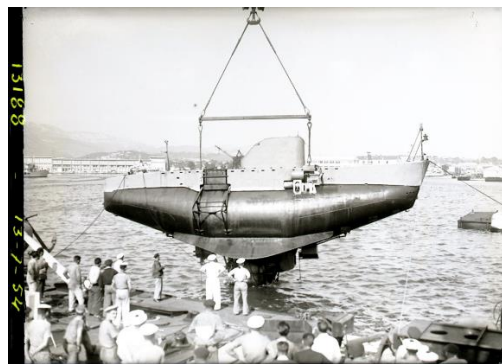


Figure 8 : vue historique de la mise à l'eau (cf annexes)

Cette intervention de diagnostic doit donc permettre de valider que cette solution « historique » est toujours pertinente, faute de quoi, un sanglage devra être étudié.

Point d'ancrage à l'arrière de la baignoire, sur pont supérieur arrière :

Les figures ci-dessous présentent une vue générale du pont supérieur arrière du FNRS III ainsi que de la trappe permettant d'accéder au point d'ancrage arrière, situé à environ 2m à l'arrière de la baignoire. Ces figures mettent en évidence que la tôle du pont supérieur est très dégradée, et même localement perforée autour de la trappe d'ancrage. Cependant, la trappe d'accès à l'ancrage s'ouvre facilement.



Figure 9 : Vue générale du pont supérieur côté poupe, avec trappe d'accès à l'anneau de levage arrière

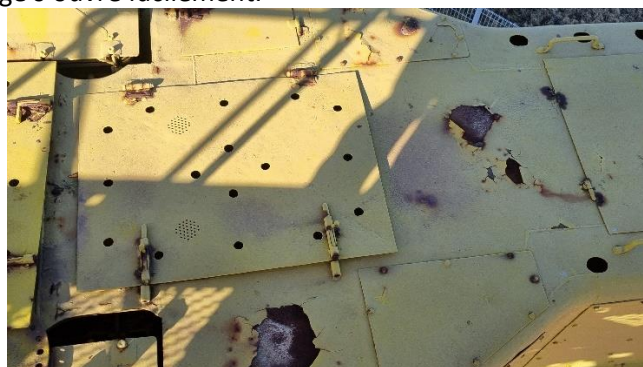


Figure 10 : Pont supérieur côté poupe, détail de la trappe d'accès à l'anneau de levage arrière

Une fois la trappe à 2 verrous soulevée, on constate que l'anneau de levage arrière est dans un excellent état de conservation. Les soudures de l'anneau sur la tôle ou de la tôle sur la coque sont intègre, en parfait état de conservation. **L'anneau de levage arrière est donc visuellement structurellement intègre.**



Figure 11 : Vue générale de l'anneau de levage arrière

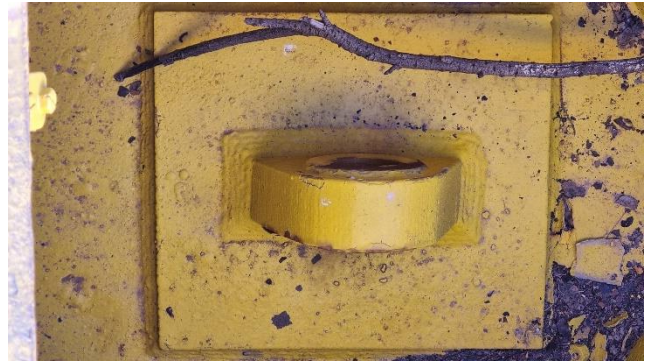


Figure 12 : Vue de détail de l'anneau de levage arrière, très bon état des soudures de l'anneau sur sa tôle et de la tôle sur la coque

Point d'ancrage à l'avant de la baignoire

Le point d'ancrage situé à 50cm en avant de la baignoire en direction de la proue est également intègre, dans un très bon état général de conservation. Les soudures de la tôle d'assemblage de l'anneau de levage sont parfaitement intègres et confirment que l'anneau est fonctionnel sur un plan mécanique.



Figure 13 : Localisation de l'anneau de levage à l'avant de la baignoire



Figure 14 : détail de l'anneau de levage, soudures conformes

8.2.2. ECOUILLE D'ACCES A LA SPHERE.

L'écouille d'accès à la sphère est située dans la baignoire. Son ouverture s'est révélée facile. Cette écouille donne accès à une échelle qui descend directement à l'entrée de la sphère. A l'intérieur du sas d'accès, l'échelle et tôles sont parfaitement saines, en très bon état de conservation. Une seule zone est corrodée, sur le plateau supérieur de l'échelle, à un angle du cube d'entrée.



Figure 15 : Ecouille située dans la baignoire pour accéder à la sphère



Figure 16 : Echelle d'accès à l'entrée de la sphère depuis la baignoire

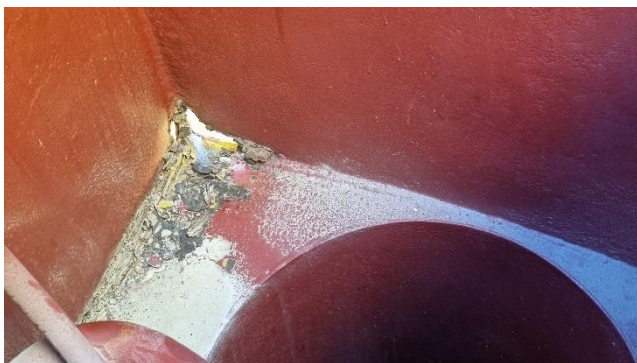


Figure 17 : bord de tôles corrodées au sommet de l'échelle d'accès à la sphère

8.2.3. EQUIPEMENTS DE L'ENTREPONT, ENTRE COQUE ET PLANCHER SUPERIEUR DE PONT

Les figures ci-dessous présentent des vues des équipements présents entre coque et pont supérieur en regardant vers la poupe (figure de gauche) ou vers la proue (figure de droite). A l'exception de quelques points de corrosion localisée, l'ensemble est bien conservé (protégé par le plancher de la baignoire) et la coque est en très bon état avec des épaisseurs résiduelles identiques à celles d'origine.

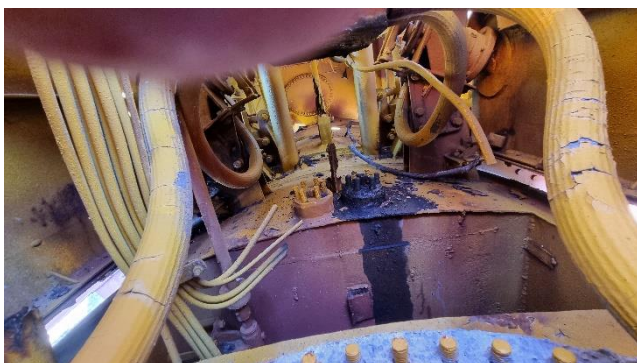


Figure 18 : Vue des équipements entre le pont supérieur arrière et la coque

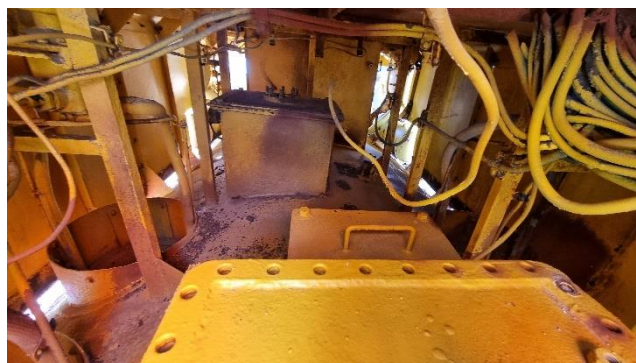


Figure 19 : Vue des équipements entre le pont supérieur avant et la coque

8.2.4. ACCES INTERIEUR DE COQUE

Dans la trappe située à l'arrière de la baignoire (figures ci-dessous), une grande échelle en aluminium descend jusqu'au fond de coque du sous-marin. Les parois de ce sas de descente sont bien conservées, les peintures des parois internes sont encore en bon état. Le plancher demeure inaccessible visuellement en raison de la présence sur le plancher de ce qui semble être un textile.



Figure 20 : sas de descente vers l'intérieur de coque, situé à l'arrière de la baignoire, vue générale



Figure 21 : sas de descente vers l'intérieur de coque, situé à l'arrière de la baignoire, vue détail du fond de sas

8.3. CONSTAT D'ETAT DES PARTIES COURANTES

Le diagnostic visuel de l'ensemble du bathyscaphe a été réalisé. Des photographies de l'évolution de l'état de conservation 2025 en comparaison avec celles prises globalement sur les mêmes points en 2007 et 2018 sont présentées en Annexe 3.

Cependant, quelques points fondamentaux, devant servir les préconisations et le chiffrage de la réhabilitation sont repris dans le paragraphe à suivre.

Trappe du pont supérieur avant

Une trappe positionnée sur le pont supérieur avant est absente (figure ci-dessous, sous la flèche). La trappe, sous l'effet d'une corrosion très forte des assemblages, est visible à l'intérieur et repose actuellement sur la coque. L'intérieur coque est très tâché mais conserve encore un bon état général de conservation des peintures.

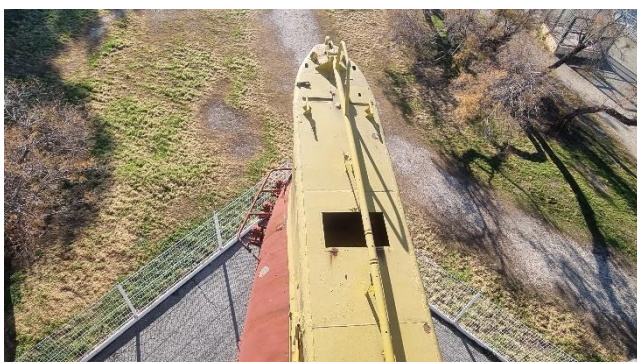


Figure 22 : vue générale bâbord du FNRS III avec localisation de la trappe avant perdue



Figure 23 : trappe avant reposant sur la coque du sous-marin

La baignoire

Des vues générales de la baignoire sont présentées dans les figures suivantes. La baignoire est encore globalement bien conservée. Cependant, la zone de soudure de la baignoire sur le pont supérieur présente de nombreux écaillages et corrosion des soudures.



Figure 24 : Vue générale ¼ bâbord arrière de la baignoire



Figure 25 : Vue générale ¼ bâbord avant de la baignoire

La carène

La coque, principalement représentée par le revêtement de couleur rouge présente des états d'altérations différentiels entre tribord côté mer et bâbord. En effet, globalement, la coque bâbord est bien conservée même si la peinture est écaillée. Sous les écailles, la coque apparaît de couleur grise, comme si elle était galvanisée à l'origine (ou revêtue dans le passé par une peinture à base de primaire au zinc).

La peinture subit un fort écaillage révélant au mieux la couleur grise de la galvanisation sous-jacente, au pire la corrosion du subjectile d'acier sous la galvanisation.

Sur la coque, la moyenne des 30 mesures des épaisseurs résiduelles de la coque, réalisées de plain-pied, est comprise entre 3,2 et 3,4mm. Cela signifie qu'à l'exception de zones de corrosion perforantes, localisées sur des

réparations soudées de tôles (cf ci-dessous), **la coque est intègre et peut être déplacée**. Pour mémoire, et sauf erreur d'appréciation des documents historiques (cf annexe 2), les épaisseurs d'origine étaient de 4mm.



Figure 26 : flanc bâbord du bathyscaphe FNRS III, 2025



Figure 27 : flanc tribord du bathyscaphe FNRS III, 2025

Les stabilisateurs situés à tribord et à bâbord du sous-marin sont extrêmement dégradés et perforés en de nombreux points, en particulier le stabilisateur tribord, face à la mer. Sur les vues en sous-face, on constate une corrosion des extrémités des stabilisateurs par « effet de goutte » : en effet, lors d'épisodes pluvieux, les gouttes ruissellent sur la face supérieure, entraînant les sels marins qui se sont accumulés, puis les gouttes passent l'extrémité et se « cassent » un peu après avoir stagné. Préconisation : cette zone devra être considérée de manière particulière lors de l'opération de carénage avec application de préouches pour mieux résister à cet effet de gouttes.

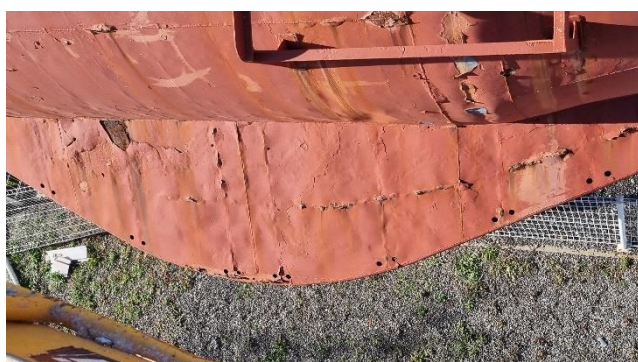


Figure 28 : Vue générale du stabilisateur bâbord, avec forte corrosion des zones de soudure et d'une partie en assemblage avec la coque

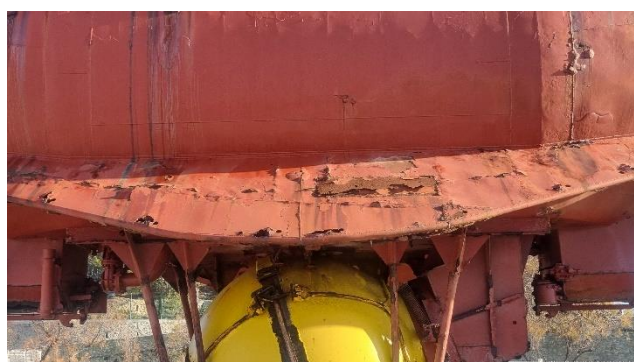


Figure 29 : Vue générale du stabilisateur tribord, avec forte corrosion des tôles et des soudures entre tôles et corrosion perforante

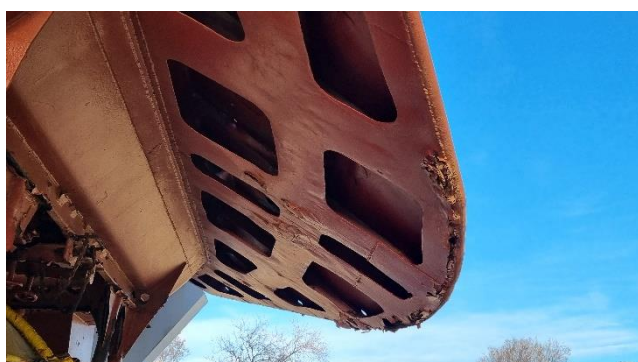


Figure 30 : Vue générale du stabilisateur tribord, sous-face



Figure 31 : Vue générale du stabilisateur bâbord, sous-face

En sous-face de la coque, les tôles qui ont été remplacées en 2005 sont dans leur grande majorité totalement perforées notamment à l'avant et à l'arrière. Les pathologies de corrosion observées dans ces zones sont liées aux effets de bord des soudures réalisées. En effet, dans des zones où les soudures n'ont pas été meulées, les épaisseurs de peintures sont moindres et les gouttes d'eau chargées de chlorures pénètrent plus rapidement jusqu'au subjectile d'acier et contribuent à accélérer la corrosion autour de la soudure.

Lors de l'opération de réhabilitation à venir, nous recommandons le remplacement de ces tôles perforées et la réalisation de prétouches avant remise en peinture du bathyscaphe.

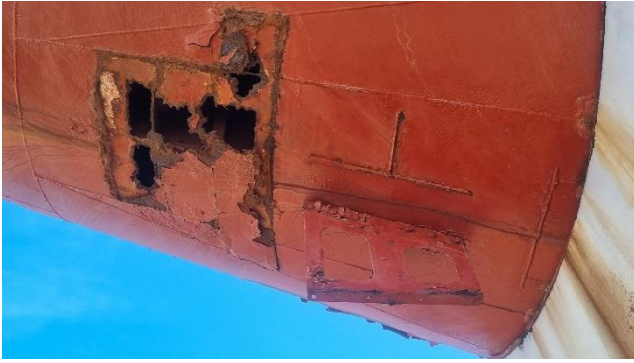


Figure 32 : sous-face de la carène, côté poupe : perforation quasi-totale de réparations de tôles



Figure 33 : sous-face de la carène, côté proue : perforation quasi-totale de réparations de tôles

En ce qui concerne la sphère d'observation, la majorité des agrafes de serrage des 2 demi-sphères a disparu. Aujourd'hui, 1/3 des agrafes sont encore présentes sur le dessus et côté bâbord. Toutes les agrafes côté tribord, face à la mer, sont tombées en raison de la corrosion par les chlorures et l'alternance de cycles humification-séchage. Certaines agrafes sont encore au sol. C'est une situation qui est évolutive ; la corrosion de ces agrafes conduisant à leur décohésion du serrage puis de leur chute.



Figure 34 : vue générale de la sphère, côté tribord, disparition de toutes les agrafes d'assemblage de la demi-sphère



Figure 35 : vue générale de la sphère, 3/4 côté tribord arrière,



Figure 36 : Vue générale de la sphère, 3/4 bâbord arrière, présence des agrafes d'assemblage des 2 demi-sphères



Figure 37 : vue générale bâbord de la sphère



Figure 38 : détail d'agrafes corrodées, désassemblées de la 1/2 sphère, sur la partie haute

La partie basse de la sphère est extrêmement dégradée. C'est une zone dans laquelle peuvent s'accumuler les eaux de ruissellement chargée en chlorures et stagner, impliquant via des cycles humidification-séchage, une accélération de la dégradation de la peinture tout d'abord puis de la corrosion ensuite.



Figure 39 : Détail des agrafes disparues en partie basse

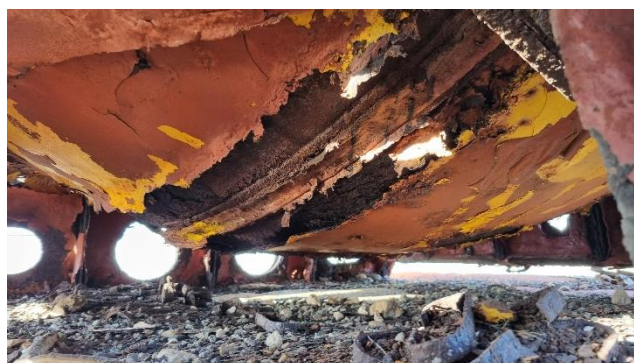


Figure 40 : Partie inférieure de la sphère, forte corrosion feuilletante de la zone d'assemblage des 2 1/2 sphères

Charpente de la sphère :

La charpente de la sphère est constituée de 2 cadres, haut et bas, constitués d'IPN, sur lesquels sont soudés des montants verticaux constitués de tubes rond. Le cadre de charpente haut est soudé à la coque ; la semelle inférieure du cadre de charpente bas est aujourd'hui noyée dans le béton. A noter que les poutres IPN du cadre bas sont plus fortes que celles soudées sur la coque. (cf. plan de la structure de la sphère annexe 1) Les montants verticaux en tubes ronds sont soudés aux cadres par l'intermédiaire de goussets triangulaires.

Les goussets d'assemblage des montants sur les poutres sont corrodés, notamment autour des soudures tout comme la face supérieure de la poutre IPN du cadre inférieur.

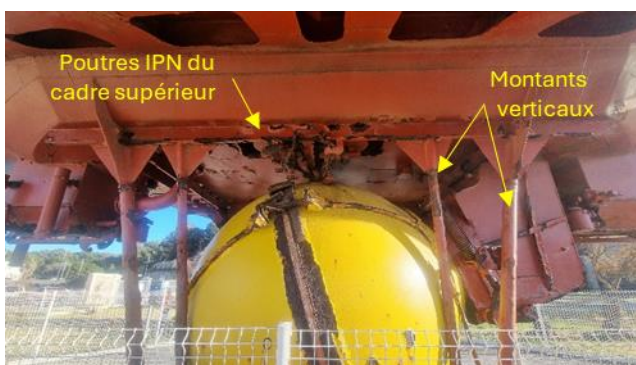


Figure 41 : Vue générale tribord de la sphère : détail de charpente avec IPN supérieurs et montant verticaux en tube rond



Figure 42 : charpente : cadre supérieur et détail de la semelle inférieure corrodée de l'IPN ainsi que les montants



Figure 43 : Détail des montants et IPN supérieur corrodés



Figure 44 : Autre détail de corrosion

Nous avons réalisé un sondage dans le massif en béton dont l'objectif était d'estimer la profondeur d'enrobage du cadre inférieur ainsi que le temps nécessaire au dégagement lors du déplacement du Bathyscaphe. **Le dégagement a été réalisé rapidement ; la profondeur d'enrobage est de 50mm.**

Ce dégagement a été réalisé manuellement. Lors de l'opération de dégagement, il sera nécessaire d'utiliser des outils de type disqueuse ou disqueuse à eau afin de minimiser les vibrations. Les marteaux piqueurs ne sont pas conseillés. Pour les travaux de finition par suite du dégagement par disqueuse, des marteau burineurs pourraient être utilisés.



Figure 45 : Dégagement du cadre inférieur de la charpente



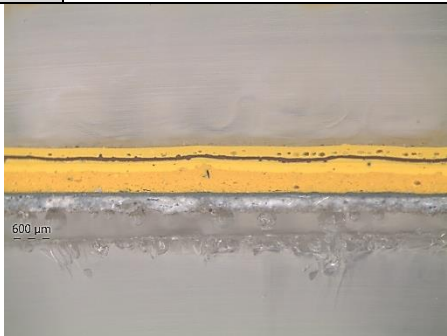
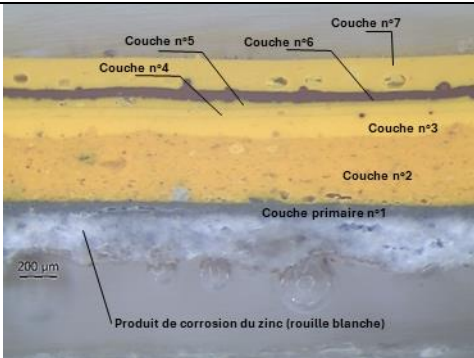
Figure 46 : Dégagement du cadre inférieur de la charpente


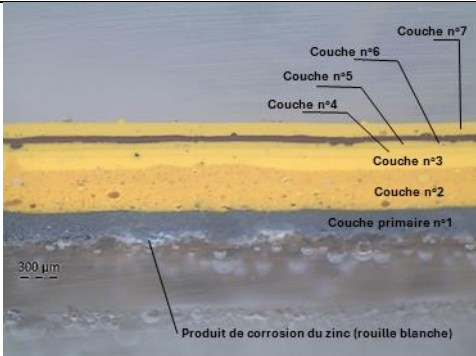
9. ANALYSE D'UN ECHANTILLON DE PEINTURE



Sur site, un échantillon de peinture a été prélevé sur la coque. Cet échantillon a été analysé au laboratoire A-CORROS. Les résultats sont présentés ci-dessous.

9.1. STRATIGRAPHIES

L'échantillon a été enrobé dans une résine puis poli. La coupe stratigraphique ainsi réalisé a été observée sous loupe binoculaire. Les résultats sont présentés dans les figures ci-dessous.

R1337-1P	
Description	 <p>Figure 47 : Vue en coupe de l'échantillon R1337-1P.1 (Loupe binoculaire x20)</p>
	 <p>Figure 48: Vue en coupe de l'échantillon R1337-1P.1 (Loupe binoculaire x64)</p>
<p>L'échantillon R1337-1P est un système de peinture composé de 7 couches.</p> <p>Il est à noter que sous la couche primaire, identifiée sur la figure ci-dessus, des produits de corrosion blanc sont visibles et correspondent à de la rouille blanche, caractéristique des produits de corrosion du zinc (galvanisation).</p> <p>Dans ces couches, nous ne notons pas la présence de couches de couleur orange caractéristiques de la présence de minium de plomb.</p> <p>Les mesures réalisées sur chaque couche identifiée sont donnée ci-dessous :</p> <p>Mesure d'épaisseur de la couche primaire (=couche n°1) : 58 µm</p> <p>Mesure d'épaisseur de la 2^{ème} couche : 380 µm</p> <p>Mesure d'épaisseur de la 3^{ème} couche : 129 µm</p> <p>Mesure d'épaisseur de la 4^{ème} couche : 49 µm</p> <p>Mesure d'épaisseur de la 5^{ème} couche : 47 µm</p> <p>Mesure d'épaisseur de la 6^{ème} couche : 52 µm</p> <p>Mesure d'épaisseur de la 7^{ème} couche : 170 µm</p> <p>Total épaisseurs de l'ensemble des revêtements : 885 µm</p>	

R1337-1P.1	
 <p>Figure 49: Vue en coupe de l'échantillon R1337-1P.2 (Loupe binoculaire x20)</p>	 <p>Figure 50: Vue en coupe de l'échantillon R1337-1P.2 (Loupe binoculaire x40)</p>
Description	<p>L'échantillon R1337-1P.1 est un système de peinture composé de 7 couches.</p> <p>Il est à noter que sous la couche primaire, identifiée sur la figure ci-dessus, la rouille blanche caractéristique des produits de corrosion du zinc (galvanisation) est également présente sous la couche primaire.</p> <p>Dans ces couches, nous ne notons pas la présence de couches de couleur orange caractéristiques de la présence de minium de plomb.</p> <p>Mesure d'épaisseur de la 1^{ère} couche : 185 µm Mesure d'épaisseur de la 2^{ème} couche : 367 µm Mesure d'épaisseur de la 3^{ème} couche : 115 µm Mesure d'épaisseur de la 4^{ème} couche : 42 µm Mesure d'épaisseur de la 5^{ème} couche : 40 µm Mesure d'épaisseur de la 6^{ème} couche : 61 µm Mesure d'épaisseur de la 7^{ème} couche : 114 µm</p> <p>Total épaisseurs de l'ensemble des revêtements : 924 µm</p>

R1337-1P.2	
Description	 <p>Figure 51: Vue en coupe de l'échantillon R1337-1P.3 (Loupe binoculaire x20)</p>
	 <p>Figure 52: Vue en coupe de l'échantillon R1337-1P.3 (Loupe binoculaire x40)</p>
<p>L'échantillon R1337-1P.2 est un système de peinture composé de 7 couches.</p> <p>Il est à noter que sous la couche primaire, identifiée sur la figure ci-dessus, la rouille blanche caractéristique des produits de corrosion du zinc (galvanisation) est également présente sous la couche primaire.</p> <p>Dans ces couches, nous ne notons pas la présence de couches de couleur orange caractéristiques de la présence de minium de plomb.</p> <p>Mesure d'épaisseur de la 1^{ère} couche : 59 µm Mesure d'épaisseur de la 2^{ème} couche : 498 µm Mesure d'épaisseur de la 3^{ème} couche : 154 µm Mesure d'épaisseur de la 4^{ème} couche : 114 µm Mesure d'épaisseur de la 5^{ème} couche : 34 µm Mesure d'épaisseur de la 6^{ème} couche : 41 µm Mesure d'épaisseur de la 7^{ème} couche : 151 µm</p> <p>Total épaisseurs de l'ensemble des revêtements : 1051 µm</p>	

Conclusions sur le système de peinture :

Pour mémoire, le système appliqué à l'origine sur la coque était le suivant : 1 couche wash-primer, 4 couches de liaison système Pacifique, 1 couche antifouling et une couche flottaison, soit un système à 7 couches. Le wash primer est une couche primaire généralement phosphatante avec une fonction anticorrosion qui permet une meilleure adhérence de la couche intermédiaire et, de fait, des couches suivantes.

Les coupes stratigraphiques ont révélé aujourd'hui un système de peinture composé de 7 couches. Lors du dernier carénage, l'avivage de la coque a été réalisé par brossage/grattage de la coque puis application d'une système à 4 couches dont la couche n°3 était de couleur rouge. C'est celle qui est aujourd'hui identifiée comme la couche n°6 dans les coupes stratigraphiques présentées ci-dessus.

9.2. ANALYSES PLOMB DANS LES ECHANTILLONS DE PEINTURES

Des analyses réalisées au spectrofluorescencemètre portable ont été réalisées sur les 3 échantillons de peinture afin de caractériser la présence ou absence de plomb dans les peintures.

L'appareil utilisé est le spectromètre à fluorescence X portable OLYMPUS DELTA Premium utilisé en mode RoHS. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1 : résultats du taux de plomb mesuré sur les trois échantillons à l'aide d'un appareil à spectrométrie portable à fluorescence X

Nomenclature des échantillons	R1337-1P	R1337-1P.1	R1337-1P.2
Concentration surfacique du plomb (mg/cm ²)	3,5	3,9	3,9

Selon l'arrêté du 25 avril 2006 relatif au constat de risque d'exposition au plomb, un revêtement contient du plomb si la concentration surfacique en plomb total mesurée à l'aide d'un appareil portable à fluorescence X est supérieure ou égale à 1 milligramme par centimètre carré (1 mg/cm²).

Les échantillons ont donc une teneur en plomb à 3 voire 4 fois plus élevé que la limite admissible. A-CORROS étant un bureau d'études matériau non habilité à réaliser des diagnostics plombs, **nous recommandons de faire réaliser un Constat de Risque Exposition Plomb avant travaux.**

9.3. OBSERVATIONS AU MICROSCOPE ELECTRONIQUE A BALAYAGE ET ANALYSES ELEMENTAIRES (MEB-EDS)

9.3.1. METHODOLOGIE D'ANALYSE

Une écaille de revêtements de coque prélevée sur site a été observée en surface au microscope électronique à balayage. Ces observations couplées à une analyse de la composition chimique élémentaire permettent d'identifier la nature des éléments chimiques. L'appareil utilisé est un microscope de type TESCAN Vega 3 couplé à un analyseur EDS Bruker. Une métallisation à l'or (Au) permet de rendre la surface observée suffisamment conductrice pour éviter l'accumulation des électrons du faisceau incident.

9.3.2. RESULTATS DES ANALYSES MEB

Les coupes stratigraphiques ont également été observées sous microscope électronique à Balayage. Les observations au MEB-EDS sont effectuées en contraste topographique et chimique afin d'évaluer la morphologie de produits de corrosion et leur homogénéité en composition chimique respectivement.

Au revers, les produits de corrosion qui semblent assez denses présentent des morphologies en cloques et cupules. L'absence de contraste sur l'image en électrons rétrodiffusés permet de montrer que la couche est assez homogène en composition chimique.

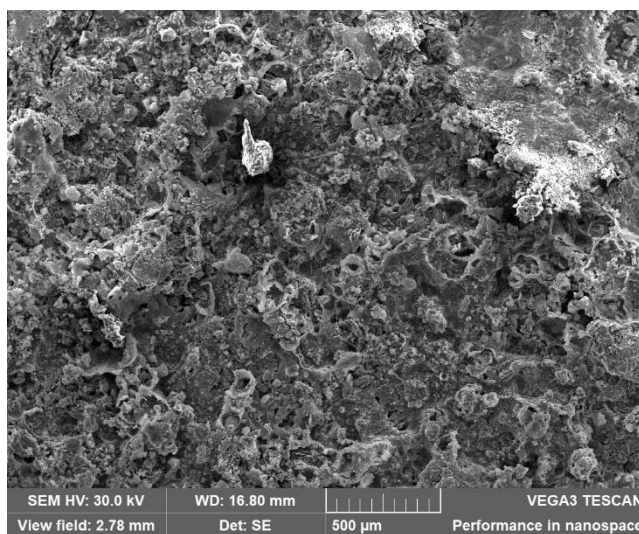


Figure 53: cliché électronique en contraste topographique de la face interne de l'écaille prélevée (MEB-SE, x100).

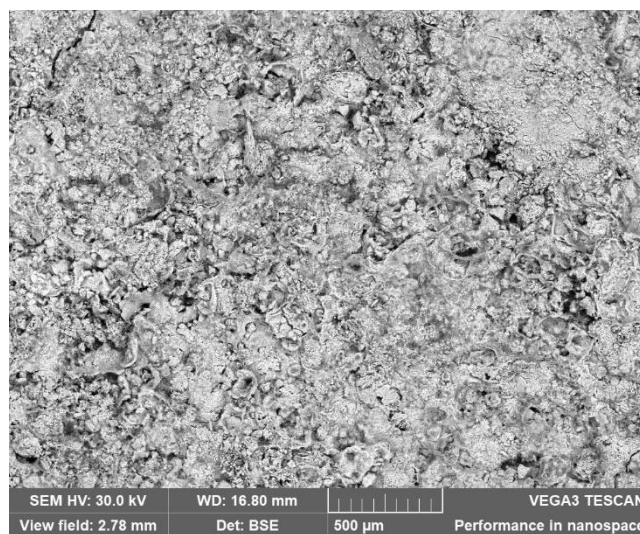


Figure 54: cliché en contraste chimique sur la même zone. (MEB-BSE, x100).

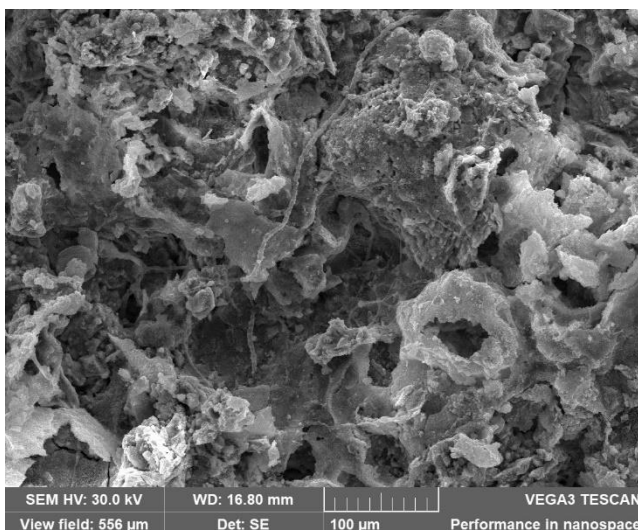


Figure 55: cliché électronique en contraste topographique à plus fort grossissement (MEB-SE,x500).

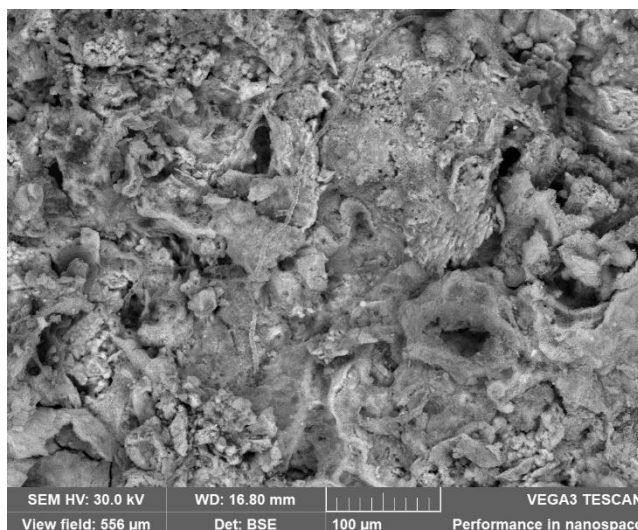


Figure 56: cliché électronique en contraste chimique au niveau de la même zone (MEB-BSE,x500).

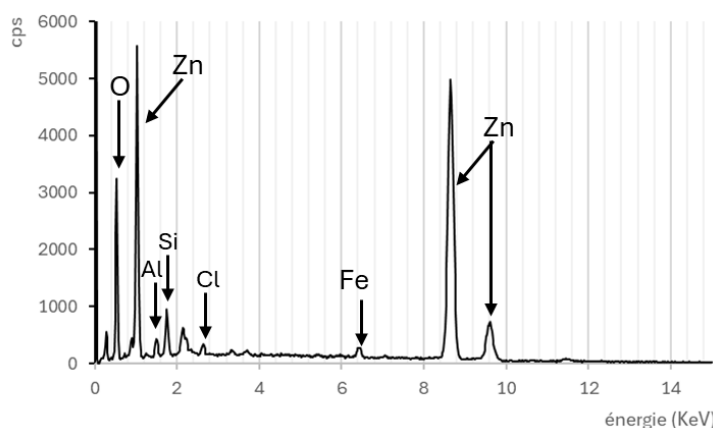


Figure 57: spectre en énergie obtenu sur la partie interne de l'écaille, Zn : zinc, Fe : fer, O : oxygène, Al : aluminium, Si : silicium, Cl : chlore.

Les éléments prépondérants présents au revers de l'écaille prélevée, au niveau des produits de corrosion sont le zinc (Zn) et l'oxygène (O).

L'élément fer (Fe) est détecté en moindre mesure ainsi que le chlore (Cl). Enfin, les éléments silicium (Si) et aluminium (Al) sont également présents.

Les observations des morphologies et les analyses élémentaires conduites au revers d'une écaille prélevée permettent de confirmer la présence de composés riches en zinc de type oxydes, ce qui confirme la présence de rouille blanche dans les coupes stratigraphiques présentées plus haut. Le chlore est également nettement identifié au sein des produits de corrosion, confirmant également son importance dans les processus de dégradation de la peinture, de la galvanisation et de corrosion.

10. CALCUL STRUCTUREL

Le calcul de structure réalisé par Breakingwave Services avait pour objectif de valider le levage du FNRS III à l'aide d'un palonnier extenseur tel qu'il a été découvert dans les documents d'archives présentés ci-dessus. Les principaux éléments du calcul ont été extraits du rapport de Breakingwave Services, présenté en **Annexe 5**.

Le poids du navire considéré est le poids lège au levage dans les conditions suivantes :

- Sans essence
- Sans eau dans le SAS
- Sans batteries
- Sans lest en grenaille

Le poids lège du navire considéré initialement à 30,500 T.

D'après le document RSM 3644, le poids de la sphère complète et équipées est de 11,305 T. L'intérieur de la sphère n'étant pas visitable seul 150 kg de passagers ont été retirés pour les besoins du calcul. Le poids lège de la sphère est donc considéré à 11,155 T

D'après le document RSM 4553 le FNRS III est équipé de deux point de levage accessible du pont supérieur. Ces points de levage ont été identifiés lors de la visite sur site et apparaissent en bon état (**cf §8.2.1 ci-dessus** + figures ci-dessous).

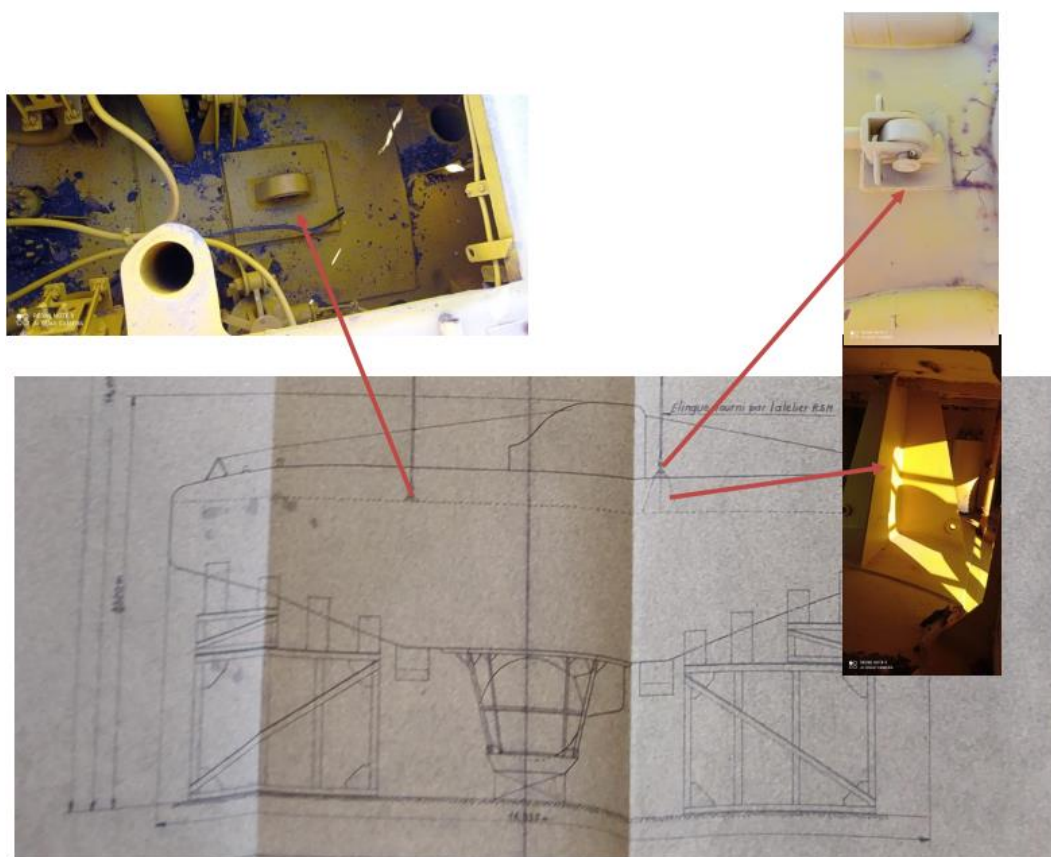


Figure 58 : Localisation sur plan des points de levage et état des ancrages en 2025, © Breakingwave Services

Les résultats de cette étude montrent que le levage du bathyscaphe FNRS III est réalisable selon les hypothèses et conditions suivantes :

- Poids lège du navire : 30,500 T
- Grues dans des conditions normales de service, soulevant et déposant des charges, vent (<10 Nds) et sans charges provenant d'autres effets climatiques.
- Vitesse de levage maximale du système d'entraînement : 10 m/min .
- Classe de levage pour les appareils de levage des chantiers naval : HC2.

- Classe d'entraînement dont la commande d'entraînement du palan maintient la vitesse lente jusqu'à ce que la charge soit soulevée du sol : HD3.
- Diamètre manille 51 mm.

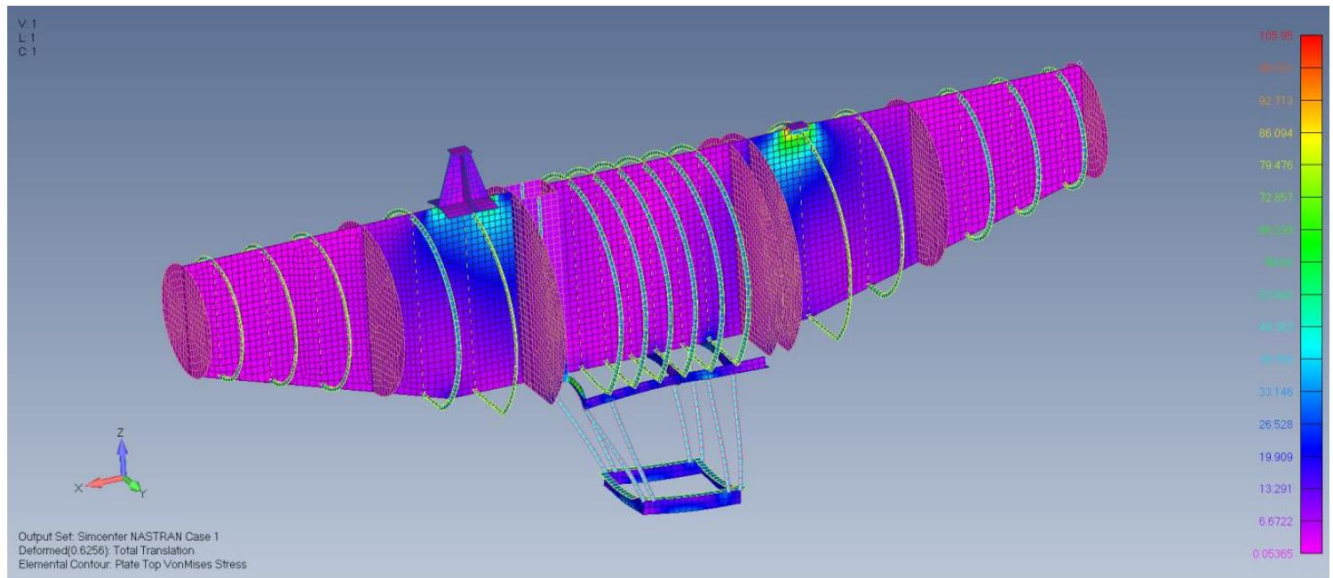


Figure 59 : calcul de structure du Bathyscaphe FNRS III, modèle aux éléments finis, avec une contrainte combinée maximale de 106MPa, donc inférieure à la limite de 150 MPa

Dans ces conditions les conditions décrites précédemment la contrainte combinée maximale est de 106 MPa, elle est inférieure à la contrainte admissible de 150 Mpa. Le levage est donc envisageable par les anneaux de levage d'origine.

11. CONCLUSIONS GENERALES

Les conclusions générales de 2018 s'appliquent de la même manière à l'état observé en 2025, avec cependant une aggravation exponentielle des désordres observés :

Corrosions :

D'une manière générale, 18 ans après l'opération de remise en peinture, le bathyscaphe est dans un état de corrosion avancé et une intervention est à prévoir en urgence. Cependant, cette corrosion n'affecte pas encore mécaniquement la tenue structurelle du Bathyscaphe. Les piliers support en béton semblent par ailleurs en bon état de conservation et assurent leur rôle structurel.

Les éléments disposés sur le flanc tribord, c'est à dire le flanc le plus exposé aux embruns, sont plus corrodés que ceux exposés côté terre. Cet état correspond aux tempêtes hivernales et aux vents dominants qui lèvent des gouttelettes d'eau de mer, ces gouttelettes venant se déposer régulièrement sur les parties du bathyscaphe les plus exposées. Une partie de ces gouttelettes, en ruisselant, vont par la suite stagner sur les parties basses (dont la sphère et les agrafes) et engendrer des mécanismes de corrosion sévère.

Peinture

Le sous-marin a fait l'objet en juin 2005 d'un carénage complet. Après 18 ans d'exposition aux embruns, de nombreux points de corrosion sont apparus sous peinture ou au travers de la peinture. La peinture est délavée ; elle est dégradée et localement, micro-fissurée, laissant ainsi passer air et humidité à l'origine des mécanismes de corrosion.

La gamme de peinture qui avait été appliquée (époxy et polyuréthane) est la gamme généralement utilisée pour les navires et embarcations à la mer. La couche époxy permet de conférer une résistance mécanique et aux sels à la surface métallique tandis que la couche de polyuréthane lui confère une résistance aux UV.

Nous recommandons donc d'utiliser un système identique pour les opérations de remise en peinture.

Ces peintures nécessitent une préparation de surface adaptée. Malheureusement, sur des structures patrimoniales ou sur des structures déjà corrodées, ces peintures sont moins adhérentes.

Les problèmes de corrosion se sont aujourd'hui généralisés non seulement à des assemblages de tôles de carène mais surtout sur des petits éléments techniques ou dans des zones de stagnation des eaux de ruissellement. Sur les « grandes » surfaces, la préparation de surface est simple et la peinture accroche bien lors de son application. A l'inverse, sur des surfaces difficiles d'accès (boulonnerie, visserie, tuyauteries et câbleries), la préparation de surface par décapage ou brossage est délicate et l'application de peinture peut conduire à des problèmes ultérieurs de corrosion sous peinture, comme observé sur la boulonnerie du bathyscaphe.

12. PRECONISATIONS – PROPOSITION DE MESURES CONSERVATOIRES

Les mesures conservatoires formulées en 2007 et 2008 par A-CORROS en matière de contrôle et de maintenance n'ayant pas été suivies, le système de peinture arrive aujourd'hui au terme de sa durabilité : il est donc urgent de prévoir un carénage complet du Bathyscaphe en vue de sa conservation dans les 2 années à venir.

Réflexions en vue de la restauration :

- ✓ Compte tenu de l'état général de conservation et de la multitude des points de corrosion, il n'est pas souhaitable de réaliser des « reprises » de la peinture existante, le rapport coûts d'installation (échafaudage nécessaire) et d'application sur résultat et durabilité étant très faible. Nous préconisons une remise en peinture complète,
- ✓ La restauration devra prendre en compte la difficulté de la préparation de surface sans démontage de pièces ou sur des pièces difficiles d'accès. En témoigne l'état des zones qui n'ont certainement pas pu être correctement traitées lors de la restauration de 2005.

- ✓ Le traitement des surfaces planes sera plutôt aisé (carène, flotteur, stabilisateurs) mais le traitement des parties techniques, autour de la sphère, sera plus complexe (éléments entourant la sphère et les organes situés en partie basse du bathyscaphe).
- ✓ En ce qui concerne le choix du système de peinture, nous recommandons d'utiliser un système identique à celui qui avait été appliqué. Si un système différent devait être appliqué, l'applicateur devra veiller à sélectionner des peintures compatibles avec les surfaces en acier galvanisé (peintures alkydes prohibées).

Du point de vue de la relation à l'environnement, et en particulier la relation avec la corrosivité, les normes NF EN ISO 12944-4 et 12944-5 « Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture » définissent respectivement les préparations de surface des aciers et les systèmes de peinture adaptés à la classe C5-M en fonction d'un critère de durabilité exigé.

Dans le cas de l'application de revêtement selon la norme NF EN ISO 12944, les éventuelles reprises, réparations et remises en peinture devront donc impérativement suivre les recommandations en termes de préparation du substrat, nombre, épaisseur et qualité des couches appliquées. A titre d'exemple, une variante de la norme classiquement utilisée sur des aciers au carbone exposé en atmosphère C5M préconise le système suivant :

- Décapage par projection d'abrasif au degré de soin Sa 2 ½,
- Application de 2 couches de peinture époxydique – épaisseur totale 150 µm,
- Application de 2 couches de peinture polyuréthane – épaisseur totale 300 µm.

D'autres systèmes sont possibles et il est recommandé au maître d'ouvrage de se rapprocher d'organismes tels que l'ACQPA (Association pour la Certification et Qualification en Peinture Anticorrosion) et l'OHGPI (Office d'Homologation des Garanties de Peinture Industrielle) ou des applicateurs.

En ce qui concerne la préparation de surface, une attention toute particulière devra être accordée au pont et à l'ensemble des organes de fermeture de type verrous ainsi qu'à la zone « très technique » autour et en dessous de la sphère. Certes, l'accessibilité est difficile mais il ne nous paraît pas inconcevable de procéder à un nettoyage des produits de corrosion (par exemple par sablage à l'abrasif fin avec des outils de précisions) puis à l'application (au pinceau) de stabilisateur de corrosion avant remise en peinture (selon la compatibilité avec le système peinture défini). Cette solution favoriserait la conservation à long terme de ces parties basses.

En revanche, en ce qui concerne les agrafes, elles seront difficilement remplaçables dans cette zone sans démontage préalable du socle.

Nous recommandons un suivi périodique de la protection anticorrosion tous les 3 ans. Ce contrôle doit avoir pour objectif de définir l'état sanitaire des éléments et, dans les zones les plus atteintes par la corrosion, la mesure des épaisseurs de métal résiduel par ultrasons ou autres techniques mécaniques (pige de pied à coulisse, ...).

Les données obtenues devront être mises en confrontation avec les seuils de sécurité définis par le bureau d'études structures afin de pouvoir programmer un plan de maintenance / réparation / remplacement des éléments concernés.

En revanche, les zones apparentes de faiblesses du film de corrosion durant ces inspections devront être reprises dans la foulée, par brossage fin des produits de corrosion et reprise d'une protection peinte afin de ne pas laisser la corrosion se poursuivre.

13. PROPOSITION DE RESTAURATION

L'environnement marin dans lequel le sous-marin est exposé n'est pas compatible à sa bonne conservation. Les différents suivis qui ont été réalisés pendant 18 ans ont mis en évidence une dégradation du système de protection contre la corrosion et de fait, des détériorations structurelles préoccupantes.

Il est donc absolument nécessaire de conduire une campagne de restauration fondamentale du sous-marin.

13.1. ORGANISATION DES TRAVAUX

Une proposition d'intervention est présentée ci-dessous. Plusieurs étapes ne sont pas encore définies à ce point, en particulier les lieux de stockage/restauration, dont dépendra les transports.

En revanche, les travaux de restauration à proprement parlés ont put être chiffrés et sont présentés dans un tableau à la suite.

13.1.1. ETAT SANITAIRE DU SOUS-MARIN ET CHIFFRAGE DES OPERATIONS A REALISER SUR SITE.

Cf. rapport actuel

13.1.2. IDENTIFICATION D'UN LIEU DE CHANTIER POUR DEPLACEMENT FNRS III POUR TRAVAUX

Ce lieu est en cours d'identification par la Maitrise d'Ouvrage.

13.1.3. FABRICATION DU PALONNIER

D'après les plans d'origine.

13.1.4. FABRICATION DES SUPPORTS POUR TRANSPORT ET SOCLAGE

D'après plans d'origine

13.1.5. DEMONTAGE DE LA DALLE EN BETON SOUS SPHERE

Ces travaux préparatoires au levage devront être réalisés en évitant au maximum les trop grandes vibrations. Des travaux à la disqueuse ou découpe à l'eau seront préférées. Budget estimé 4000k à 5000k

13.1.6. ESSAI PALONNIER ET LEVAGE SOUS-MARIN AVEC GRUE POUR TRANSPORT DANS LIEU DE CHANTIER

Ces essais devront être réalisées avec la société de levage ou les équipes techniques de l'armée dans le cadre d'un accord avec la Marine. En fonction du lieu de stockage pour les travaux de restauration, une étude devra être réalisée pour le convoi exceptionnel par camion et l'utilisation des supports de transport préalablement réalisés d'après les plans d'origine.

13.1.7. MONTAGE ECHAFAUDAGE, BACHE INSTALLATION SYSTEME DEPRESSION

Réalisation par une entreprise spécialisée dans les travaux de peinture

13.1.8. SABLAGE,

Réalisation par une entreprise spécialisée dans les travaux de peinture

13.1.9. TRAVAIL DE CHAUDRONNERIE

Travaux réalisés par une entreprise de chaudronnerie. Il est à noter que le coût de cette prestation peut varier en fonction de ce qui sera découvert à la suite du sablage par l'entreprise de peinture. Les premières estimations se basent sur les observations visuelles actuelles.

13.1.10. AVIVAGE ET MISE EN PEINTURE 1^{ER} COUCHE ET SYSTEME COMPLET

Réalisation par une entreprise spécialisée dans les travaux de peinture

13.1.11. TRANSPORT DU SOUS-MARIN (PAR BARGE OU TRANSPORT EXCEPTIONNEL CAMIONS)

Ce transport devra être réalisé avec la société de levage ou les équipes techniques de l'armée dans le cadre d'un accord avec la Marine en utilisant les supports d'origine et idéalement un convoi exceptionnel par camion

13.1.12. REPOSE ET INSTALLATION DU SOUS-MARIN SUR SON NOUVEAU SOCLE ET RETOUCHE DE PEINTURE

Ce transport devra être réalisé avec la société de levage ou les équipes techniques de l'armée dans le cadre d'un accord avec la Marine.

ANNEXES

ANNEXE 1 :	Archives provenant du Service Historique de la Défense	(Page A-1)
ANNEXE 2 :	Fiche de diagnostic sur site 2025 et notice indicative des photographies.	(Page A-11)
ANNEXE 3 :	Rapport photographique comparatif de l'état de conservation entre les missions 2007 - 2018	(Page A-21)

ANNEXE 1

Archives du bathyscaphe FNRS III et devis de poids.

Plan palonnier

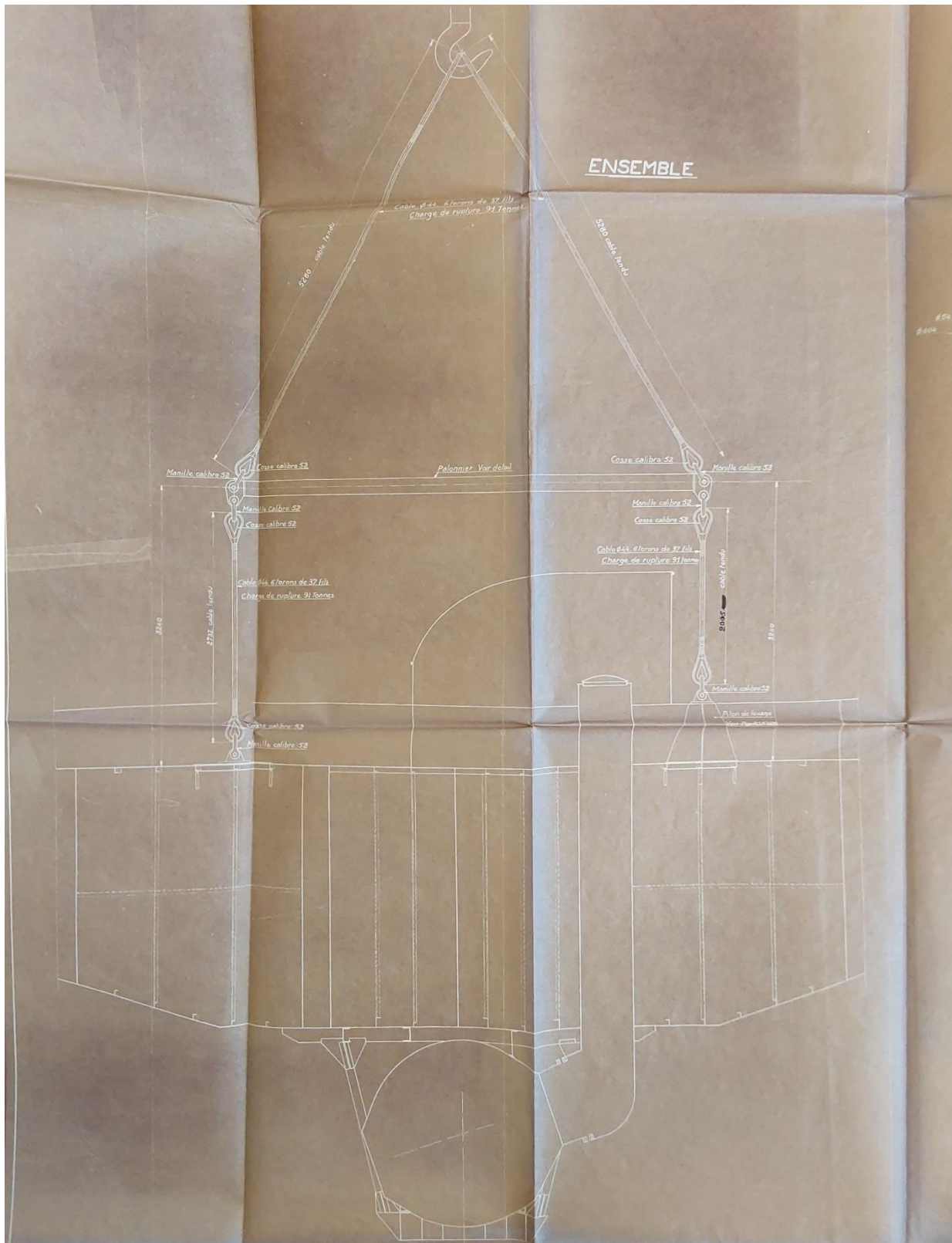
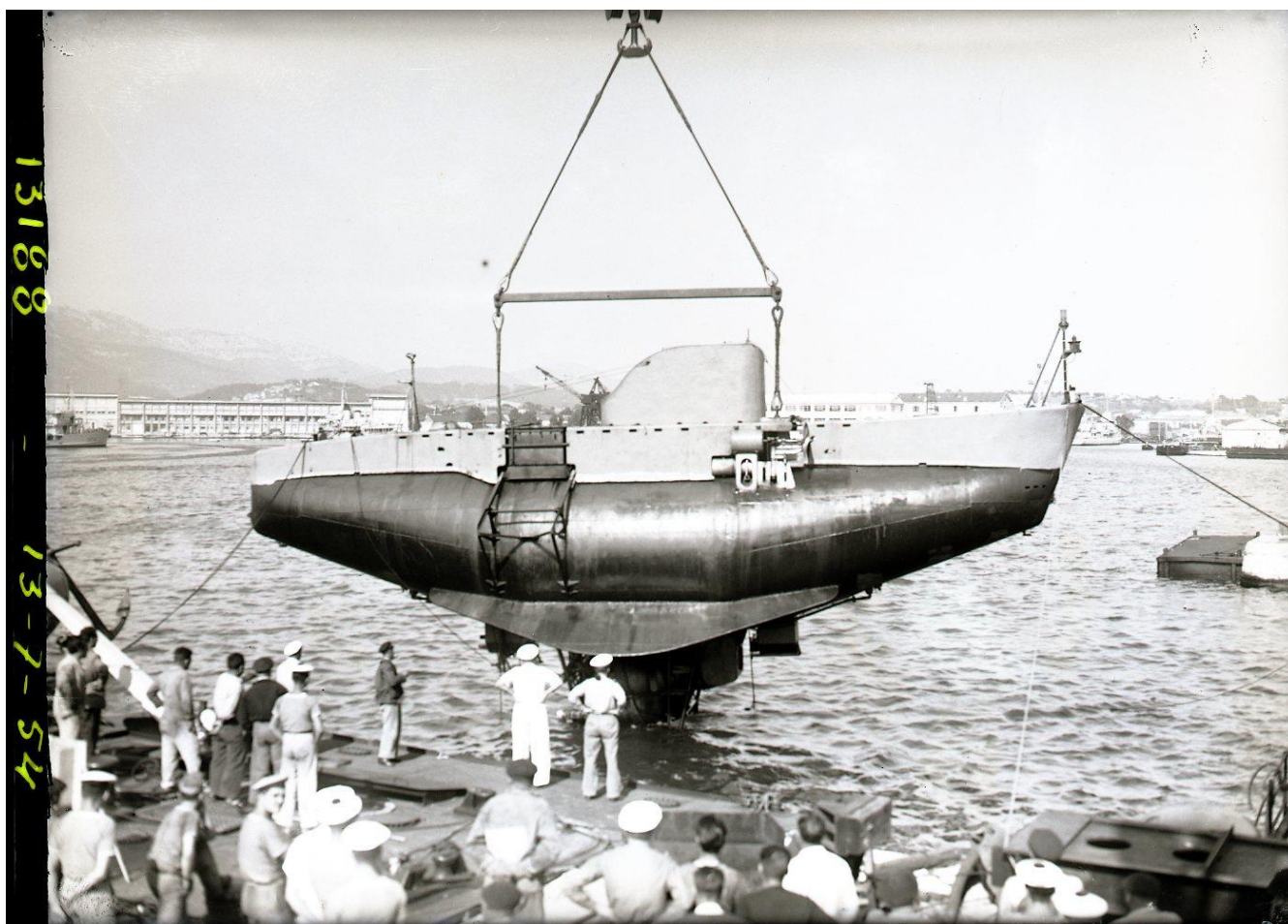


Figure 60: archives pour la construction d'un palonnier calculé pour soulever le bâtiment dans la situation suivante : sans essence, sans eau dans le sas, sans batteries et sans lest en grenaille, ce qui correspond à un poids de 30T500.



Ensemble. Vue longitudinale

Technical drawing showing the longitudinal view of a ship's hull structure. The drawing includes various components and dimensions:

- Components:**
 - Piton d'ellingage R
 - Clouche R
 - 2400
 - Triangle V plan spécial
 - Manille cal 30
 - 7792
 - Carlingasse mètre
 - Piton d'ellingage N
 - Clouche N
 - 2525
 - PPAV
 - Sangle V plan spécial
 - Boulevard de 40
 - Piton V plan spécial
 - Cable acier de Ø25,1
 - Cable acier de Ø25,1
 - Cable acier de Ø25,1
 - Manille Cal 27
 - Cable acier de Ø25,1
 - Chantier de transport V plan RSM 4749
 - Ridair cal 30
 - Pont
 - Ridair cal 30
 - Manilles Cal 30
 - Ridair Cal 30
 - Manilles Cal 30
 - Étrier
 - Surbau panneau cale N°2
 - Pièce en chaîne support de la sphère
 - Étrier V plan spécial
- Dimensions:**
 - 2400
 - 2525
 - 3139

Ensemble. Vue en plan

This technical drawing shows the plan view of a hydrofoil boat assembly. The central component is the hull, labeled 'Panneau coque A/R'. It is supported by four foils, each labeled 'Pilot V plan special'. The foils are connected to the hull by 'Carlingues moteur'. The entire assembly is mounted on a 'fixe du bâtiment' (building fixture). The drawing includes various dimensions and labels for the components, such as 'Manilles col 3a' and 'Ridoirs col 3a'.

Manilles col 3a
Ridoirs col 3a
Panneau coque A/R
Carlingues moteur
fixe du bâtiment
Manilles col 3a
Ridoirs col 3a
Pilot V plan special
Manilles col 3a
Ridoirs col 3a

Diagnostic corrosion et préconisations de conservation.

Devis des poids

Désignation des parties	Poids	Distance C. de G. à H.O.	Moments par rapport à H.O.	Distance C. de G. à P.P.R.	Moments par rapport à P.P.R.	Volumes	Distance du C. de V. à H.O.	Moments par rapport à H.O.	Distance du C. de V. à P.P.R.	Moments par rapport à P.P.R.	Distance par rapport à P.P.R.	Moment
Flotteur (y compris les sas d'accès).	9,337	1,300	12,138	7,788	73,641	1,190	1,300	1,539	1,300	1,539	1,300	1,539
Superstructures.	11,305	-1,230	-13,905	7,846	88,699	3,504	-1,230	-6,770	7,846	43,184	7,846	43,184
Sphère (y compris les passages, le matériel intérieur et la bouteille d'air de 33' - 606 kg).	0,820	-1,230	-1,009	7,846	6,434	0,104	-1,230	-0,128	7,846	0,816	7,846	0,816
Charpente de fixation de la sphère	30,627	1,570	48,384	7,843	397,169	76,131	1,570	119,541	7,843	597,248	7,843	597,248
Essence (densité 0,665 à 30°)	4,300	1,040	4,480	7,805	33,123	0,573	1,040	0,596	7,805	4,472	7,805	4,472
Lest en grenaille	3,000	-0,235	-0,705	7,939	23,817	0,264	-0,235	-0,062	7,939	2,095	7,939	2,095
Lest en bloc sous la H.O. (Plomb 11,35)	1,000	1,500	1,500	7,805	7,805	0,127	1,500	0,191	7,805	0,991	7,805	0,991
Silos à lest (y compris les électros de retenue).												
Installation de remplissage, vidange et purge des tanks à essence.	0,700	3,275	2,293	8,180	5,726	0,089	3,275	0,291	8,180	0,128	8,180	0,128
Installation de largage du lest en bloc.	0,350	-0,235	-0,082	7,939	2,719	0,050	-0,235	-0,012	7,939	0,397	7,939	0,397
Batteries et câblons largables.	1,650	3,300	5,445	6,200	10,230	0,660	3,300	2,178	6,200	4,092	6,200	4,092
Installation fixe de largage des batteries.	0,300	3,300	0,990	6,200	1,860	0,038	3,300	0,125	6,200	0,236	6,200	0,236
Matériel Boîtes à relais et boîtes de jonction extérieures.	0,200	4,400	0,880	8,250	1,650	0,168	4,400	0,739	8,250	1,386	8,250	1,386
Canalisations électriques	0,150	1,526	0,229	7,887	1,183	0,030	1,526	0,046	7,887	0,237	7,887	0,237
Moteurs électriques	0,120	3,300	0,396	9,550	1,146	0,100	3,300	0,330	9,550	0,955	9,550	0,955
Projecteurs et fonderie des puits.	0,080	1,600	0,128	5,050	0,404	0,010	1,600	0,002	5,050	0,051	5,050	0,051
Lignes d'arbres, hélices, réducteurs	0,250	3,380	0,845	10,150	2,538	0,032	3,380	0,108	10,150	0,325	10,150	0,325
Guide rope (y compris l'électro)	0,400	-2,470	-0,988	7,846	3,138	0,080	-2,470	-0,198	7,846	0,628	7,846	0,628
Manœuvre du sas et surbau de la sphère (y compris les presses à huile de manœuvre et les sectionnements de remplissage, chasse et purge d'air).	0,400	-0,860	-0,344	9,000	3,600	0,050	-0,860	-0,043	9,000	0,450	9,000	0,450
Eau contenue dans le sas (densité 1,022)	3,464	1,030	3,637	9,500	32,908	3,389	1,030	3,558	9,500	32,196	9,500	32,196
Appareils de remorquage (croc d'écubier)	0,065	3,632	0,240	12,307	0,813	0,008	3,630	0,030	12,307	0,099	12,307	0,099
						88,788	1,386	123,7029	7,901	701,518	7,901	701,518
Disponible de Construction	0,523	1,146	0,600	7,901	4,132							
	90,741	1,146	103,792	7,901	716,7945	90,741	1,386	125,7167	7,901	716,7945	7,901	716,7945
<u>2^{ème} cas - Totalité du lest en grenaille -</u>												
Bâtiment avec lest en grenaille et en bloc	90,741	1,146	103,792	7,901	716,7945	88,788	1,386	123,7029	7,901	701,518	7,901	701,518
Lest en grenaille	4,500	1,040	4,680	7,805	35,123	0,573	1,040	0,596	7,805	4,472	7,805	4,472
Lest en bloc	3,000	-0,235	-0,705	7,939	23,817	0,264	-0,235	-0,062	7,939	2,095	7,939	2,095
Disponible de Construction	0,523	1,146	0,600	7,934	4,132							
Bâtiment sans lest et sans disponible	82,718		99,417		653,873	87,951	1,393	122,495	7,902	694,951	7,902	694,951
Totalité du lest en grenaille	7,500	1,312	9,840	7,805	58,538	0,955	1,312	1,259	7,805	7,549	7,805	7,549
	90,218	1,211	109,257	7,896	712,411	88,906	1,392	123,754	7,902	702,500	7,902	702,500
Disponible	0,577	1,211	0,699	7,902	4,559							
Lest de réglage d'assiette	0,067	1,700	0,114	15,300	1,025							
Bâtiment avec la totalité du lest en grenaille.	90,862	1,211	110,070	7,902	717,995	90,862	1,392	126,7480	7,902	717,995	7,902	717,995

Figure 66: Devis de poids, 17 décembre 1951

Report sur plan des sondages de la coque du flotteur effectués par perçage le 14/12/1959

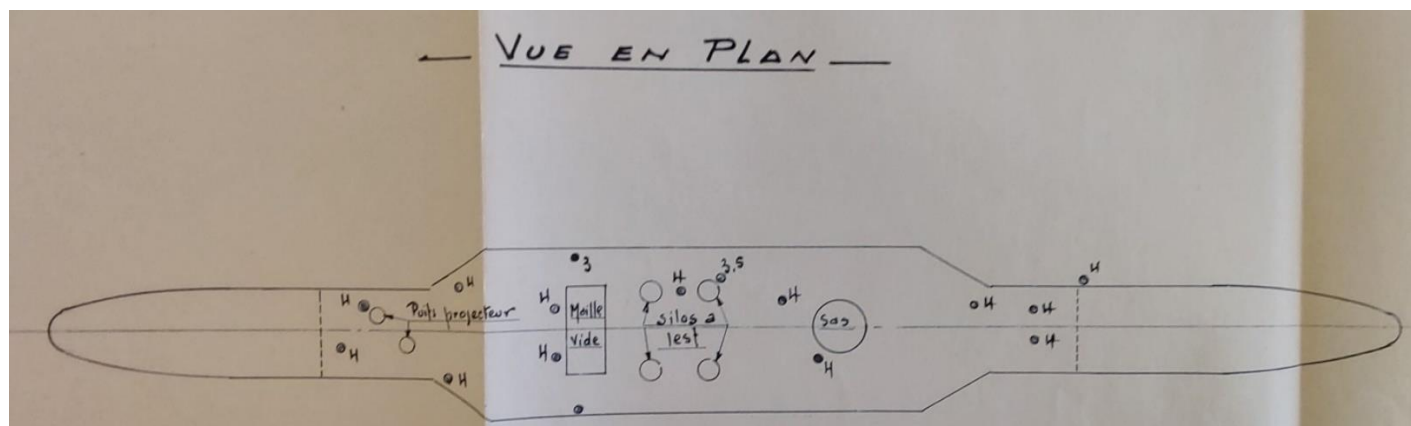


Figure 67: zone de perçage vue en plan

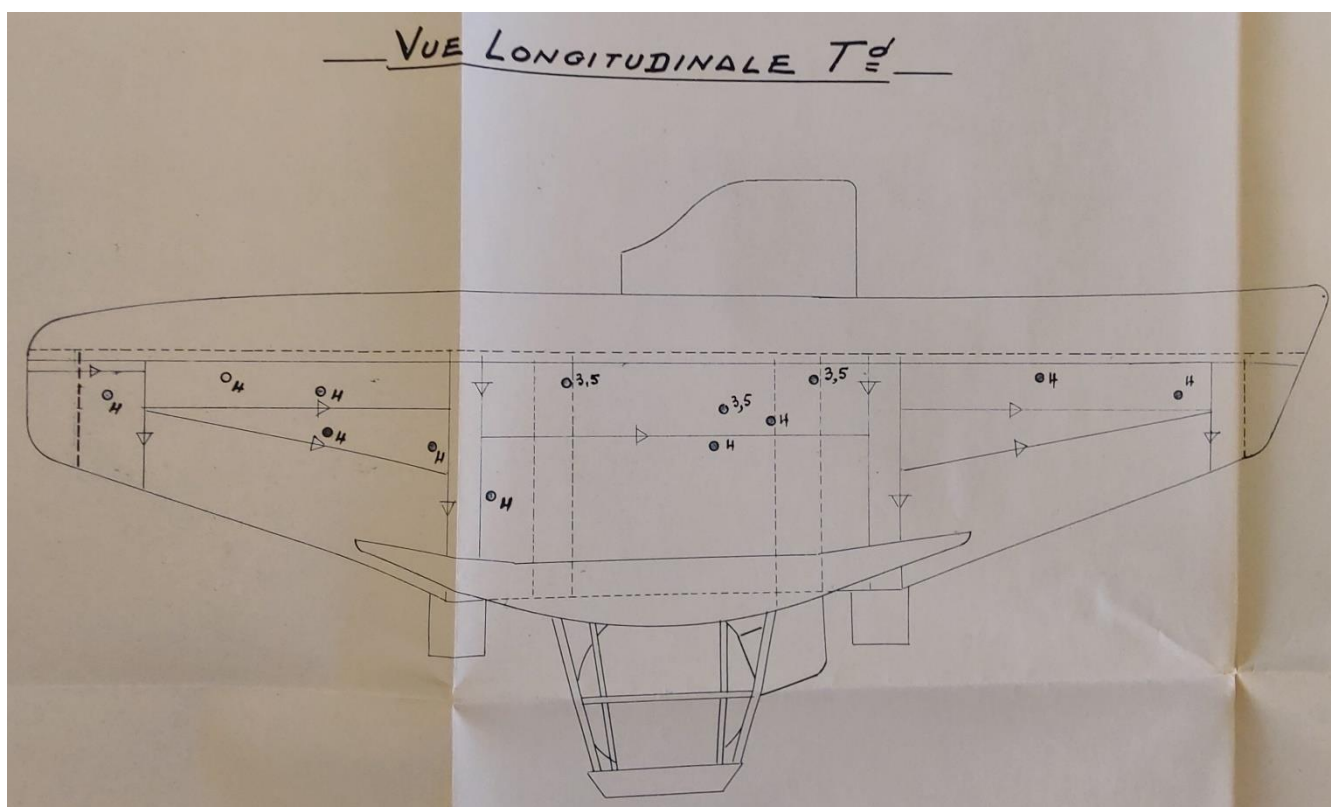


Figure 68: zone de perçage vue longitudinale tribord

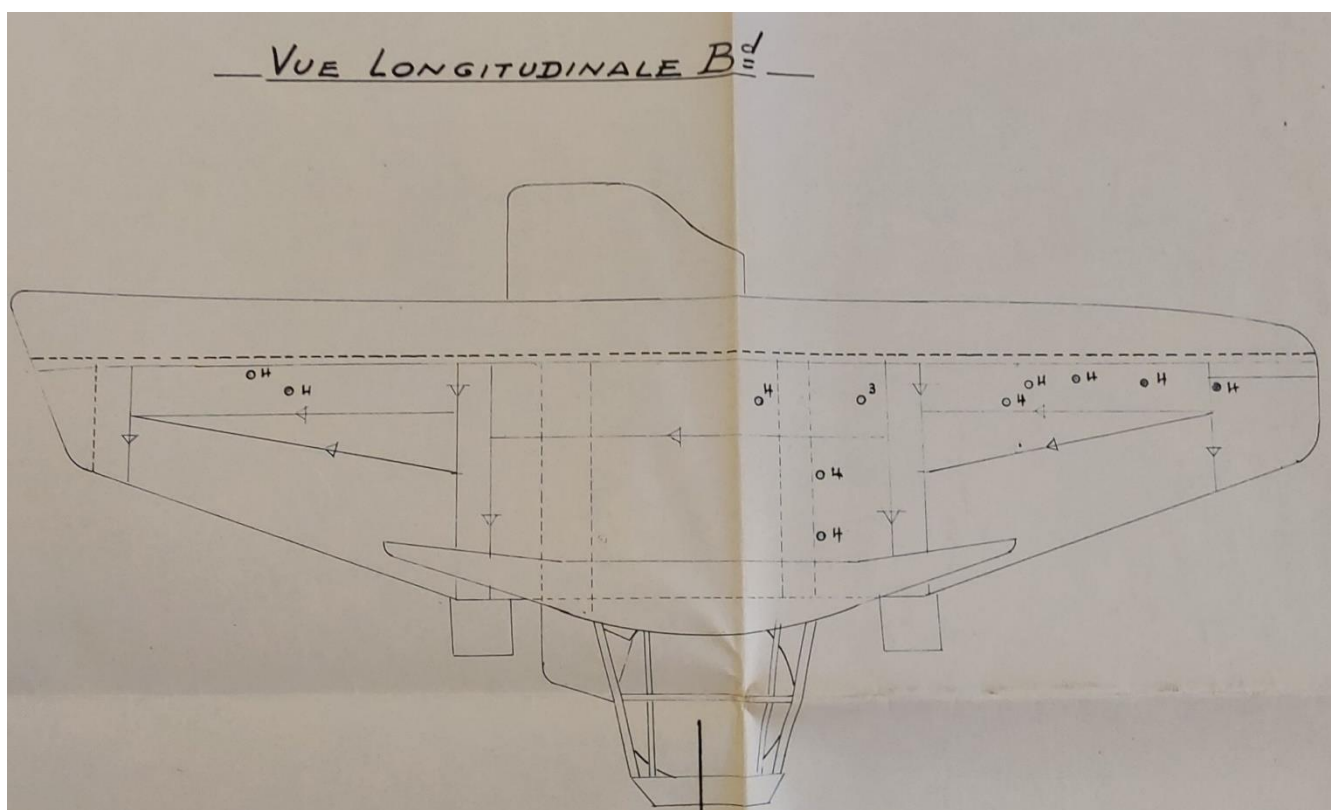


Figure 69: zone de perçage vue longitudinale babaord

Relevé des différentes zones de peintures

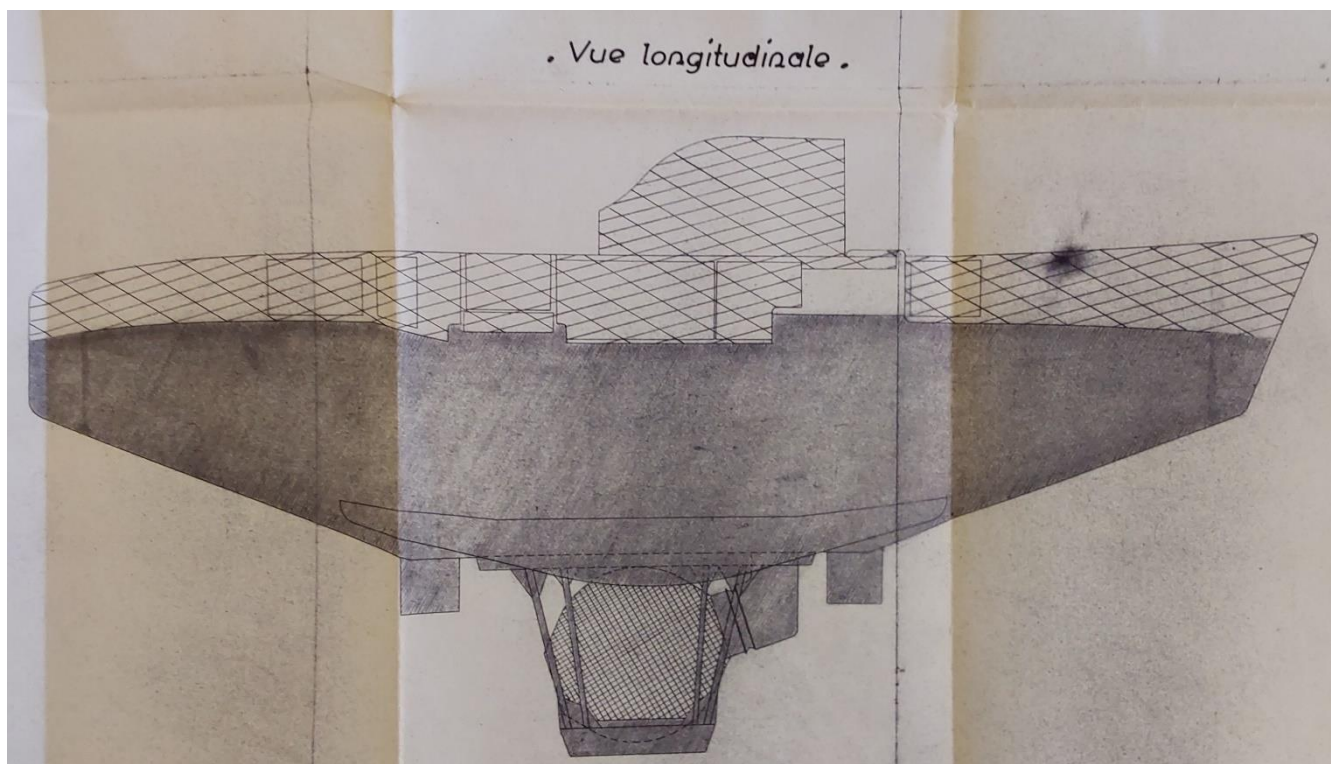


Figure 70: système de peinture appliquée à l'extérieur

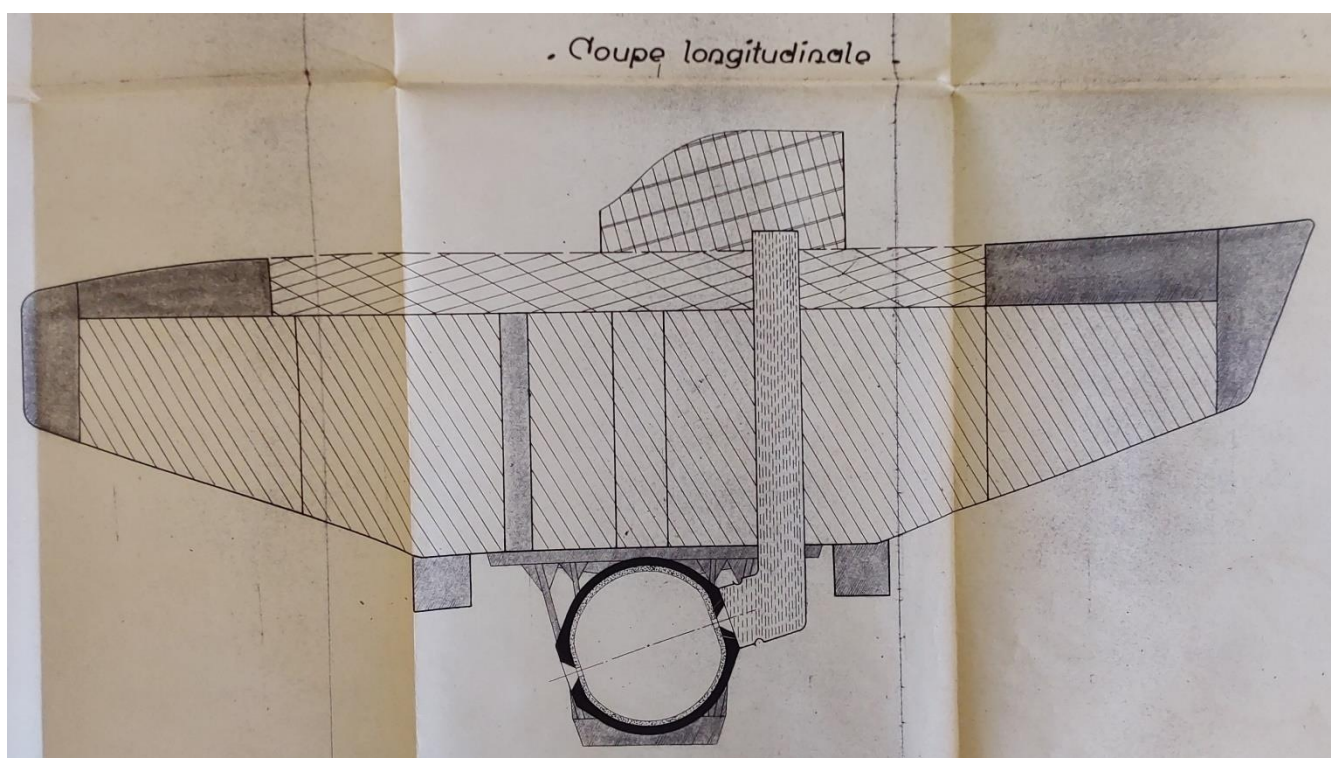


Figure 71: système de peinture appliqué à l'intérieur

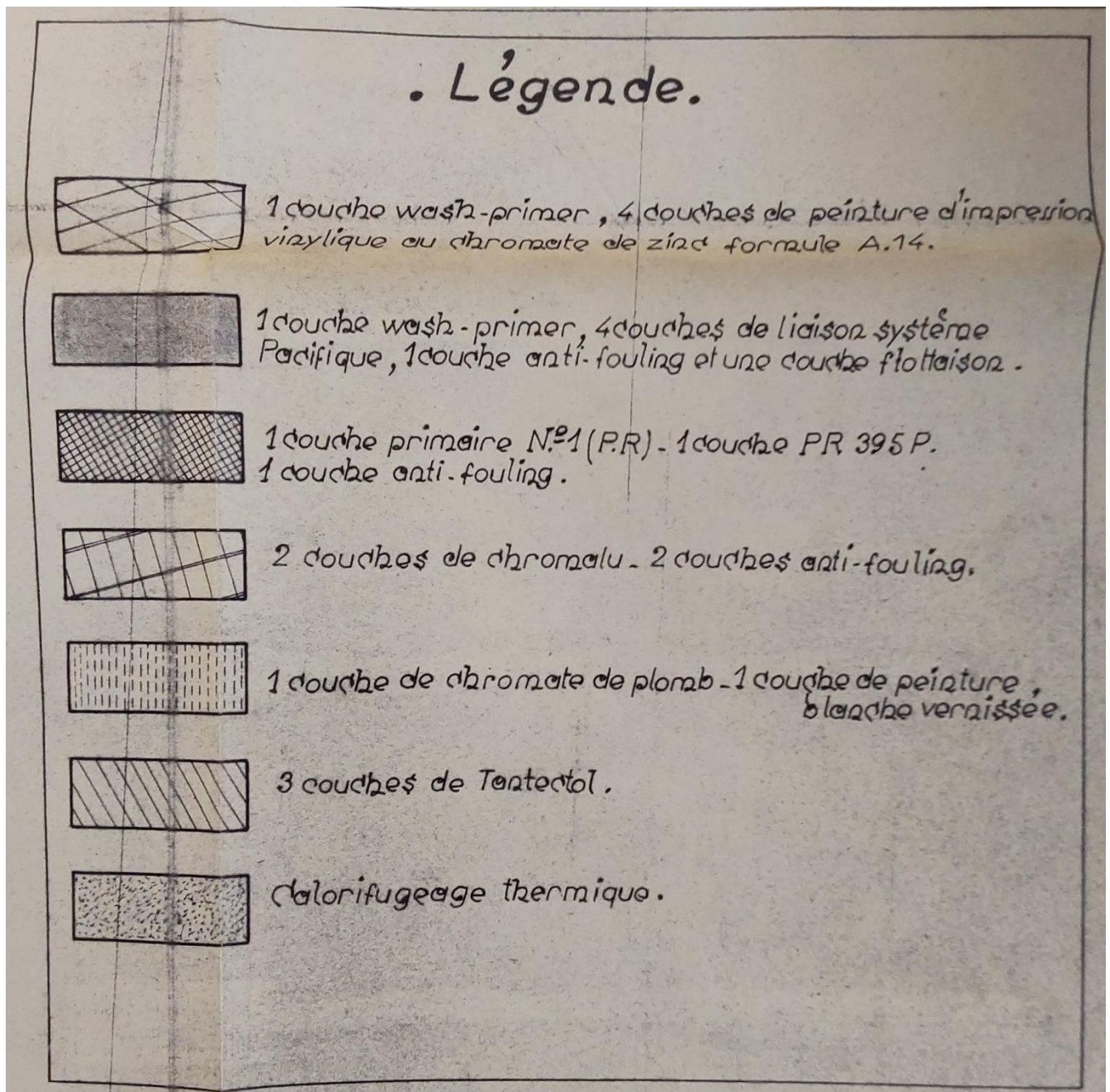
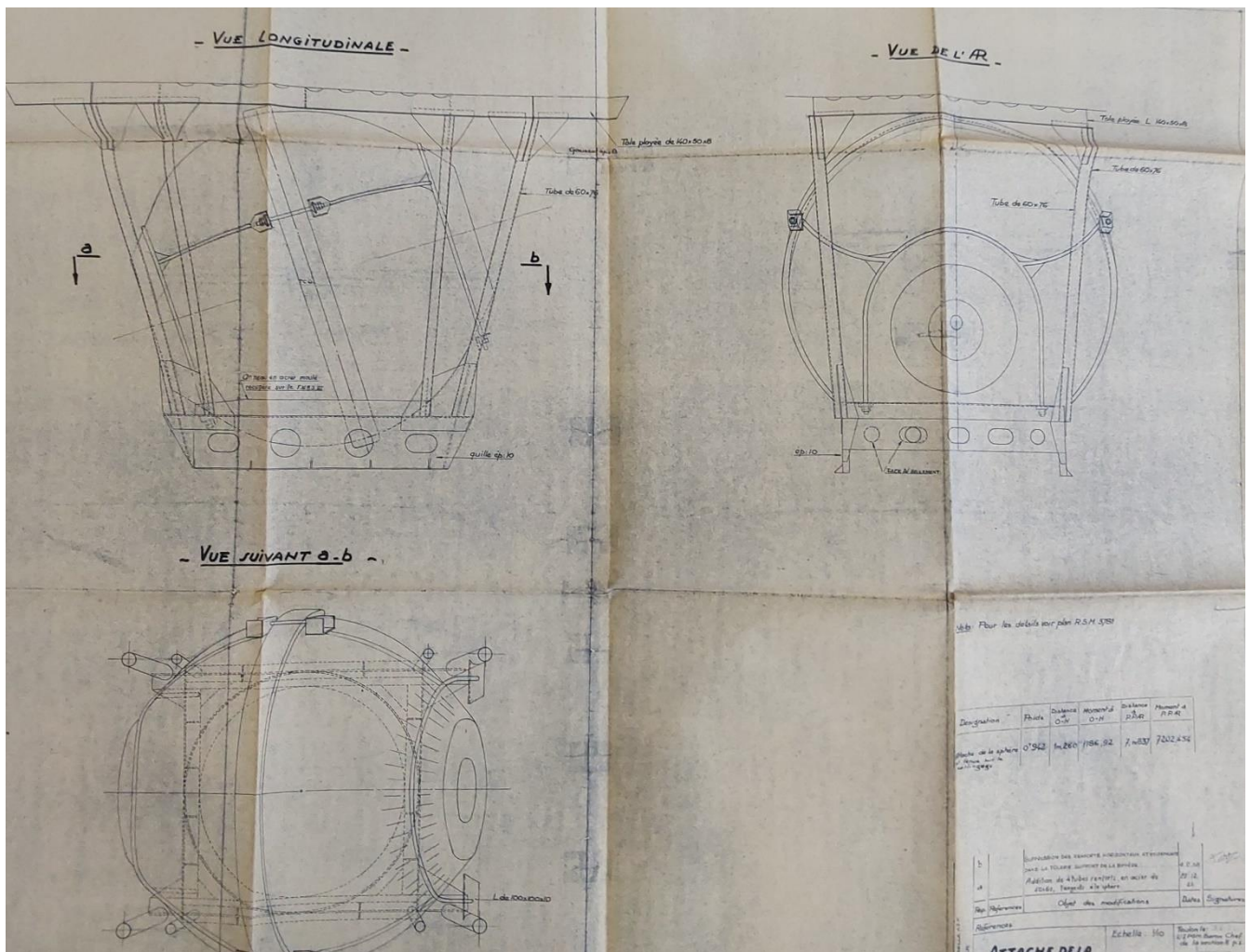


Figure 72: légendes des peintures utilisées

Plan de la structure de la Sphère



ANNEXE 2

Fiche de diagnostic sur site 2018 et notice indicative des photographies.

ELEMENT	DESCRIPTION / COMMENTAIRE
Vues générales	Vues d'ensemble depuis différents angles.
Proue (Voir aussi la rubrique « Flotteur »)	Zone de décollement de peinture sur petite tôle rectangulaire côté tribord résultant d'une corrosion sous peinture (Cf. 8806). Perforation importante au niveau d'une tôle trapézoïdale côté bâbord (Cf. 8805). Résultat possible d'une corrosion depuis l'intérieur du flotteur.
Poupe (Voir aussi la rubrique « Flotteur »)	Grandes zones avec écaillage de peinture avec reprise de peinture et sans véritable corrosion du substrat (Cf. 8827). Importante corrosion perforante dans l'axe du flotteur en partie basse au niveau de deux tôles (Cf.8817). Résultat possible d'une corrosion depuis l'intérieur du flotteur.
Flotteur (Côté bâbord)	A priori les tôles constitutives du flotteur (partie peinte en rouge brique) sont en acier galvanisé comme en témoigne certaines photos (Cf. 8687/8699). Nombreuses zones présentant un cloquage ou un écaillage de la peinture (Cf. 8697). Certaines zones ont fait l'objet de reprise de peinture (Cf. 8705) sans grand résultat (Cf. 8684/8685/8681). Zones de corrosion sous peinture (Cf. 8665) et amorce de corrosion foisonnante au niveau des points de fixation sur le flotteur des rails de guidage pour le largage des batteries (Cf. 8678).
Flotteur (Côté tribord)	Zones de cloquage et d'écaillage moins nombreuses que côté tribord. Quelques zones tout-de-même avec corrosion du substrat notamment à la frontière avec le pont (partie peinte en jaune) (Cf. 8760). Localement on constate une corrosion foisonnante assez importante. C'est le cas notamment au niveau des points de fixation sur le flotteur des rails de guidage pour le largage des batteries (Cf. 8783). Une corrosion perforante a été observée en pleine tôle au droit du bloc hélice à environ un mètre du stabilisateur (Cf. 8724). Grosse zone de corrosion perforante en partie basse à l'avant (Cf. 8809)
Stabilisateur bâbord	A priori les tôles constitutives des stabilisateurs sont en acier galvanisé (Cf. 8835). La face supérieure présente des zones de corrosion sous peinture générant un cloquage et un écaillage de la peinture (Cf. 8672). La sous-face du stabilisateur est surtout atteinte au niveau de sa bordure du fait des écoulements, de la pénétration et de la stagnation d'eau (Cf. 8824). Sinon, on peut constater des grandes zones d'écaillage sans corrosion (Cf. 8835).
Stabilisateur tribord	Dégradation très importante de l'ensemble de la face supérieure avec corrosion foisonnante importante et perforation de la tôle (Cf. 8712/8779/8794). La sous-face du stabilisateur est surtout atteinte au niveau de sa bordure du fait des écoulements, de la pénétration et de la stagnation d'eau (Cf. 8811).
Pont avant (ce qui est peint en jaune)	La trappe mentionnée dans le rapport de 2007 est tombée à l'intérieur du pont (Cf. 8754), les charnières ayant été totalement détruites par la corrosion. Des dégradations similaires affectent les charnières et le verrou de la trappe située à bâbord.
Pont arrière ((ce qui est peint en jaune après la baignoire)	On constate une corrosion feuilletante importante sur les nombreuses charnières et verrous ainsi que sur les systèmes de fermeture des couvercles des blocs batterie et les autres éléments fixés sur le pont

ELEMENT	DESCRIPTION / COMMENTAIRE
	(Cf. 8588/ 8592). En certains points la corrosion a conduit à la perforation (Cf. 8593/8602).
Baignoire	La baignoire est en acier galvanisé (Cf. 8735). Ecaillage face interne sans corrosion importante (Cf. 8734). Quelques points de corrosion sur les parties internes mais sans gravité apparente (Cf. 8574/8737/8738). Points de corrosion sur la face externe et à la jonction avec le pont (Cf. 8746).
Bloc batterie bâbord	Cf. commentaires sur le pont concernant la dégradation des systèmes de fermeture des couvercles (Cf. 8586/8587/8616).
Bloc batterie tribord	On constate également de la corrosion feuilletante sur l'enveloppe des bocs et aux interstices (Cf. 8620/ 8768).
Bloc hélice bâbord	Corrosion sous peinture avec un état de dégradation général globalement plus prononcé sur le bloc tribord (Cf. 8642/8749/8722)
Bloc hélice tribord	
Caisson à grenaille avant	Eléments fortement touchés par une corrosion feuilletante sous peinture (Cf. 8962/8989/8982/8986/8907).
Caisson à grenaille arrière	
Sas d'entrée dans la sphère	
Sphère et structures connexes	Forte corrosion du dessous + consommation de nombreuses agrafes (Cf. 8997/9002). Forte corrosion des tubes de la structure support (Cf. 8950/8953). Les mesures d'épaisseurs réalisées sur les tubes indiquent une perte d'épaisseur moyenne de l'ordre de 20% (Cf. 8951/8952) et une perte maximale d'environ 40% (attention mesures ponctuelles sur parties jugées caractéristiques de l'état des tubes) (Cf. 8959 à 8961) . Idem sur gousset aux extrémités des tubes (Cf. 8911). Perte d'épaisseur de l'ordre de 30% sur le socle ajouré présent sous la sphère (Cf. 8995).
Support béton avant	Ecaillage de la peinture (Cf. 8842). Présence de petits éclats avec corrosion des armatures (Cf. 8841). Présence d'épaufrures (Cf. 8844).
Support béton arrière	Ecaillage de la peinture (Cf. 8854). Faïençage, fissuration légère (Cf. 8853).

ANNEXE 3

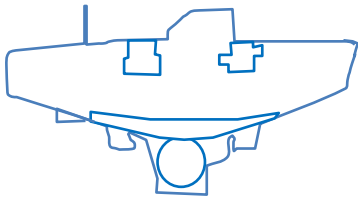
Rapport photographique comparatif de l'état de conservation entre les missions 2007 – 2018 et 2025.



Figure 73 : vue générale du Bathyscaphe à la livraison de sa restauration en juin 2005 (cf rapport A-CORROS R009)



Figure 74: vue générale du Bathyscaphe en janvier 2025.



1. Bathyscaphe, vues générales

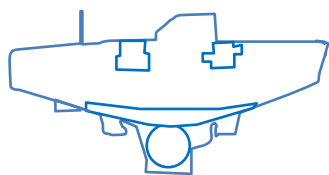
Figures 6 et 7 : Vues générales du flanc tribord



Figure 75 : flanc tribord en 2007 (gauche) et 2018 (droite)



Figure 76 : flanc tribord en 2025



1. Bathyscaphe, vues générales

Figures 8 et 9 : Vues générales du flanc tribord



Figure 77 : flanc tribord, $\frac{3}{4}$ avant en 2007(gauche) et 2018 (droite)

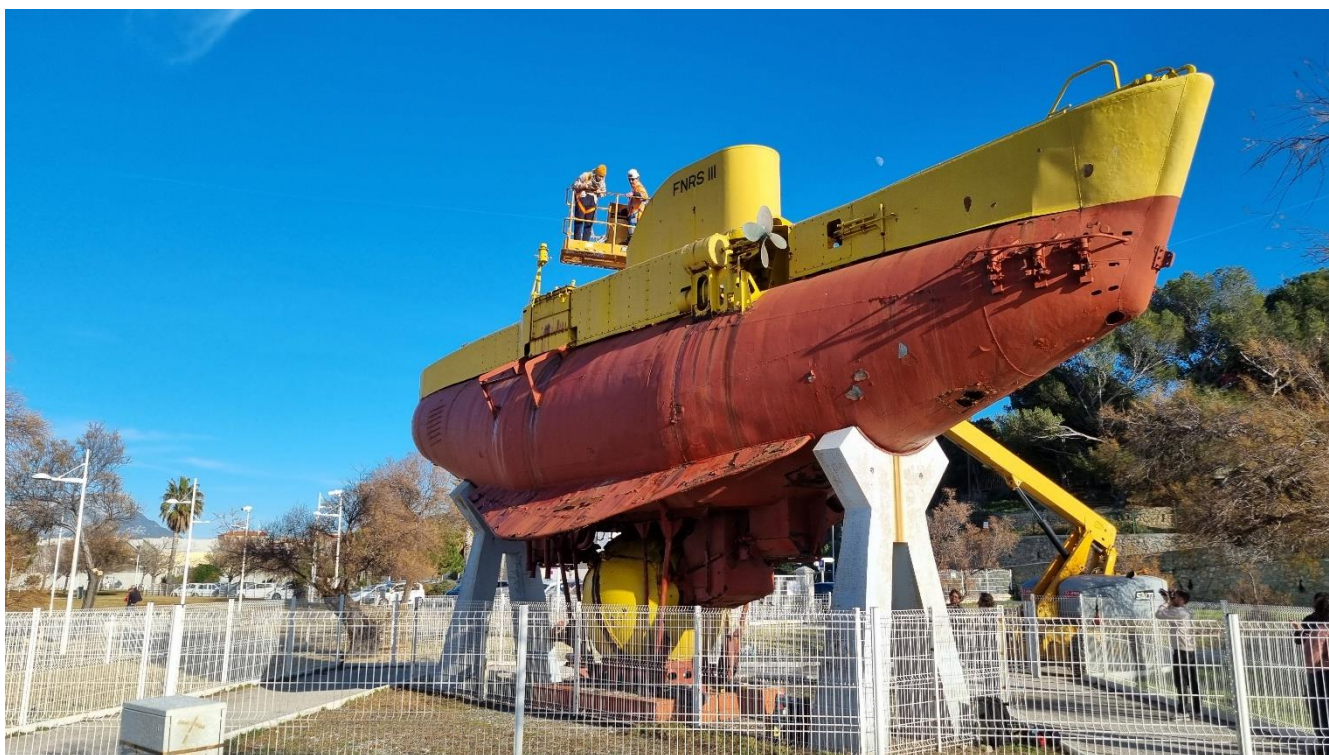
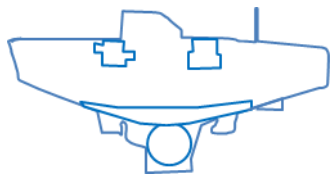


Figure 78 : flanc tribord en 2025



1. Bathyscaphe, vues générales

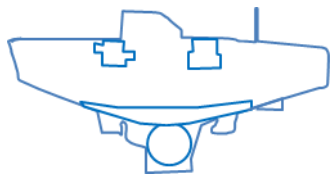
Figures 10 et 11: Vues générales du flanc bâbord



Figure 79 : flanc bâbord avant en 2007(gauche) et 2018 (droite)



Figure 80 : flanc bâbord en 2025



1. Bathyscaphe, vues générales

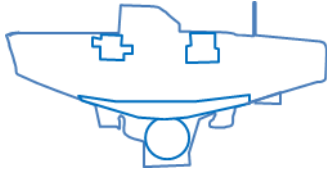
Figures 12 et 13 : Vues générales du flanc bâbord



Figure 81 : Flanc bâbord légèrement arrière en 2007 (gauche) et 2018 (droite)



Figure 82 : Flanc bâbord légèrement arrière en 2025



1. Bathyscaphe, vues générales

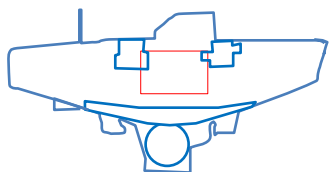
Figures 14 et 15 : Vues générales du flanc bâbord



Figure 83 : Flanc bâbord en 2007 (gauche) et 2018 (droite)



Figure 84 : Flanc bâbord en 2025



2. La carène, vues générales

Figures 16 et 17 : Vues générales de la remise en peinture

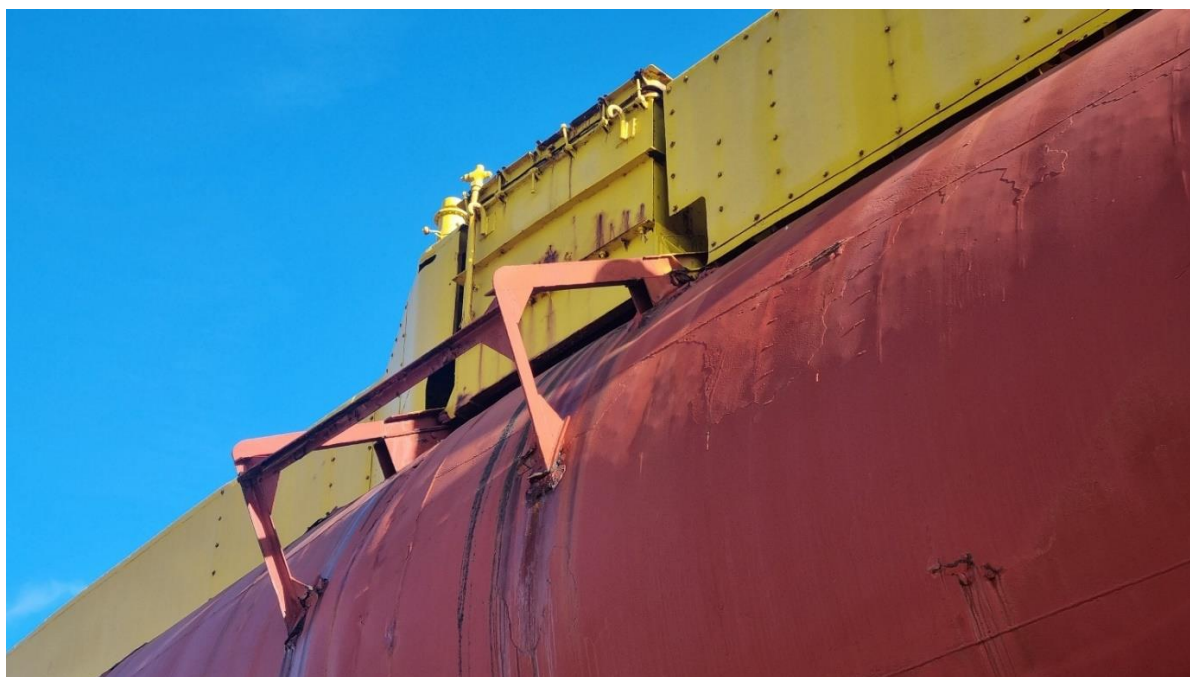
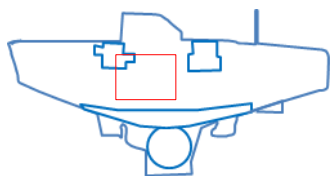


Figure 85 : carène tribord, avec charriot de chargement des batteries en 2007(haut) et 2025 (bas)



Figure 86 : *carène bâbord, avec charriot de chargement des batteries en 2018(haut) et 2025 (bas)*



2. La carène

Détail de la carène immédiatement après rere mise en peinture (2007) et en 2025

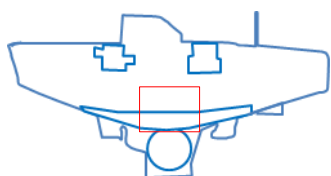


Figure 87 : Carène bâbord en 2007(haut) et 2025 (bas)





Figure 88 vue générale de bâbord en 2018 (haut) et 2025 (bas)



2. La carène, vues générales

Détails de zones après la remise en peinture de 2007 et en 2025

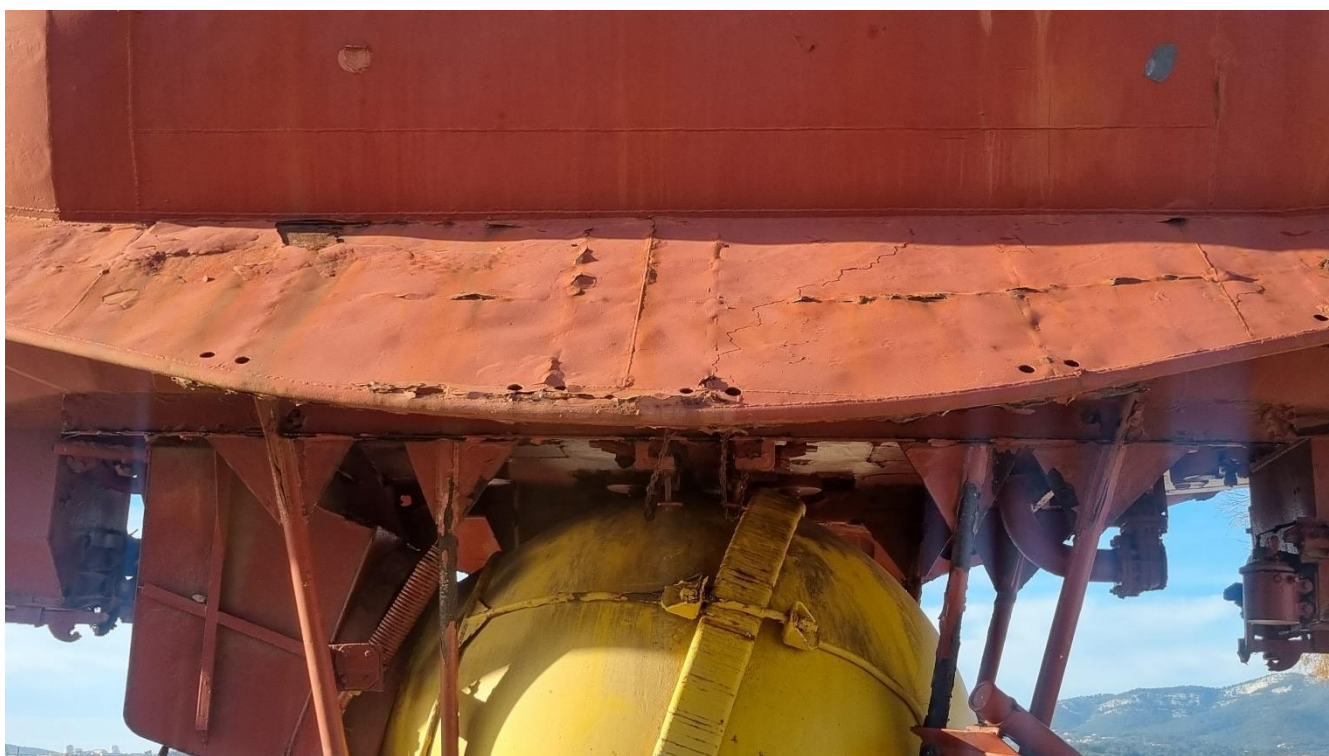
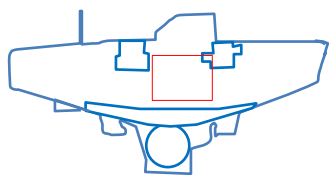


Figure 89 : *photographies, carène et stabilisateur bâbord (2007 – 2025)*



Figure 90 : *photographies (2018 - 2025)*



2. La carène, vues générales

Vues générales après la remise en peinture en 2007, puis séquence de vieillissement 2018 et 2025

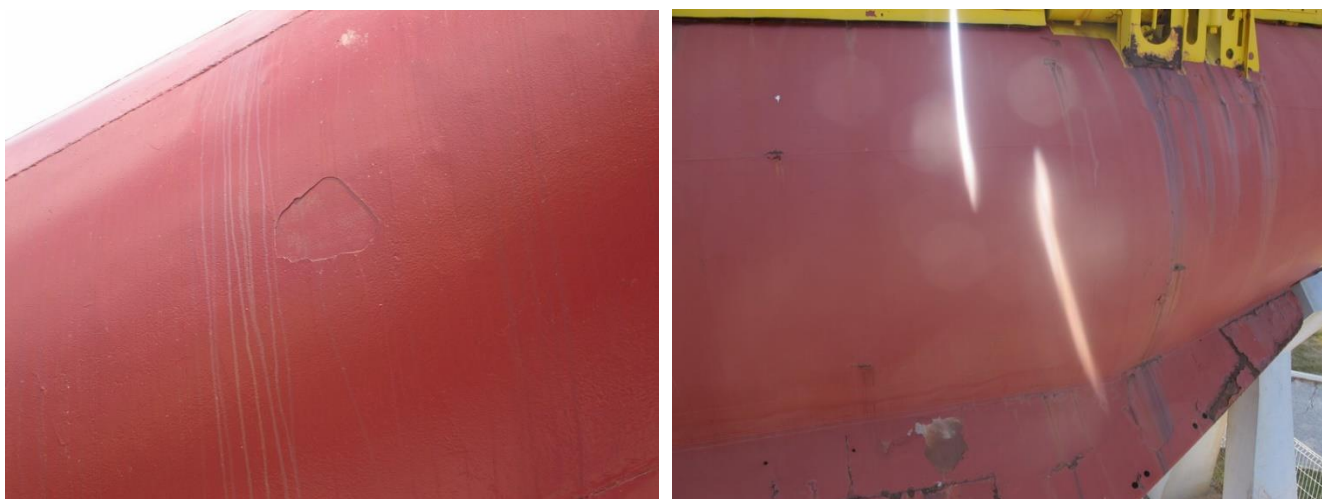


Figure 91 : *carène tribord en 2007 (gauche) et 2018 (droite)*



Figure 92 : *Carène tribord et une partie du stabilisateur tribord en 2025*



2. La carène, vues générales

Vues générales des soudures en sous-face de carène, côté poupe



Figure 93 : *Dessous de carène, côté poupe en 2007 (gauche) et 2018 (droite)*



Figure 94 : *Dessous de carène, côté poupe en 2025*



2. La carène, vues générales

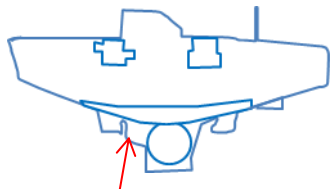
Vues générales des soudures et tôles



Figure 95 : *Dessous de carène, bâbord en 2007 (gauche) et 2018 (droite)*



Figure 96 : *Dessous de carène, bâbord en 2025*



2. La jonction carène / sphère

Eléments techniques au-dessus de la sphère



Figure 97 : Dessous de carène, au-dessus de la sphère, détail corrosion en 2007 (gauche) et 2018 (droite)

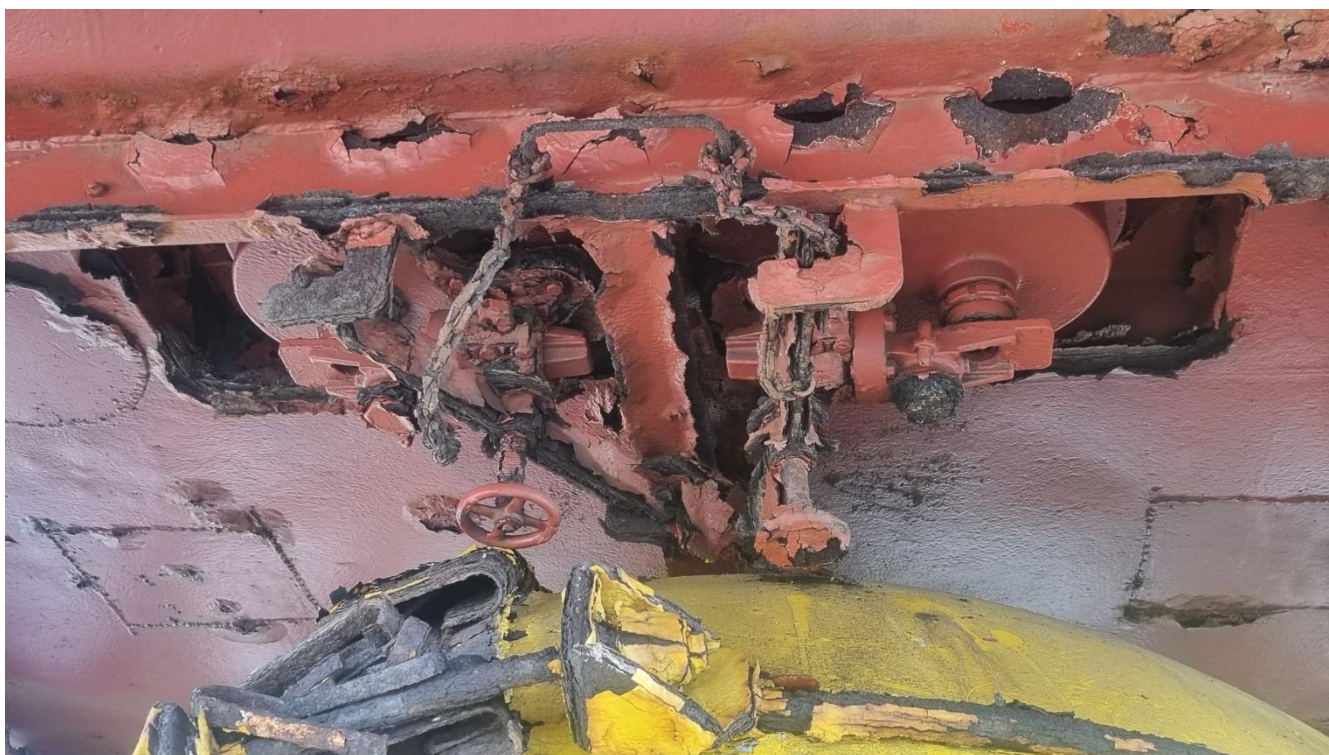
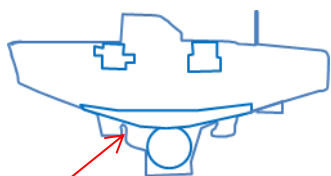


Figure 98 : Dessous de carène, au-dessus de la sphère, détail corrosion en 2025



2. La jonction carène / sphère

Eléments techniques au-dessus de la sphère

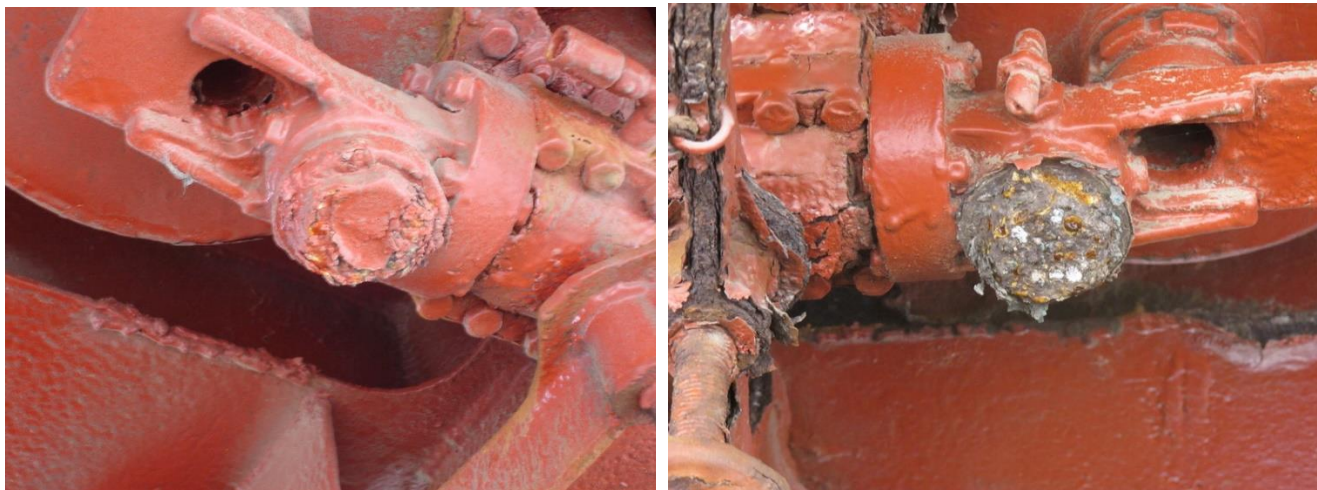
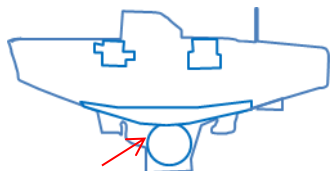


Figure 99 : *Dessous de carène, au-dessus de la sphère, détail de corrosion sur boulonnerie 2007 – 2018*



Figure 100 : *Dessous de carène, au-dessus de la sphère, détail de corrosion sur boulonnerie 2025*



2. La jonction carène / sphère

Corrosion des ressorts / amortisseurs

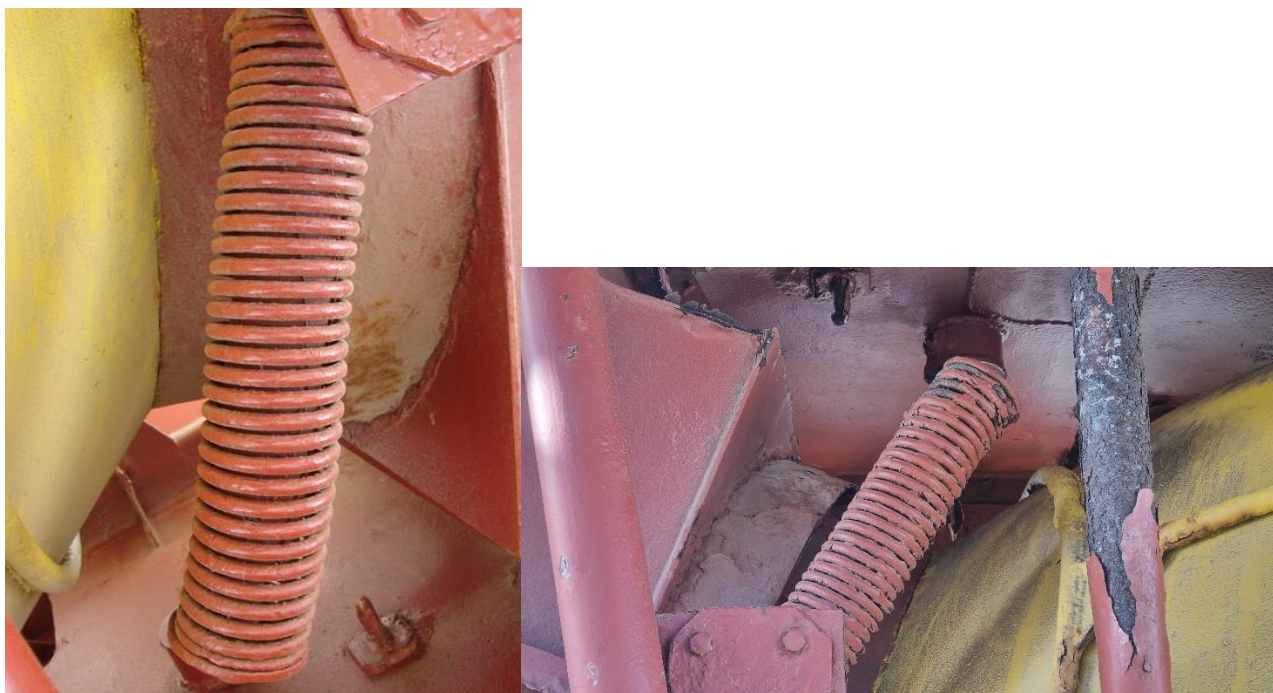


Figure 101 : Amortisseur bâbord, côté sas d'entrée dans la sphère 2007 (gauche) et 2018 (droite)

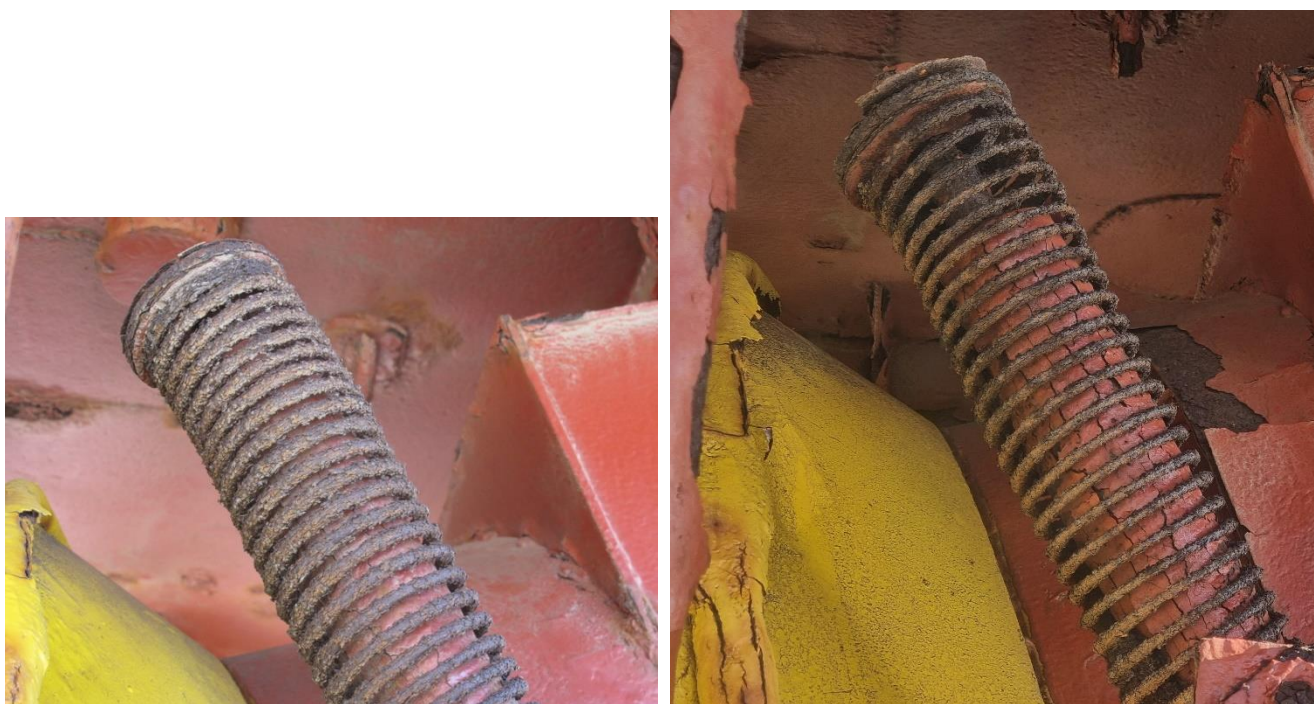
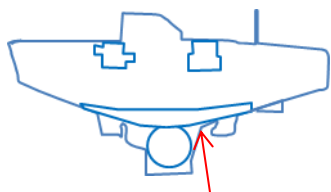


Figure 102 : Amortisseur tribord en 2025



2. La carène

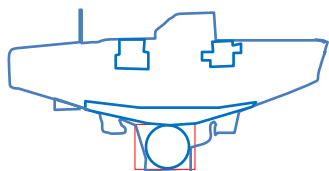
Bas de carène et poutraison de support de sphère



Figure 103 : *Bas de carène tribord et poutraison de la sphère en 2007 (gauche) et 2018 (droite)*



Figure 104 : *Bas de carène tribord et poutraison de la sphère en 2025*



3. La sphère

Vues générales de la sphère



Figure 105 : Sphère, vue depuis tribord arrière en 2007 (gauche) et 2018 (droite)

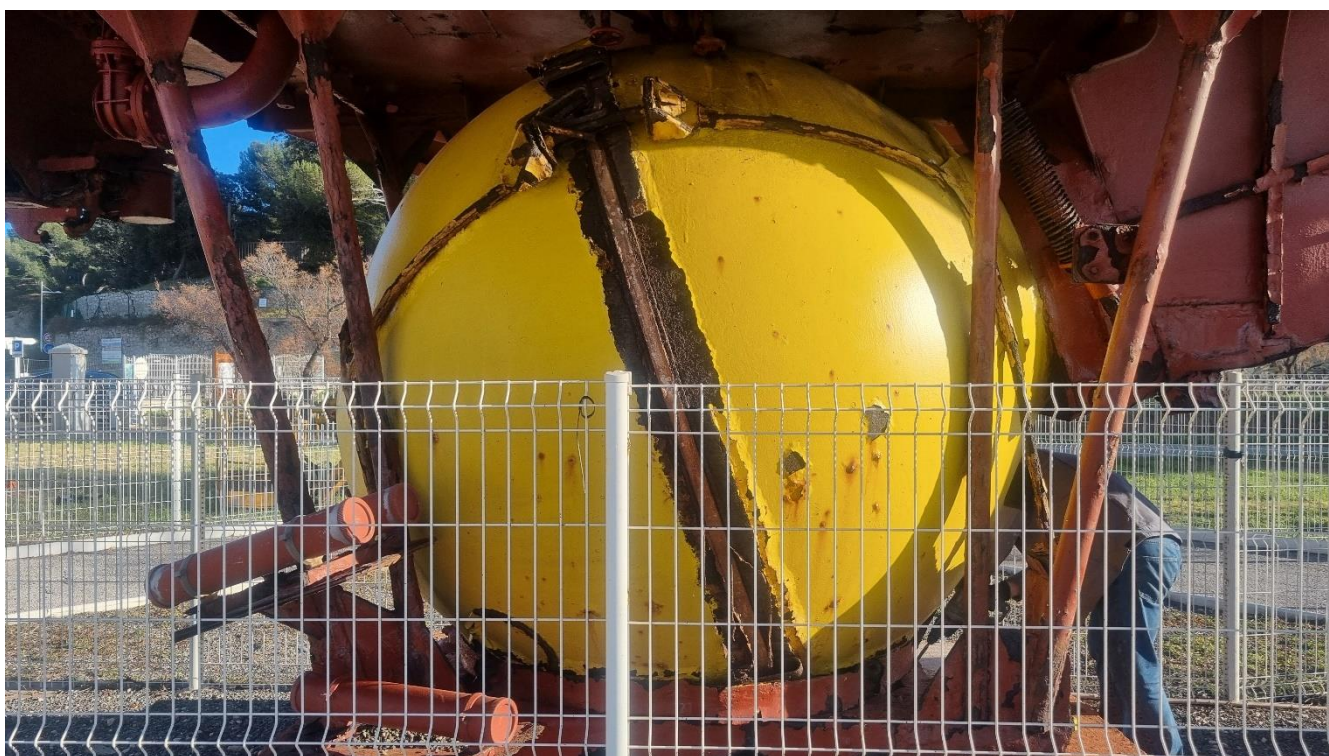
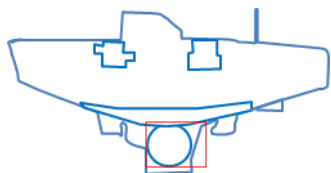


Figure 106 : Sphère, vue depuis tribord arrière en 2025



3. La sphère

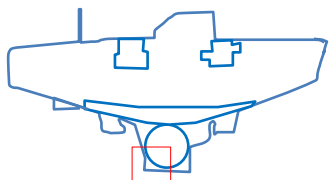
Vues générales



Figure 107 : Sphère, vue depuis bâbord arrière en 2007 (gauche) et 2018 (droite)



Figure 108 : Sphère, vue depuis bâbord arrière en 2025



3. La sphère

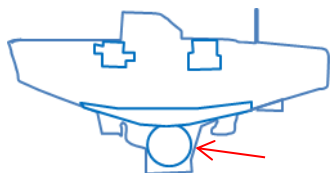
Figures 50 et 51 : vues générales



Figure 109 : Détail des projecteurs tribord en 2007 (tubes PVC)



Figure 110 : Détail des projecteurs tribord en 2025



3. La sphère

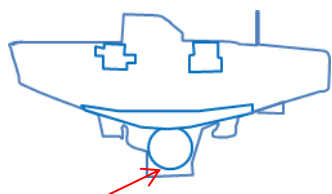
Vues générales



Figure 111 : Sphère, détail du hublot en 2018



Figure 112 : Sphère, détail du hublot en 2025



3. La sphère

Corrosion de la partie basse de la sphère

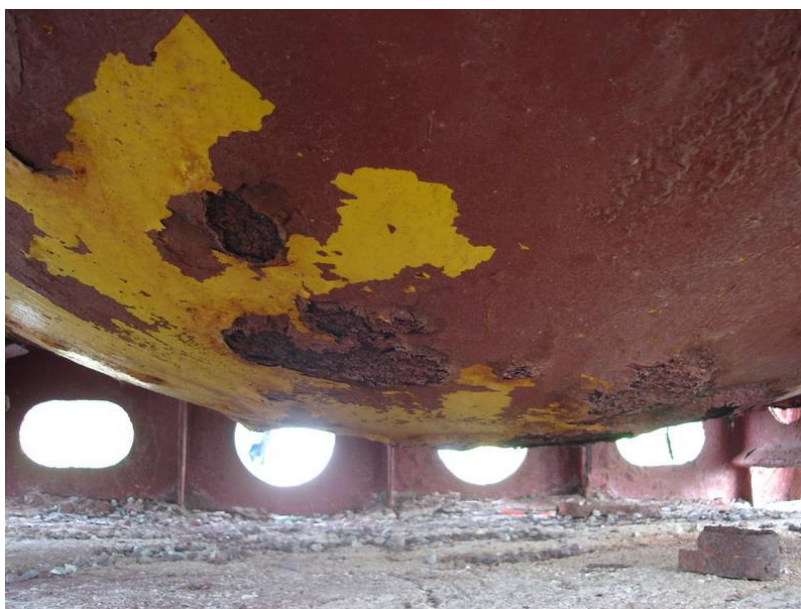


Figure 113 : Partie basse de la sphère en 2007

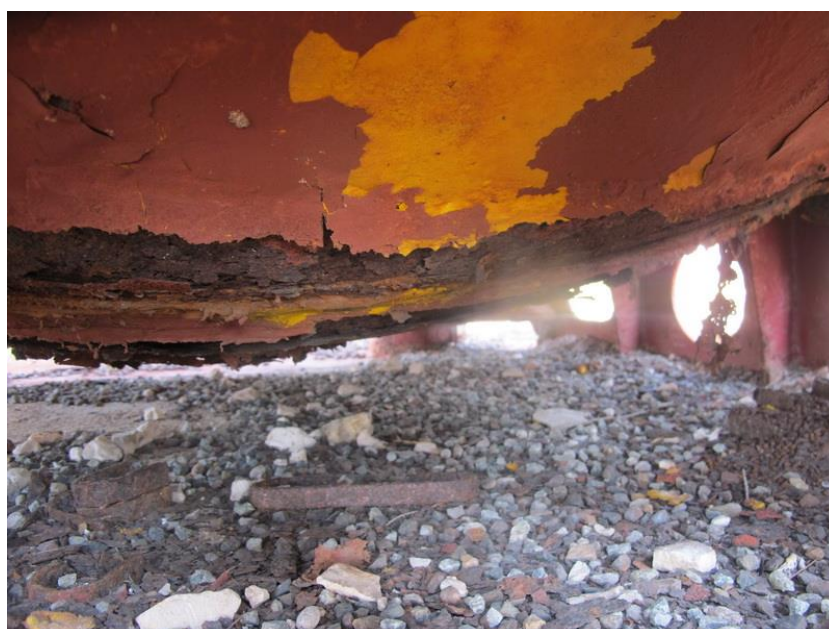
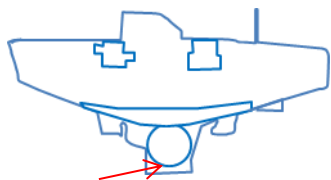


Figure 114 : Partie basse de la sphère en 2018



3. La sphère

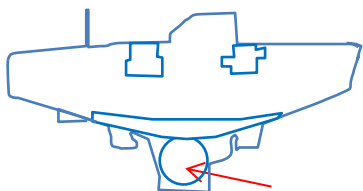
Figures 56 et 57 : corrosion du bas de sphère



Figure 115 : Dessous de la sphère en 2007



Figure 116 : Dessous de la sphère en 2018



3. La sphère

Séquence de corrosion des agrafes



Figure 117 : Agrafes de serrage de la sphère / socle en 2007

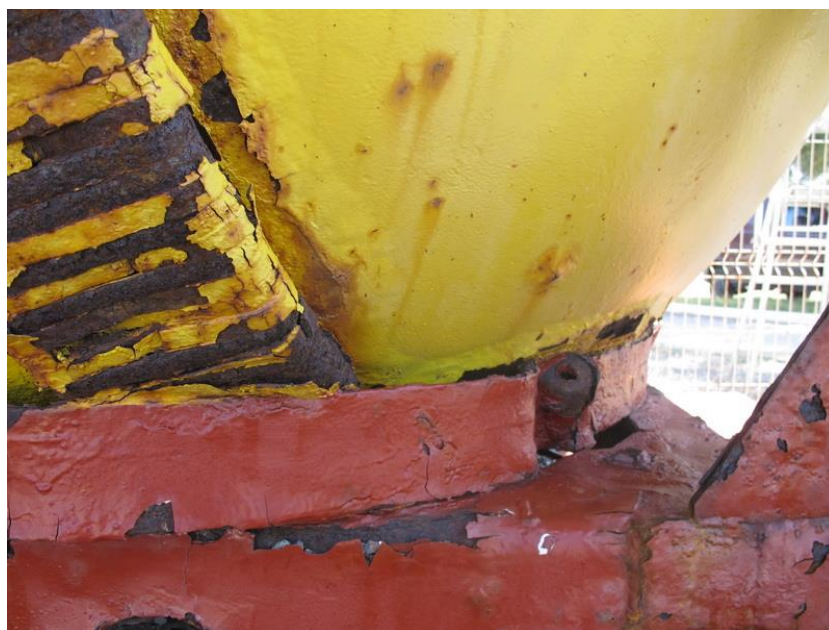
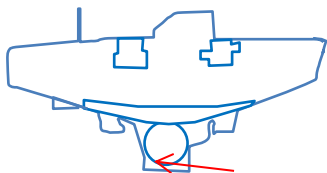


Figure 118 : Agrafes de serrage de la sphère / socle en 2018



3. La sphère

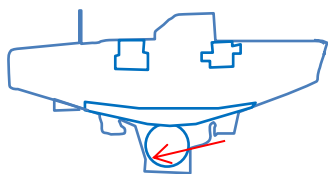
Séquence de corrosion dues agrafes



Figure 119 : Agrafes de serrage de la sphère / socle en 2007



Figure 120 : Agrafes de serrage de la sphère / socle en 2018



3. La sphère

Séquence de corrosion des agrafes



Figure 121 : Agrafes de serrage de la sphère / socle en 2007



Figure 122 : Agrafes de serrage de la sphère / socle en 2018



3. La sphère

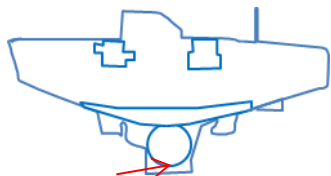
Séquence de corrosion des agrafes



Figure 123 : Agrafes de serrage de la sphère / socle en 2007



Figure 124 : Agrafes de serrage de la sphère / socle en 2018



3. La sphère

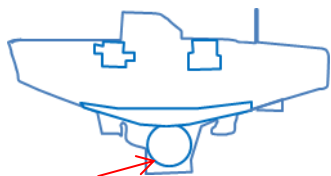
Séquence de corrosion des agrafes



Figure 125 : Dessous de la sphère, corrosion des agrafes dès 2007



Figure 126 : Dessous de la sphère, corrosion des agrafes en 2018



3. La sphère

corrosion dues agrafes



Figure 127 : Dessous de la sphère, corrosion des agrafes dès 2007

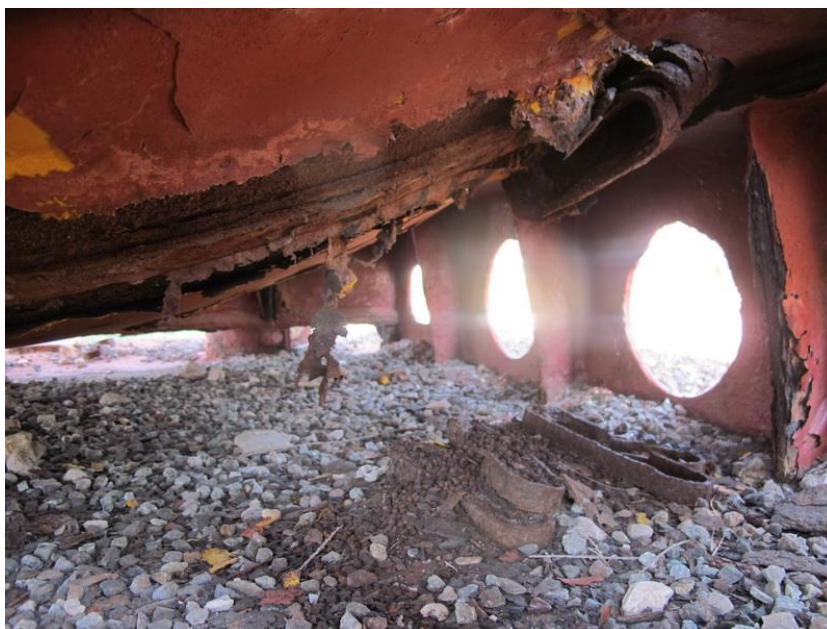
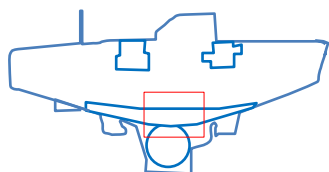


Figure 128 : Dessous de la sphère, corrosion des agrafes en 2018



4. Les stabilisateurs ou quilles

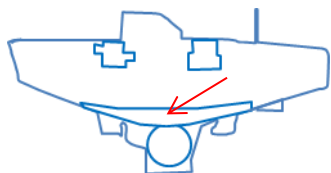
Vues générales



Figure 129 : Détail du stabilisateur tribord et sa réparation par soudure en 2007



Figure 130 : Détail du stabilisateur tribord et sa réparation par soudure en 2018



4. Les stabilisateurs ou quilles

Vues générales

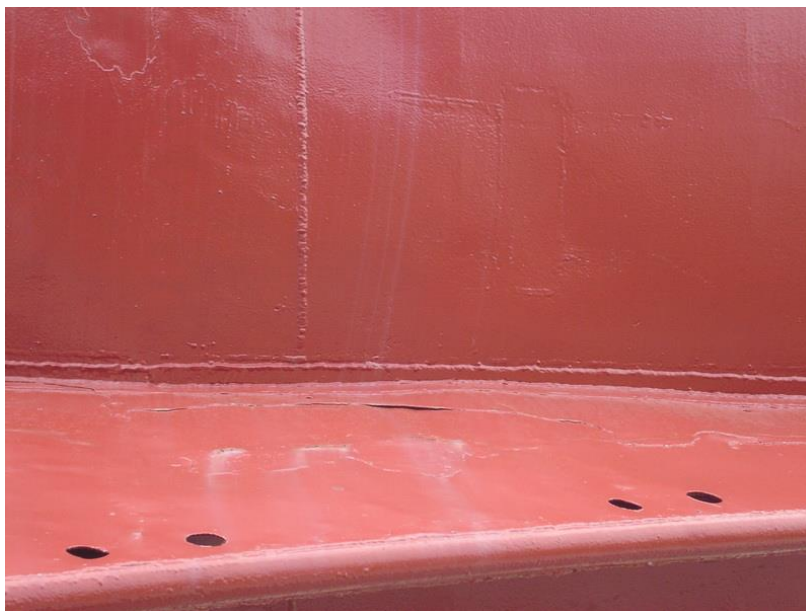


Figure 131 :, Détail de la jonction stabilisateur / carène bâbord en 2007

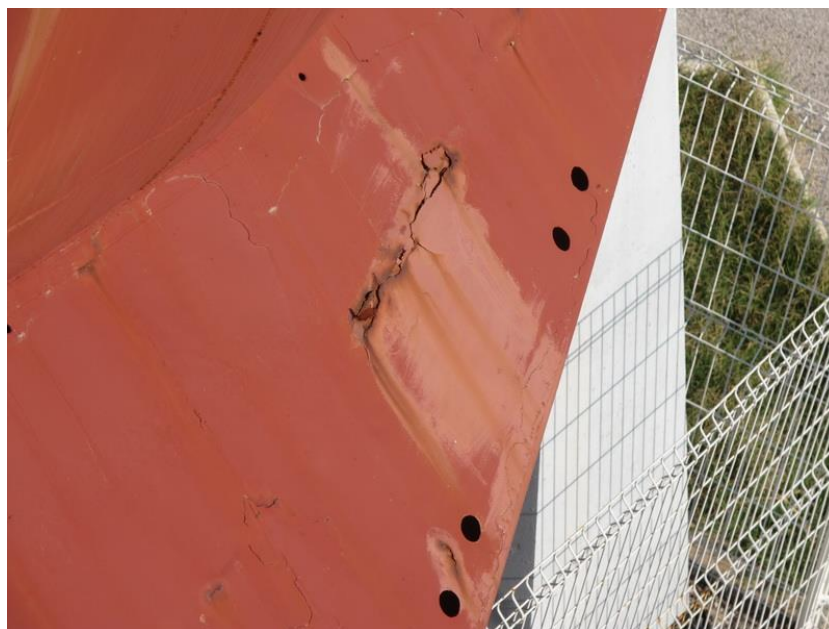
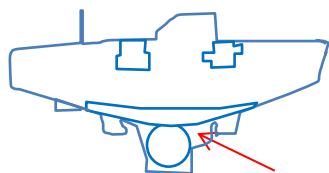


Figure 132 : *Détail stabilisateur bâbord en 2018*



5. Le sas s'entrée dans la sphère

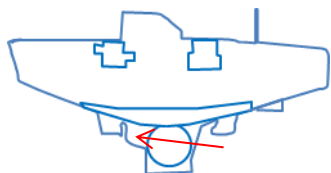
Vues générales



Figure 133 : Vues générales du sas d'entrée, côté tribord en 2007 (gauche) et 2018 (droite)



Figure 134 : Vue générale du sas d'entrée, côté tribord en 2025



5. Le sas s'entre dans la sphère

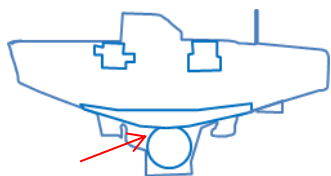
Vues générales



Figure 135 : Détail du sas d'entrée en 2007 (gauche) et 2018 (droite)



Figure 136 : Détail du sas d'entrée en 2025



5. Le sas s'entrée dans la sphère

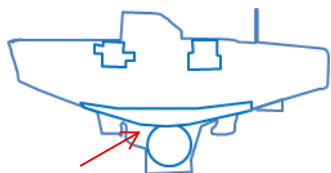
Corrosion des éléments



Figure 137 : Détail du sas d'entrée, corrosion d'une zone de jonction en 2007



Figure 138 : Détail du sas d'entrée, corrosion d'une zone de jonction en 2018



5. Le sas s'entre dans la sphère

Figures 80 et 81 : corrosion des éléments

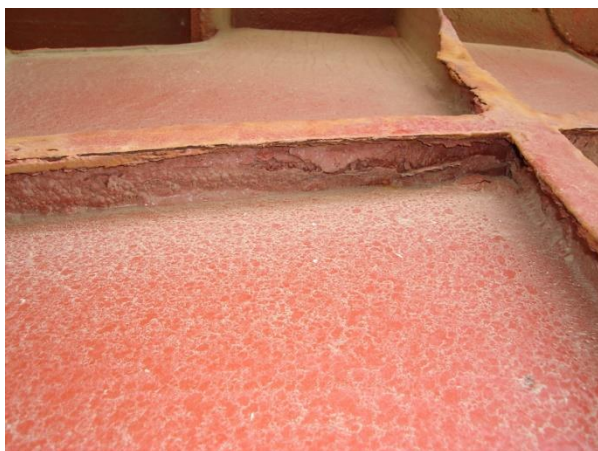
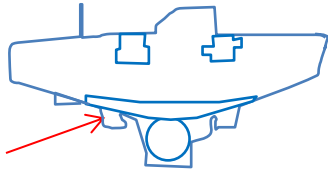


Figure 139 : Détail des barres de renfort du sas d'entrée en 2007 (gauche) et 2018 (droite)



Figure 140 : Détail des barres de renfort du sas d'entrée en 2025



6. Les projecteurs

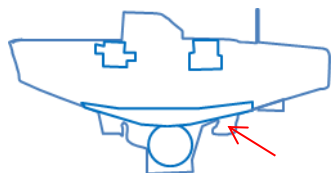
Caisson de projecteurs arrière



Figure 141 : vue générale du caisson de projecteurs arrière, vue tribord en 2007 (gauche) et 2018 (droite)



Figure 142 : vue générale du caisson de projecteurs arrière, vue tribord en 2025



6. Les projecteurs

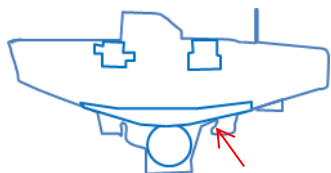
Caisson de projecteurs arrière



Figure 143 : Détail de la corrosion d'une soudure du caisson en 2007



Figure 144 : Vue de détail en 2018



6. Les projecteurs

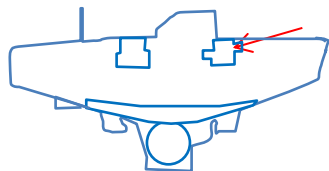
Caisson de projecteurs arrière



Figure 145 : Détail de la corrosion d'un tube carré du caisson en 2007



Figure 146 : Détail de la corrosion d'un tube carré du caisson en 2018



7. Les blocs-hélices

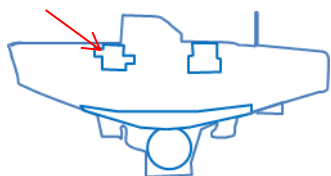
Vues générales



Figure 147 : Vue en contre-plongée du bloc hélice tribord en 2007 (gauche) et 2018 (droite)



Figure 148 : Vue en contre-plongée du bloc hélice tribord en 2025



7. Les blocs-hélices

Vues générales



Figure 149 : Vue en contre-plongée du bloc-hélice bâbord en 2007 (gauche) et 2018 (droite)

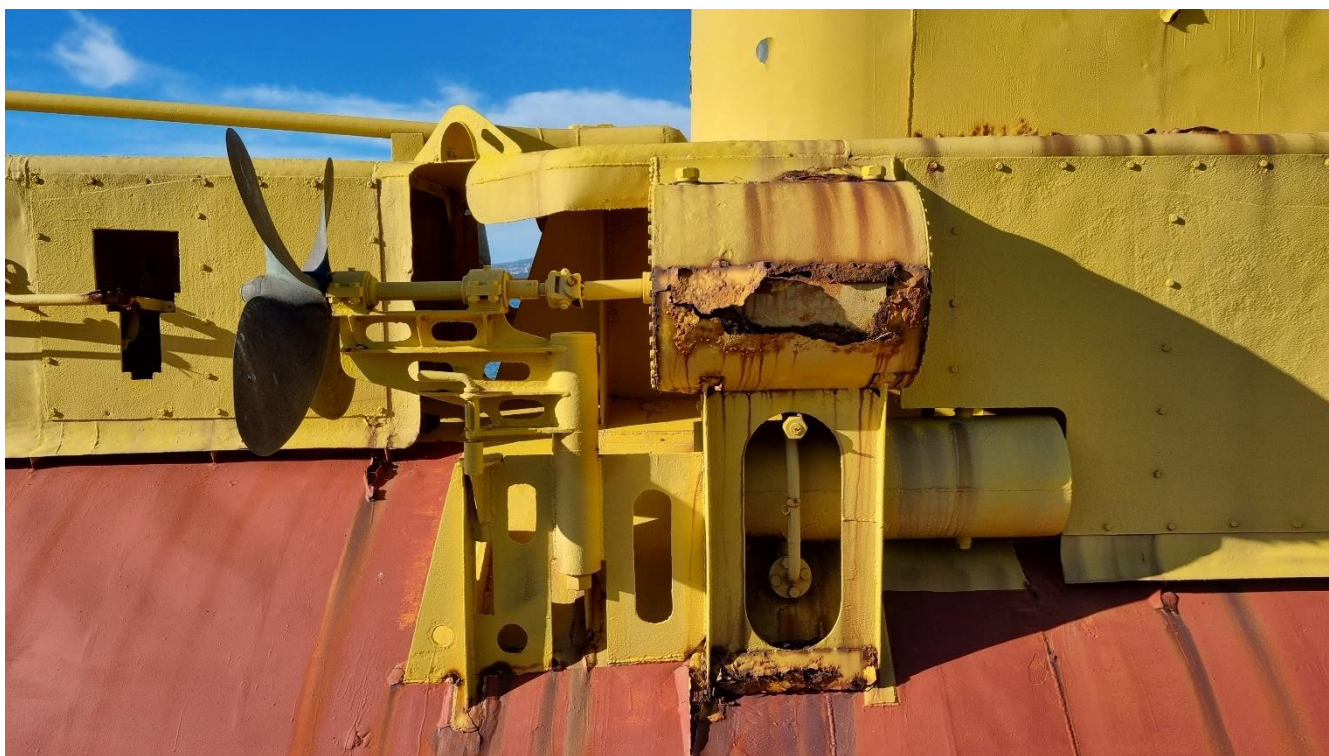
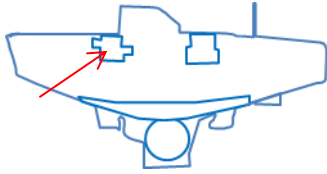


Figure 150 : Vue en contre-plongée du bloc-hélice bâbord en 2025



7. Les blocs-hélices

Vues générales



Figure 151 : Détail de la partie inférieure du bloc-hélice bâbord en 2007 (gauche) et 2018 (droite)

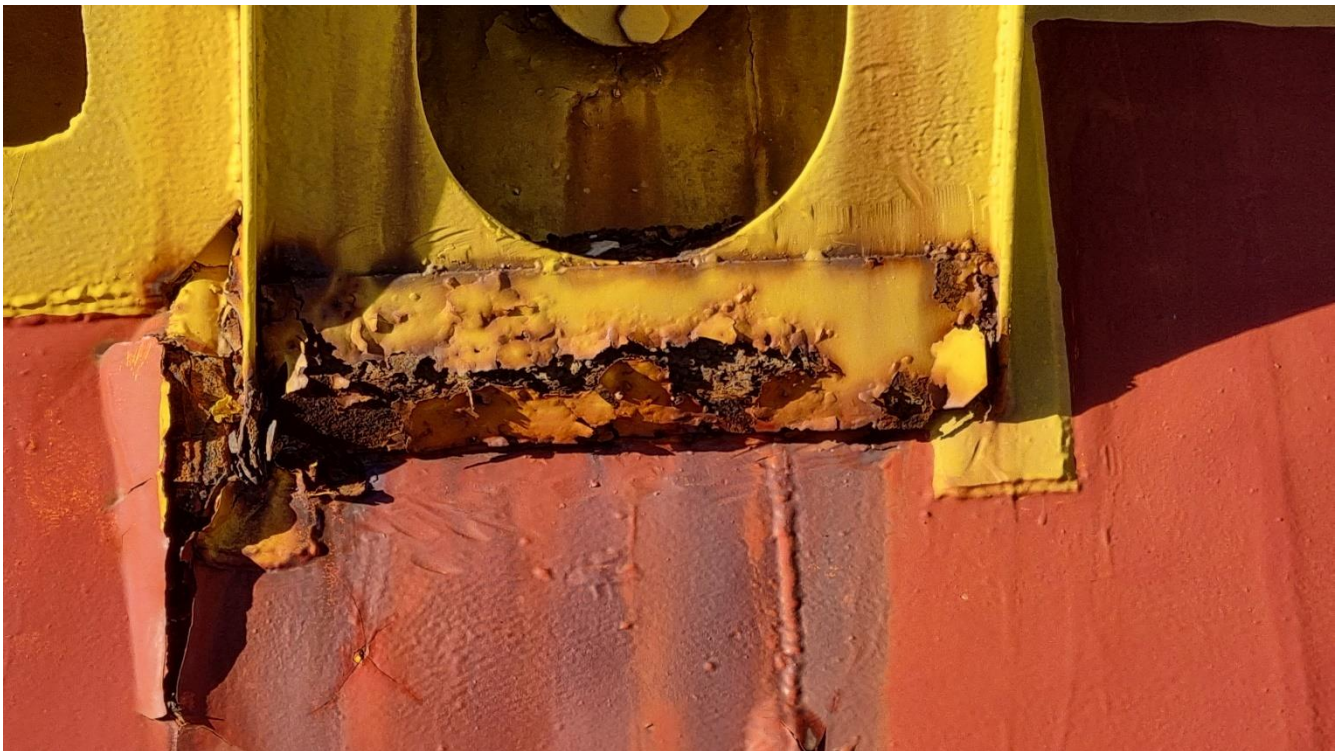
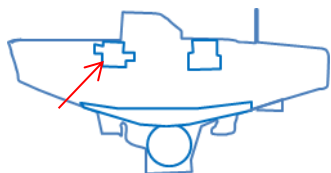


Figure 152 : Détail de la partie inférieure du bloc-hélice bâbord en 2025



7. Les blocs-hélices

Vues générales



Figure 153 : Détail de l'intérieur du bloc-hélice bâbord, zone de rétention d'eau, corrosion (2007 – 2018)

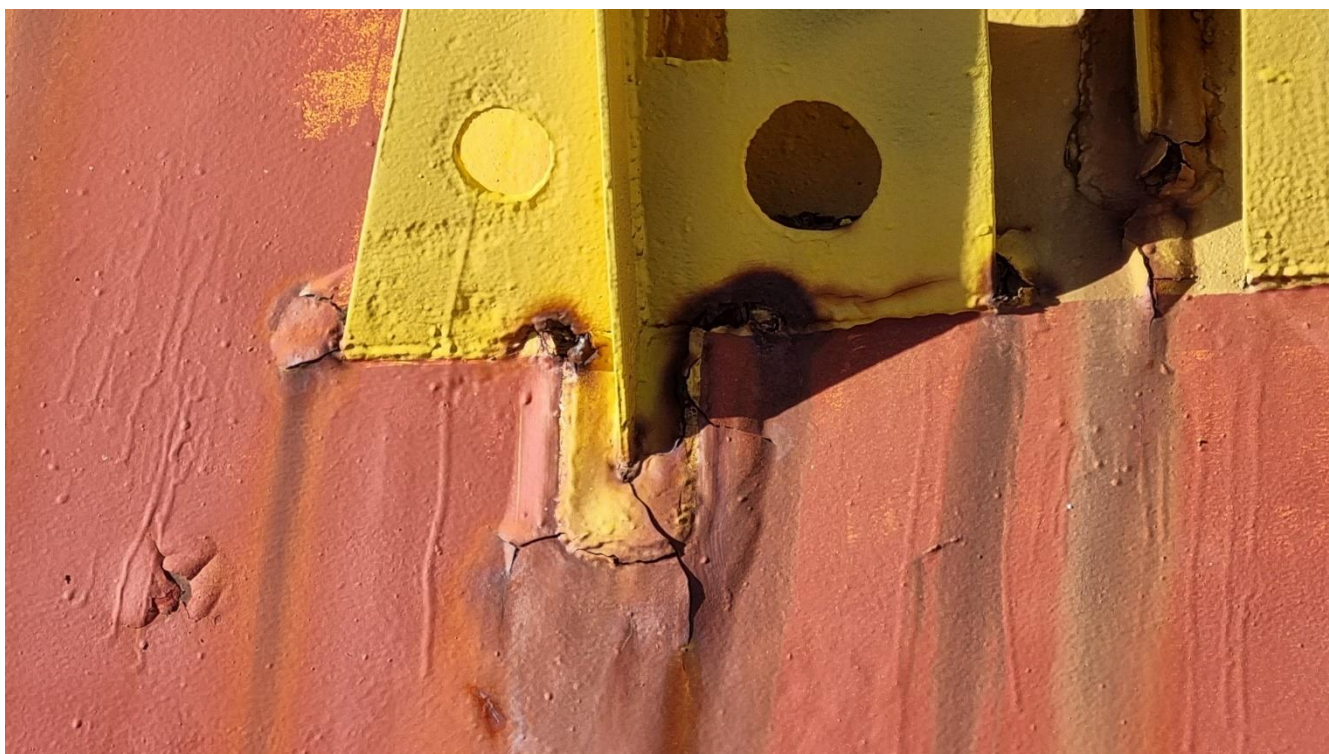
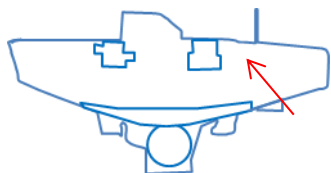


Figure 154 : Détail de l'intérieur du bloc-hélice bâbord, zone de rétention d'eau en 2025



8. Le pont supérieur

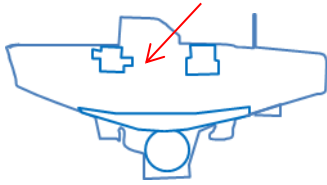
Vues générales



Figure 155 : Vue générale du flanc bâbord du pont supérieur, côté poupe en 2007 (gauche) et 2018 (droite)



Figure 156 : Vue générale du flanc bâbord du pont supérieur, côté poupe en 2025



8. Le pont supérieur

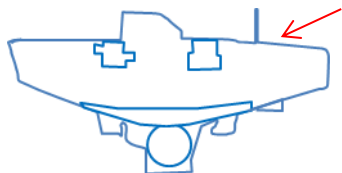
Vues générales



Figure 157 : Vue générale du flanc bâbord du pont supérieur, côté proue en 2007 (gauche) et 2018 (droite)



Figure 158 : Vue générale du flanc bâbord du pont supérieur, côté proue en 2025



8. Le pont supérieur

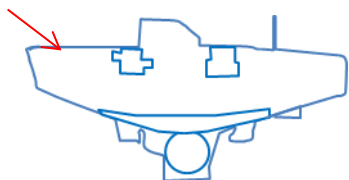
Vues générales



Figure 159 : Vue générale du pont arrière en 2007 (gauche) et 2018 (droite)



Figure 160 : Vue générale du pont arrière en 2025



8. Le pont supérieur

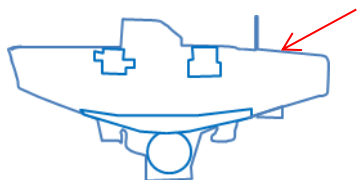
Vues générales



Figure 161 : Vue générale du pont avant en 2018



Figure 162 : Vue générale du pont avant en 2018



8. Le pont supérieur

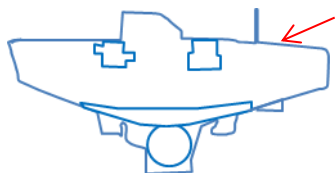
Corrosion des verrous et charnières



Figure 163 : Vue générale de verrous sur le pont supérieur arrière en 2007 (gauche) et 2018 (droite)



Figure 164 : Détail d'un verrou sur le pont supérieur en 2025



8. Le pont supérieur

Corrosion des verrous et charnières



Figure 165 : Vue générale de verrous sur le pont supérieur arrière en 2007 (gauche) et 2018 (droite)



Figure 166 : Vue générale de verrous sur le pont supérieur arrière en 2025



8. Le pont supérieur

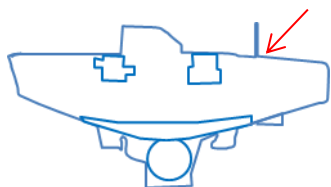
Corrosion des verrous et charnières



Figure 167 : Détail d'une charnière du pont supérieur arrière en 2007 (gauche) et 2018 (droite)



Figure 168 : Détail de cette même charnière sur le pont supérieur arrière en 2025



8. Le pont supérieur

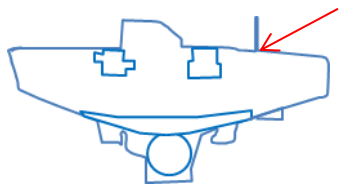
Corrosion des verrous et charnières



Figure 169 : Détail d'une charnière du pont supérieur arrière (2007 – 2018)



Figure 170 : Même zone en 2025



8. Le pont supérieur

Corrosion des verrous et charnières

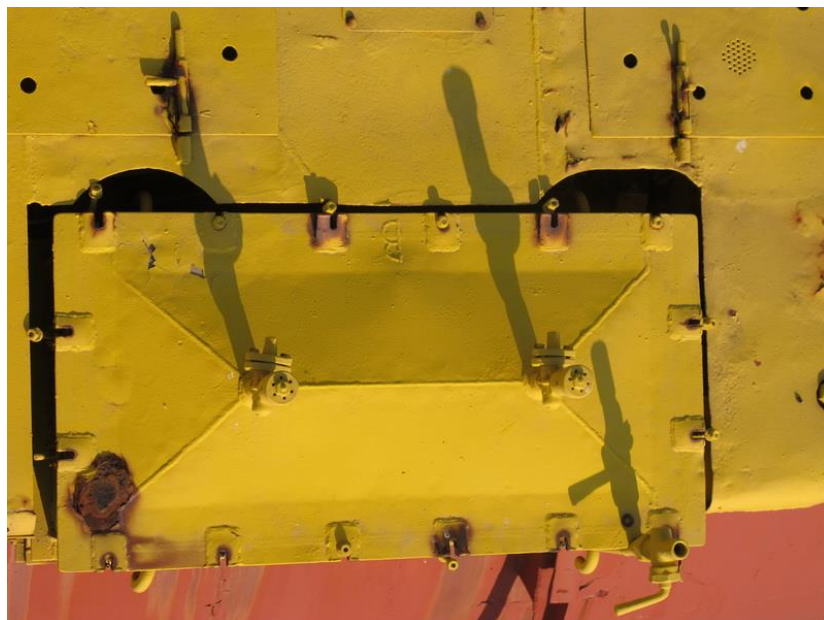
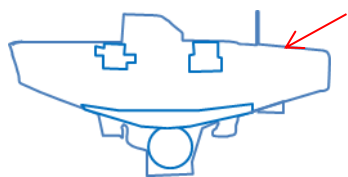


Figure 171 : Détail d'un verrou du pont supérieur arrière en 2007 – 2018)



Figure 172 : Même zone en 2025



8. Le pont supérieur

Corrosion des verrous et charnières



Figure 173 : Détail d'un verrou disparu sur le pont supérieur arrière avec perforation de la coque (2007)

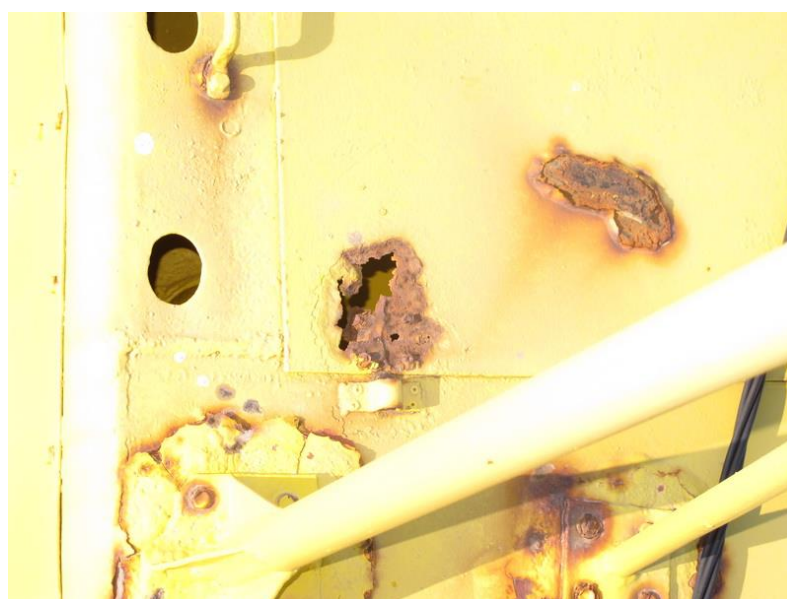
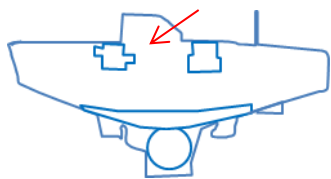


Figure 174 : Même zone en 2018



8. Le pont supérieur

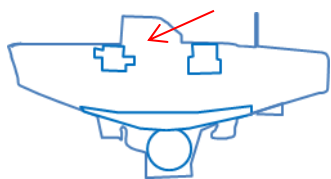
Décollement de peinture



Figure 175 : Vues générales, pont supérieur arrière en 2007 (gauche) et 2018 (droite)



Figure 176 : Vue générale pont supérieure et flanc bâbord de la baïnette en 2025



8. Le pont supérieur

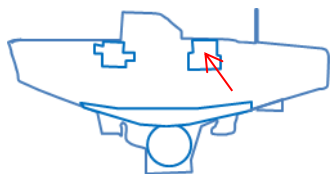
Ecaillage de peinture sur acier galvanisé



Figure 177 : Vue générale d'un écaillage de peinture sur le pont supérieur arrière (2007)



Figure 178 : Ecaillage de peinture, disparition de la galvanisation et corrosion substrat acier, 2018



9. La baignoire

Vues générales



Figure 179 : Vue générale en contre-plongée de la baignoire, depuis bâbord (2007)

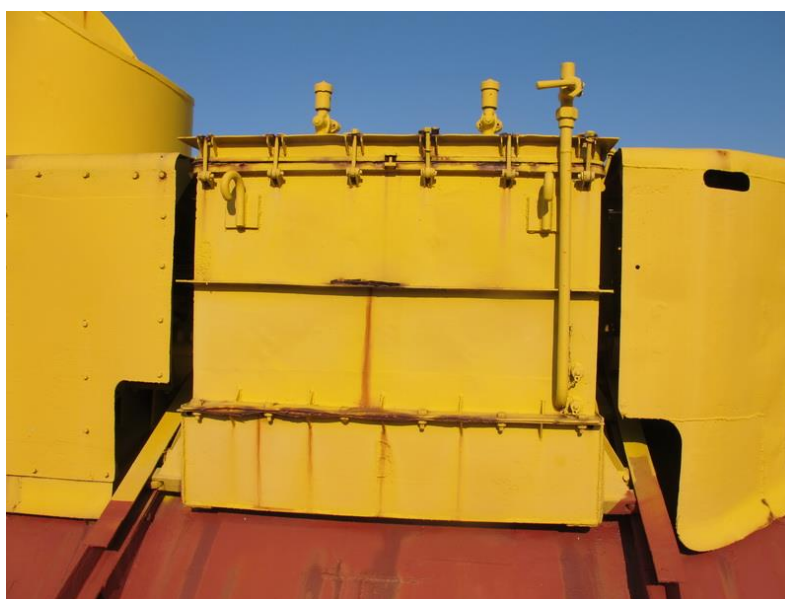
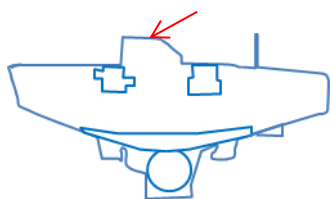


Figure 180 : Bloc batteries, 2018



9. La baignoire

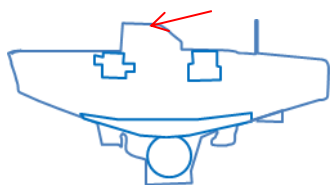
Vues générales



Figure 181 : Vue de l'intérieur de la baignoire, écoutille d'entrée dans le bathyscaphe en 2007



Figure 182 : Vue de l'intérieur de la baignoire, écoutille d'entrée dans le bathyscaphe en 2018



9. La baignoire

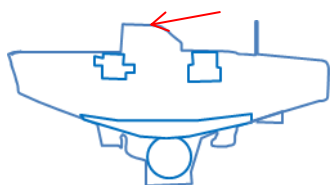
Evolution de la corrosion



Figure 183 : Perforations côté bâbord, en fond de baignoire, vues de l'extérieur (2007)



Figure 184 : Corrosion en pied de baignoire, 2018



9. La baignoire

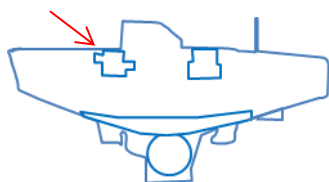
Evolution de la corrosion



Figure 185 : Légère corrosion dans armatures internes de la baignoire, zone de stagnation (2007)



Figure 186 : Ecaillage de la peinture et légère corrosion dans armatures internes de la baignoire, zone de stagnation 2018



10. Les entreponts (entre pont et coque)

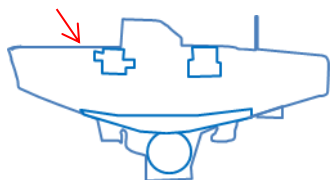
Vues générales



Figure 187 : Vue de « l'entrepont », entre pont supérieur et coque (2007)



Figure 188 : Vue de « l'entrepont », entre pont supérieur et coque (2018)



10. Les entreponts

Vues générales

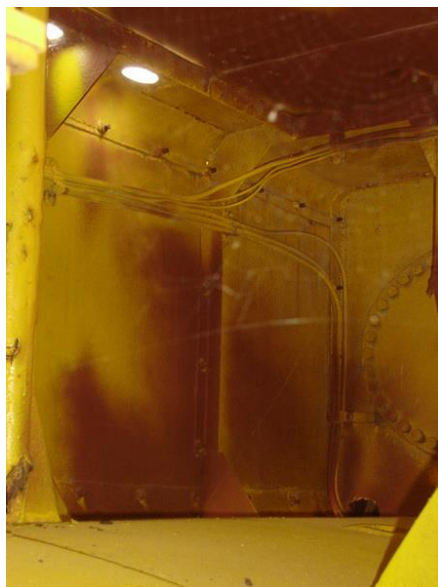


Figure 189 : Vue intérieure de « l'entrepont », entre pont supérieur et coque (2007)

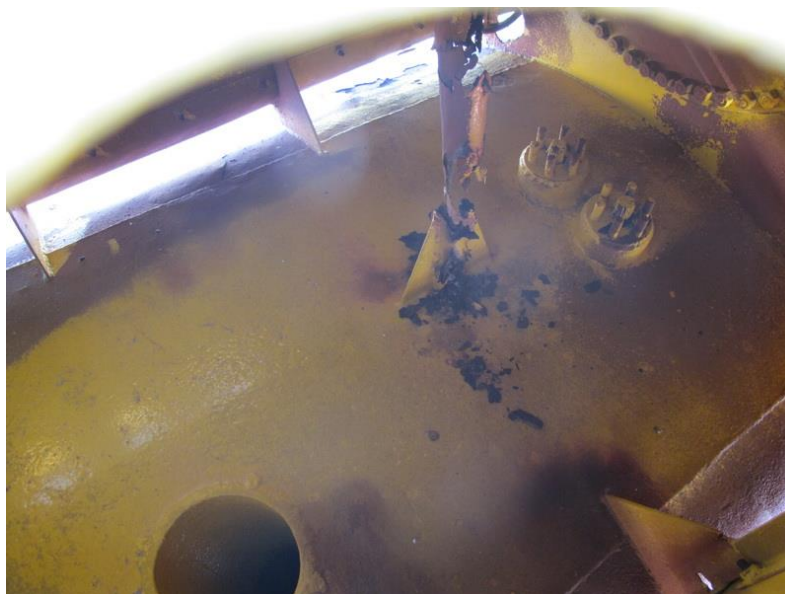


Figure 190 : Vue intérieure de « l'entrepont », entre pont supérieur et coque en 2018