

Causes de l'accident de la Minerve

A PARTIR DE L'ANALYSE DES IMAGES PRISES PAR LES ROV EN JUILLET 2019
 ET DE CELLES PRISES LORS DES PLONGEES A BORD DU SOUS-MARIN « LIMITING FACTOR »
 LES 31 JANVIER ET 1° FEVRIER 2020
 SEPTEMBRE 2020

Jean-Louis Barbier | Causes possibles | 30/09/2020

Etude des causes possibles de la perte de la MINERVE

Remerciements

Je remercie le MESMAT de Lorient qui a généreusement mis à ma disposition pour les besoins de l'étude les plans et les monographies sécurité plongée des sous-marins Daphné, ainsi que des prises de vue à bord du sous-marin FLORE.

Je remercie M. Victor VESCOVO, qui a généreusement mis à disposition pendant deux journées son sous-marin grande profondeur « LIMITING FACTOR », son bateau mère le « PRESSURE DROP », toute l'expédition CALADAN OCEANIC, ainsi que l'ensemble des prises de vue vidéo réalisées. Les plongées effectuées au plus près de la MINERVE ont permis l'observation visuelle de l'épave et des débris, apport de premier ordre pour la conduite de l'étude.

Je remercie Hervé Fauve, qui m'a permis de vivre une expérience unique, la plongée sur l'épave de la MINERVE et qui m'a confié un certain nombre de documents ainsi que des films pris lors des plongées des UAV de Ocean Infinity, riches d'informations pour la conduite de cette étude.

Contre-Amiral Jean-Louis Barbier
Expert de justice près la
Cour d'appel d'Aix-en-Provence
Agréé par la Cour de cassation



A.- Propos liminaires

L'étude a été lancée de ma propre initiative. Son but est d'explorer le volet technique de la perte de la MINERVE au filtre d'une méthode utilisée en mission d'expertise judiciaire et d'apprécier dans quelle mesure une telle démarche est susceptible de fournir une manifestation de la vérité en apportant un éclairage sur la ou les causes les plus probables de la perte de la MINERVE.

Cette étude a pour but de tenter de découvrir la ou les causes les plus probables de la perte du sous-marin MINERVE au large de Toulon en 1968.

Le travail effectué ne prétend pas être celui d'une commission d'enquête, à laquelle l'étude se substituerait, ni ne propose de rouvrir une commission d'enquête d'aucune manière.

Ses conclusions ne prétendent pas détenir la vérité absolue. En effet, cette étude a été conduite avec la plus grande prudence, compte tenu de l'éloignement des faits et de la dégradation de l'épave, 51 ans après le drame.

L'étude s'intéresse à un événement hors norme, l'émotion est présente à chaque page, dans chaque prise de vue étudiée.

Elle intègre les observations et hypothèses d'anciens sous-marinières, qui ont eu la gentillesse de réagir à la présente étude qui avait été produite, fin 2019.

Cette étude s'appuie sur les supports suivants :

- 5 films parmi ceux qui ont été réalisés par la société OCEAN INFINITY en juillet 2019 ;
- 6 heures de prises de vue vidéo de l'épave et du champ de débris par 3 caméras embarquées à bord du sous-marin « Limiting Factor » mis en œuvre les 1^{ers} et 2 février 2020 ;
- 6 heures d'observations visuelles de l'épave et du champ de débris que j'ai effectuées à bord du sous-marin « Limiting Factor » le 1^{er} et 2020.

Les documents suivants ont été exploités au cours de l'étude :

- Plan des sous-marins type Daphné ;
- Monographie planches tome 7 propulsion ;
- Monographie planches sécurité plongée tomes 1 et 2;
- Carnet de tuyautages
- Rapport de la commission d'enquête ;
- Témoignages recueillis par la commission d'enquête

B.- Conduite de l'étude - méthodologie

L'étude ne fait aucune hypothèse a priori, vise à être exhaustive dans la recherche des causes possibles, n'en négligeant aucune.

Elle s'appuie sur les documents mis à ma disposition, sur ma mémoire des sous-marins de type Daphné et de leur mise en œuvre.

En toute modestie, je mentionne ici que j'ai embarqué :

- Un an à bord de la DIANE en 1974 comme chef de service ;
- Deux ans à bord de la DAPHNE en 1976, chef de service armes sous-marines;
- Deux ans en 1981 comme commandant en second de la SIRÈNE;
- Entre 1989 et 1991 sur l'ensemble des DAPHNE comme officier entraînement de l'escadrille des sous-marins de la Méditerranée

L'étude met à profit les prises de vue vidéo réalisées en 2019 et 2020 ainsi que les observations visuelles que j'ai eues de l'épave et des débris.

L'étude prend en compte le fait que l'état de l'épave observé en 2019 et 2020 est le résultat :

- de la cause initiale de la perte du contrôle de l'immersion et du naufrage de la MINERVE,
- de la descente de la MINERVE en immersion ;
- de la destruction de la coque par surimmersion ;
- de l'impact sur le fond ;
- des dégradations liées aux cinquante années passées dans l'eau de mer.

L'état de l'épave est présenté dans une première partie. Les analyses des différentes causes possibles sont présentées dans une seconde partie avant d'émettre une prudente conclusion.

C.- Rappel des faits

1.- Les faits

La MINERVE a 4 ans au moment des faits ; le 27 janvier 1968, c'est peu pour un sous-marin de ce type, dont la durée de vie est comprise entre 25 et 30 ans.

Le nombre de cyclages de coque est faible, son potentiel est élevé.

Début 1968, la MINERVE sort d'une période standard d'entretien programmé – indisponibilité d'entretien IE.

La Minerve n'est le siège d'aucune défaillance mécanique ; son entretien est assuré de façon nominale, tracé comme pour les autres sous-marins du type DAPHNE.

La batterie de la Minerve est neuve et n'a donné lieu à aucune observation préalablement au sinistre ni présenté de déficience particulière ;

La Minerve n'a pas de torpilles à bord au moment des faits.

Le commandant a pris son commandement 10 jours avant le moment des faits ;

L'équipage sort de sa période de mise en condition sécurité plongée, à la mer, en présence de l'officier entraînement, au cours de laquelle des exercices avaient été réalisés, impliquant la mise en œuvre des équipements du sous-marin.

La veille du drame, la Minerve a rallié la rade des Vignettes devant TOULON où elle y débarque l'officier entraînement au milieu de la nuit.

Elle repart immédiatement en surface vers ses secteurs d'exercice proches de TOULON, où elle plonge pour le restant de la nuit

Elle vient à l'IP et au schnorchel au petit matin au rendez-vous avec un avion de patrouille maritime pour des exercices élémentaires, des calibrations et vérifications de performance d'équipements de l'avion.

Les conditions météorologiques sont très mauvaises : mer force 7 – vagues de 6 à 8 mètres -, vent de nord-ouest force 8 - rafales jusqu'à 80 km/h.

L'avion rallie la MINERVE ; qui est à l'immersion périscopique et en marche au schnorchel.

Au moins un des deux périscopes est hissé, le tube d'air est hissé, l'antenne radio UHF est hissée ; et, soit l'antenne radar soit l'antenne de détecteur de radar – ARUR- est hissée.

Les conditions de visibilité et de performances radio et radar sont mauvaises aussi bien pour l'avion que pour la MINERVE. L'avion n'aura jamais de perception visuelle de la MINERVE ni de ses aériens. Il n'aura que des contacts électroniques sur elle.

Les communications radio entre l'avion et la MINERVE sont de très mauvaise qualité en raison de l'état de la mer.

Les objectifs du premier exercice sont difficilement atteints en raison de l'état de la mer.

A 7h45, l'avion annonce qu'il renonce à sa dernière vérification radar, compte tenu des conditions météorologiques.

Dix minutes plus tard, vers 07h55 la Minerve répond :

Je comprends que vous annuliez cette vérification. M'avez-vous entendu ?

Ce sera la dernière fois que la MINERVE parlera.

L'avion confirme et s'éloigne alors en route vers Nîmes Garons.

2.- Hypothèses sur la mise en œuvre de la MINERVE au moment des faits

Les conditions météorologiques et le contexte opérationnel de mise en œuvre de la Minerve au moment des faits permettent de souligner les données suivantes, à la lumière de l'expérience de mise en œuvre des Daphné :

- Pour ne pas être happée en surface par de telles conditions de mer, la MINERVE, il est raisonnable d'admettre que la MINERVE s'est très certainement alourdie d'au moins entre 2 et 3 tonnes d'eau de mer, ce qui est beaucoup, mais c'est une pratique courante à bord des sous-marins et adaptée à l'état de la mer au moment des faits ;
- Il est raisonnable de supposer que l'équipage est certainement fatigué à l'issue de sa période de mise en condition sécurité plongée et qu'une forme de détente, décompression peut s'installer dans l'équipage ;
- Pour les autorités à terre, il n'y a pas d'indice de drame sous-jacent :
 - o la MINERVE aurait dû garder le contact radio HF avec la base de Nîmes jusqu'au posé de l'avion ; ce ne fut pas le cas ; mais les mauvaises conditions météorologiques pouvaient expliquer ce silence aux autorités à terre
 - o la Minerve est censée rallier TOULON en fin de soirée et d'ici là n'a pas obligation de se manifester. Ainsi, jusqu'à 20h00, il n'y a rien d'anormal pour les autorités à terre.

3.- Commission d'enquête

Une commission d'enquête a été nommée dès après le drame ; elle a travaillé avec des groupes de travail constitués par thèmes, elle a interrogé un grand nombre d'acteurs du monde de la marine, des forces sous-marines, des commandants et équipages des sous-marins, des précédents commandants de la MINERVE.

Dans ces conditions, elle a en l'occurrence une avarie de barre arrière aggravée par l'absence de réponse ou d'une mauvaise réponse de la propulsion.

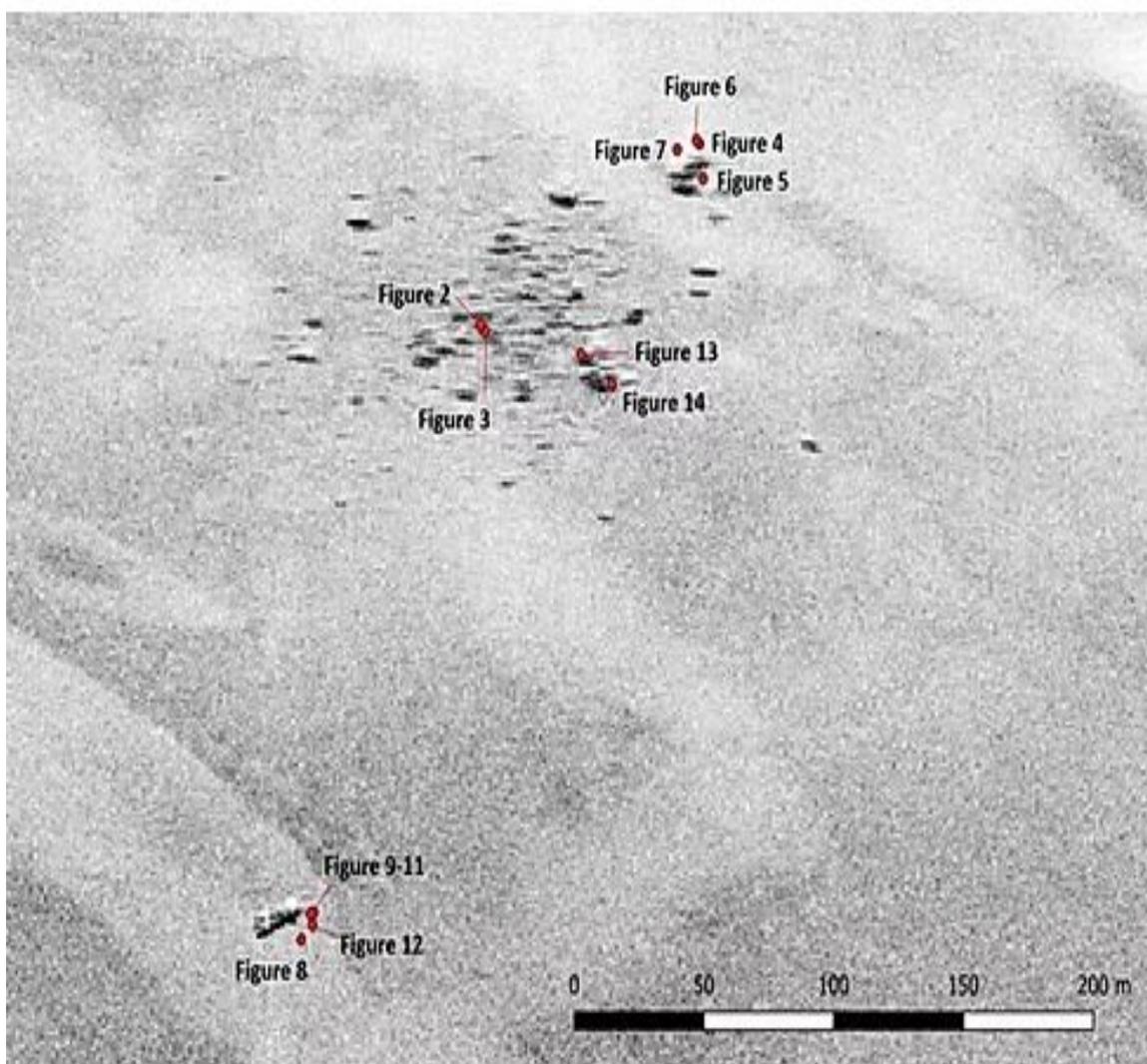
Sur la base de ses hypothèses et de ses conclusions, la commission d'enquête a émis des recommandations pertinentes au matériel, en particulier dans le domaine de la sécurité plongée, à l'organisation et au personnel, qui se sont traduites dans les faits par des modifications d'équipements, des reprises de l'organisation du travail à bord, des changements dans le processus de formation et d'entraînement des équipages.

L'étude ne remet pas du tout en cause les recommandations émises par la commission d'enquête et adhère aux mesures prises, rappelées succinctement ci-dessus. L'étude estime qu'en effet toutes les leçons du drame ont été tirées sans qu'il soit besoin de revenir aujourd'hui sur un quelconque point au matériel, au personnel ou d'organisation, au titre de leçons du drame de la MINERVE.

Première partie
Etat de l'épave observée en 2019 et 2020

Toutes les parties constitutives du sous-marin sont présentes dans le champ de débris qui s'étend sur une surface d'une longueur d'environ 300 mètres sur un axe sud-ouest / nord-est et sur une largeur d'environ 250 mètres

A.- Dispersion des débris

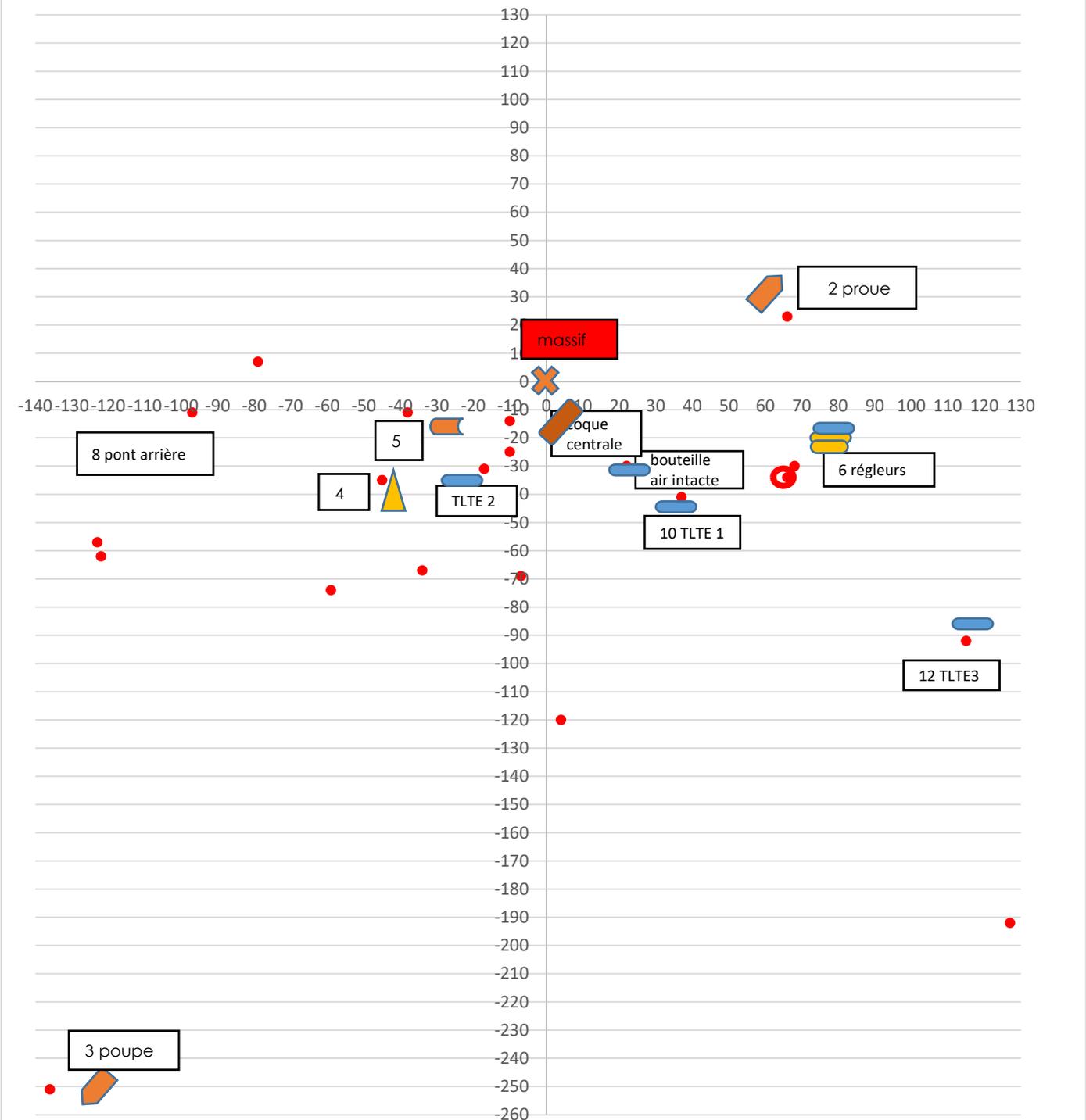


Les grandes structures de la MINERVE sont, du sud au nord :

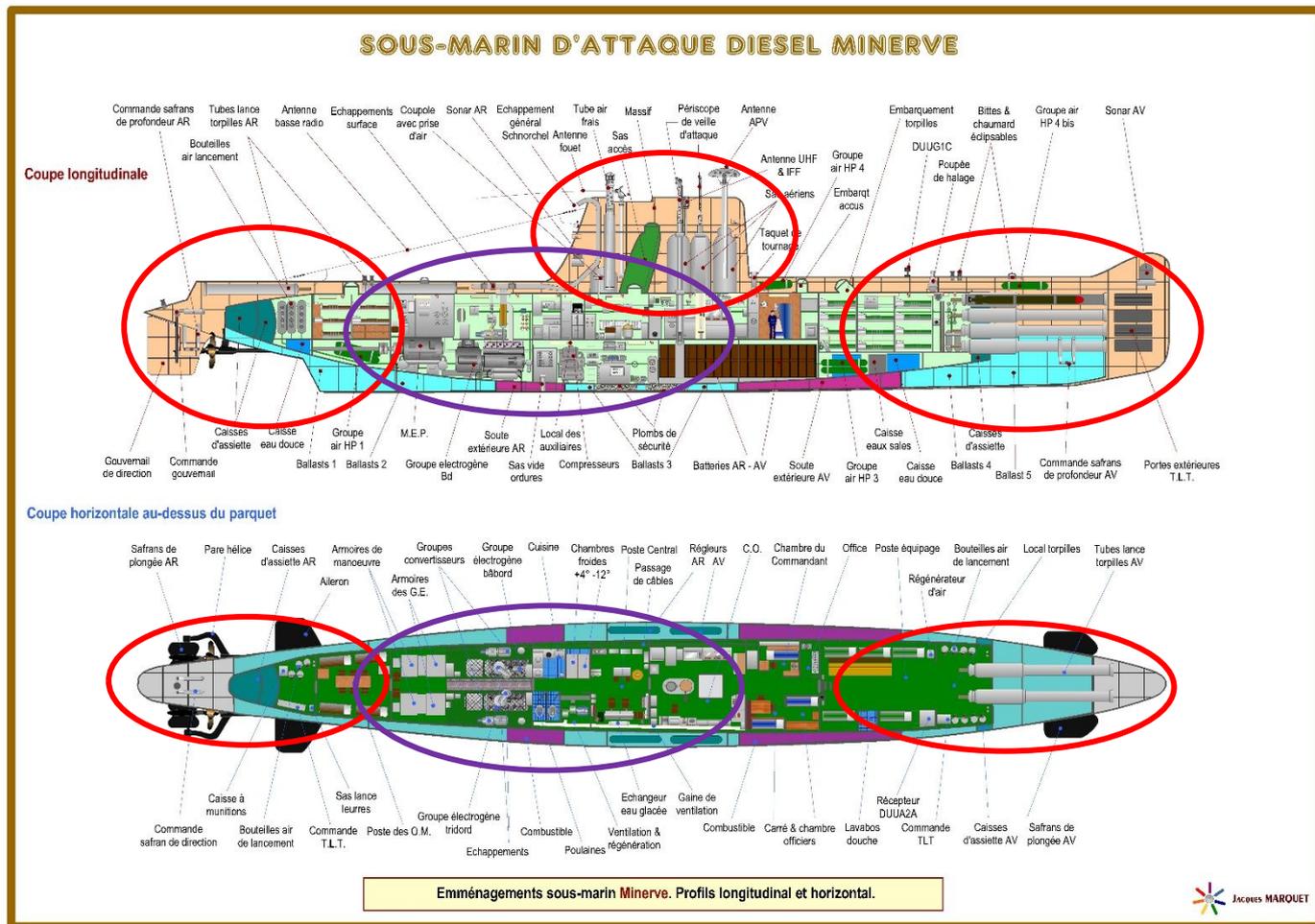
- la poupe – repérée figures 8,9 11 et 12 dans le sud-ouest de la zone de débris ;
- le massif repéré figure 13 ;
- la coque centrale repérée figure 14 ;
- la proue repérée figure 4,5 6 et 7 dans le nord-est

Transposé sur un graphique XY centré sur l'épave du massif, le positionnement des structures majeures de l'épave est le suivant, les divers points rouges positionnant des débris présentant un intérêt particulier ; ils sont repérés en XY dans le tableau ci-dessous :

	Valeurs des X		Valeur des Y	Colonne1
1	0		0	Massif
2	66		23	Proue
3	-136		-251	Poupe
4	-45		-35	arrière massif
5	-38		-11	carénage massif
6	68		-30	régleurs
7	-123		-57	treillis métallique
8	-97		-11	pont arrière
9	-79		7	Collecteur 2 brides
10	37		-41	TLTE 1
11	-17		-31	TLTE2
12	115		-92	TLTE3
13	66		-34	cylindre creux
14	-59		-74	structure brillante
15	127		-192	?
16	22		-30	bouteille air intacte
17	4		-21	structure non identifiée
18	-10		-25	?
19	-10		-14	?
20	-7		-69	safran isolé ???
21	-122		-62	structure non identifiée
22	-177		-82	tôle
23	-34		-67	débris
24	4		-120	limande
25	25		-61	section de coque



Cerclées, figurent ci-dessous les sections du sous-marin identifiables sur les prises de vue vidéos mises à ma disposition et identifiées au cours de la plongée sur l'épave le 1^{er} février 2020.

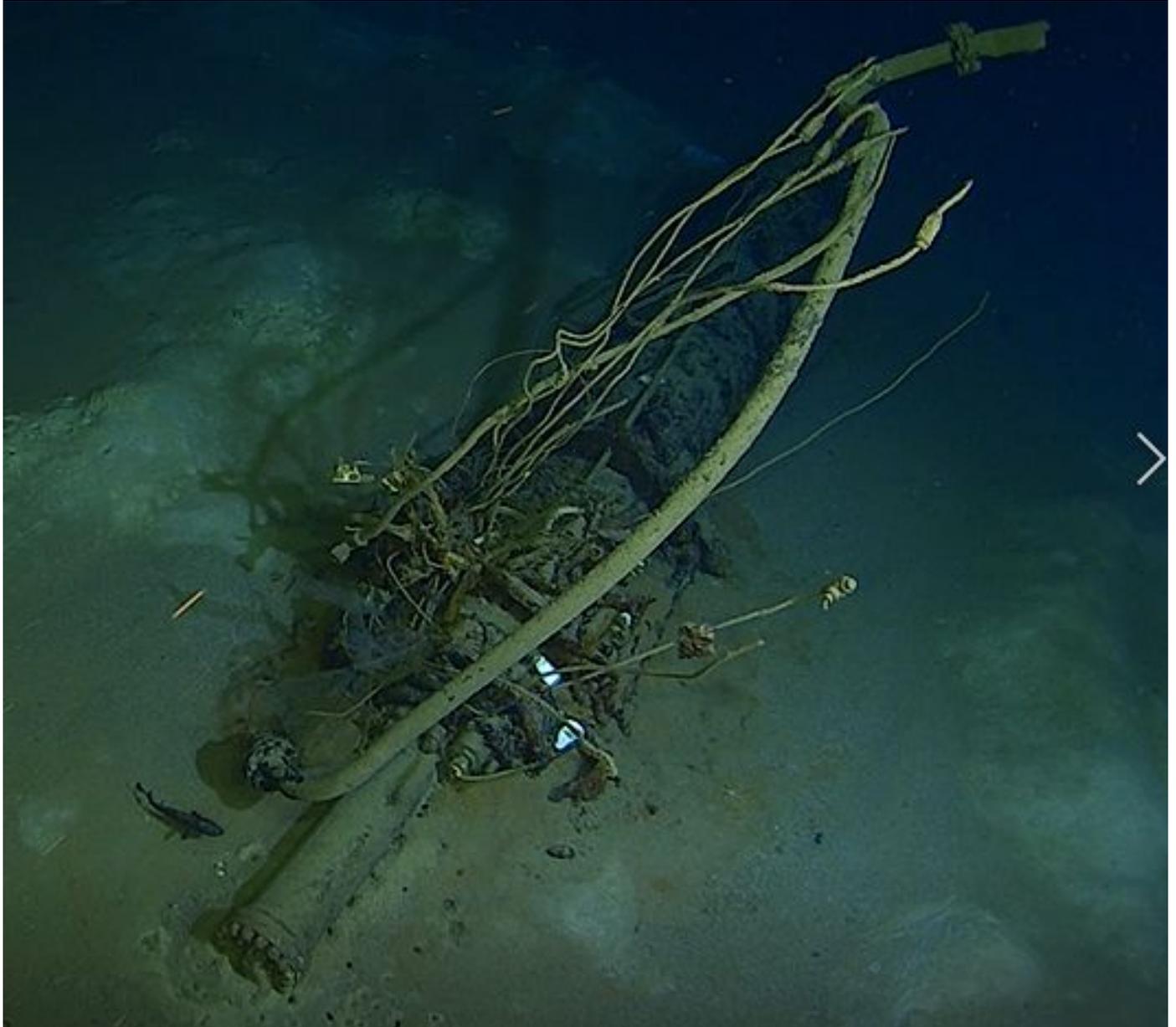


B.- Ce qui est identifiable de façon certaine

1.- 3 TLT arrières arrachés des superstructures

Ils sont éparpillés sur la zone de débris, mais intacts, porte avant fermée visible ; on reconnaît la pièce de manœuvre de la porte avant.

Prise de vue du TLTE n° 1 Repère n° 10





3 prises de vue du TLTE n°3 – repère n° 12



2.- De multiples sections de superstructures de pont

Elles sont éparpillées sur le champ de débris ; une d'entre elles est renversée est l'extrême arrière du pont avec le feu de poupe, au-dessus des TLT extrême arrière; d'autres sont déformées ; sur l'une d'elles, on distingue un panier à aussières parmi ceux qui sont disposés dans les superstructures.





3.- Des groupes d'enceintes,

Dans un premier groupe, **repère 6**, une enceinte – au premier plan – est intacte, celle au deuxième plan présente une fissure, et celle du troisième plan est éventrée.

Deux attributions ont été envisagées :

- un des groupes d'air HP, répartis dans le bord, bien qu'on ne distingue pas clairement les têtes de bouteilles;

On distingue 3 bouteilles identiques et fixées parallèlement, ce qui, à l'étude de l'implantation des groupes d'air, exclut :

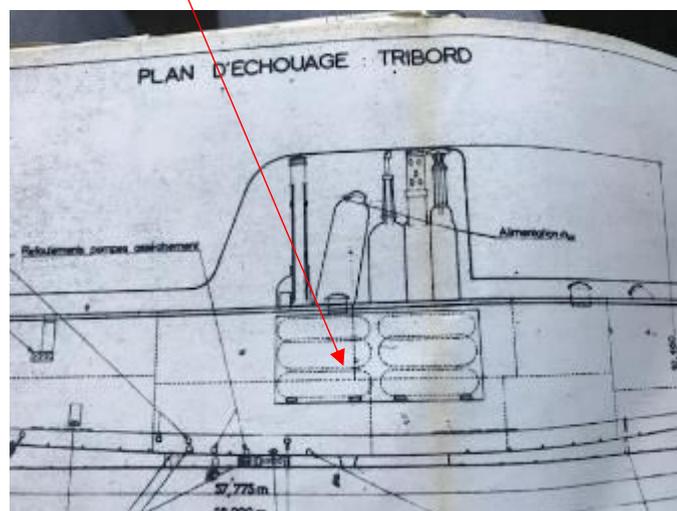
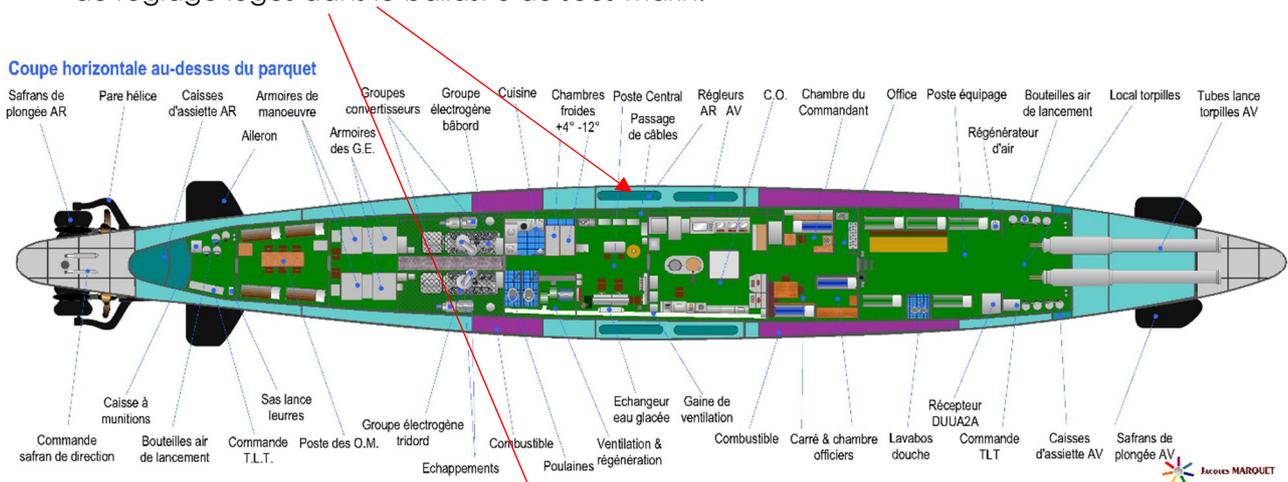
- le groupe N°1 de la cale du poste arrière : 3 bouteilles, mais non parallèles ;
- le groupe extérieur 4 : 4 bouteilles non identiques.

Il reste comme candidats possibilités le groupe 5 dans la cale du poste torpilles ou le groupe 2 ou 3 des auxiliaires.

Toutefois l'attribution possible des capacités à un groupe d'air semble devoir être exclue. En effet, on distingue bien sur les images, des carlingages soudés sur les faces des réservoirs, or on ne soude pas sur des bouteilles d'air, qui sont en acier forgé non soudable.

L'attribution à un groupe d'air a donc été écartée.

- Groupe de régleurs : ils sont extérieurs à la coque épaisse, répartis en 2 groupes de trois enceintes par bord ; les enceintes étant placées parallèlement 3 par 3.
Le groupe de trois réservoirs observés correspond parfaitement à l'un des 4 groupes de 3 caisses de réglage logés dans le ballast 3 du sous-marin.

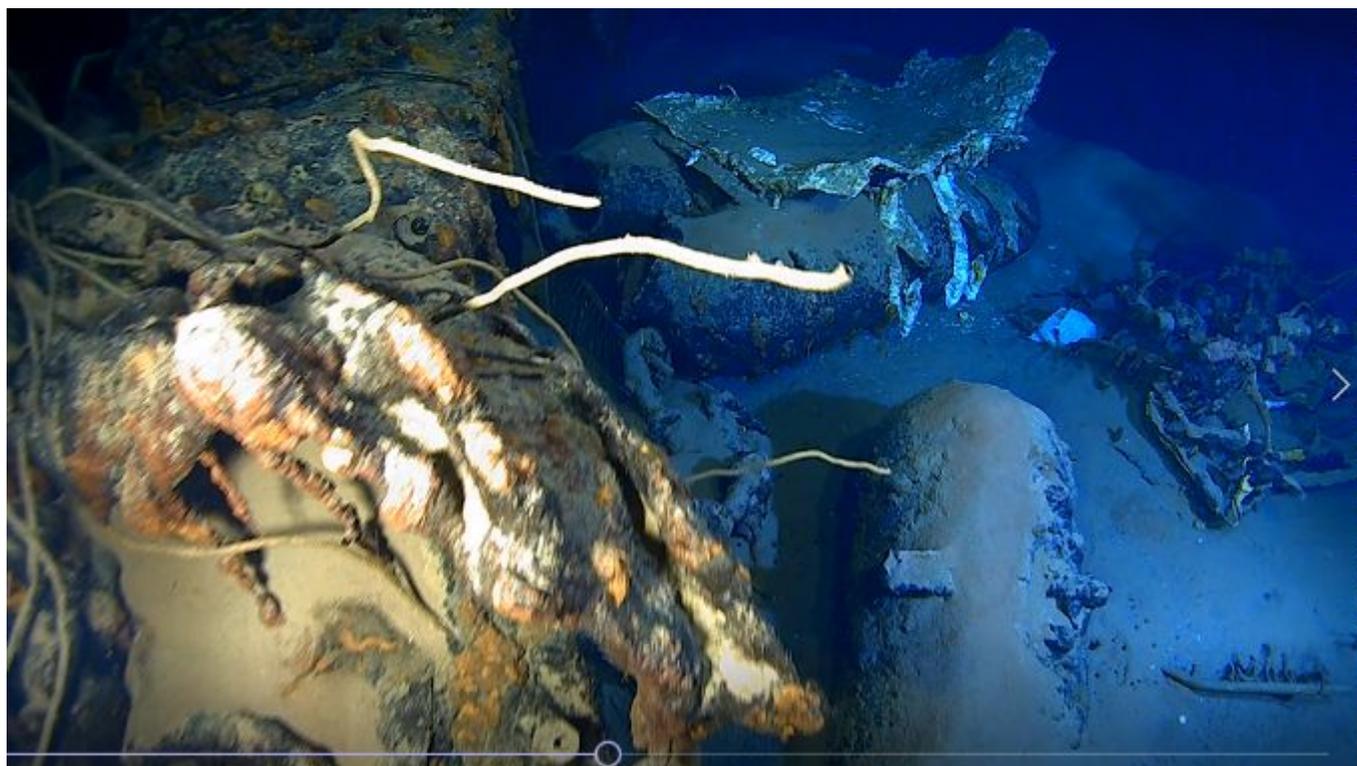


Extrait du carnet de tuyautages Daphné.

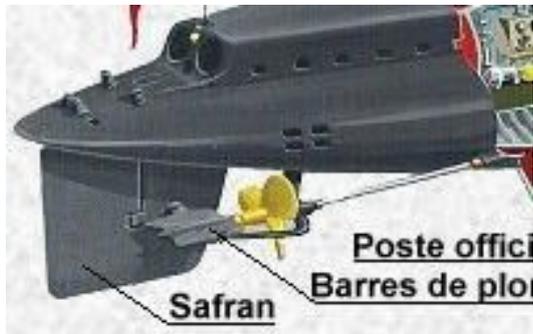


Groupe de 3 capacités formant un régleur - repère 6

Un autre groupe de trois capacités est observable deux capacités encore liées, la troisième séparée des deux premières, proche de la structure de coque – **repère 25**, montré ci-dessous :



4.- La poupe repère 3 couchée sur tribord :



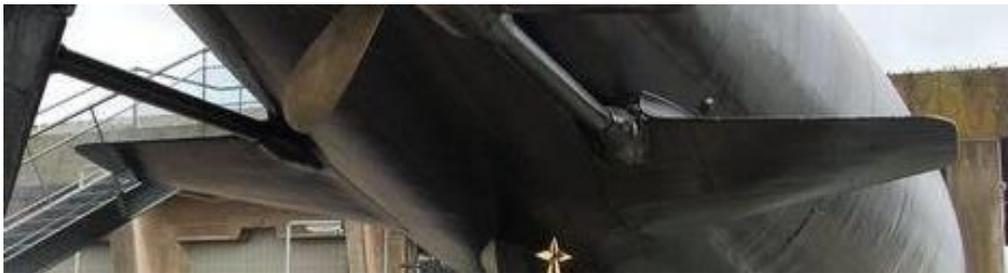
On distingue nettement une section arrière relativement intègre longue de 6 mètres où l'on identifie aisément:
 L'extrême arrière, appelé familièrement « cul de poule » du sous-marin ;
 Le safran de **direction dans l'axe du sous-marin** ;
 L'hélice, la chaise de l'hélice arrachée, la ligne d'arbres et le palier de sortie de l'étambot Bd., et le carénage (conique) de la L.A bâbord ;
 La barre de plongée bâbord en place, avec un léger angle à descendre d'environ 10°.



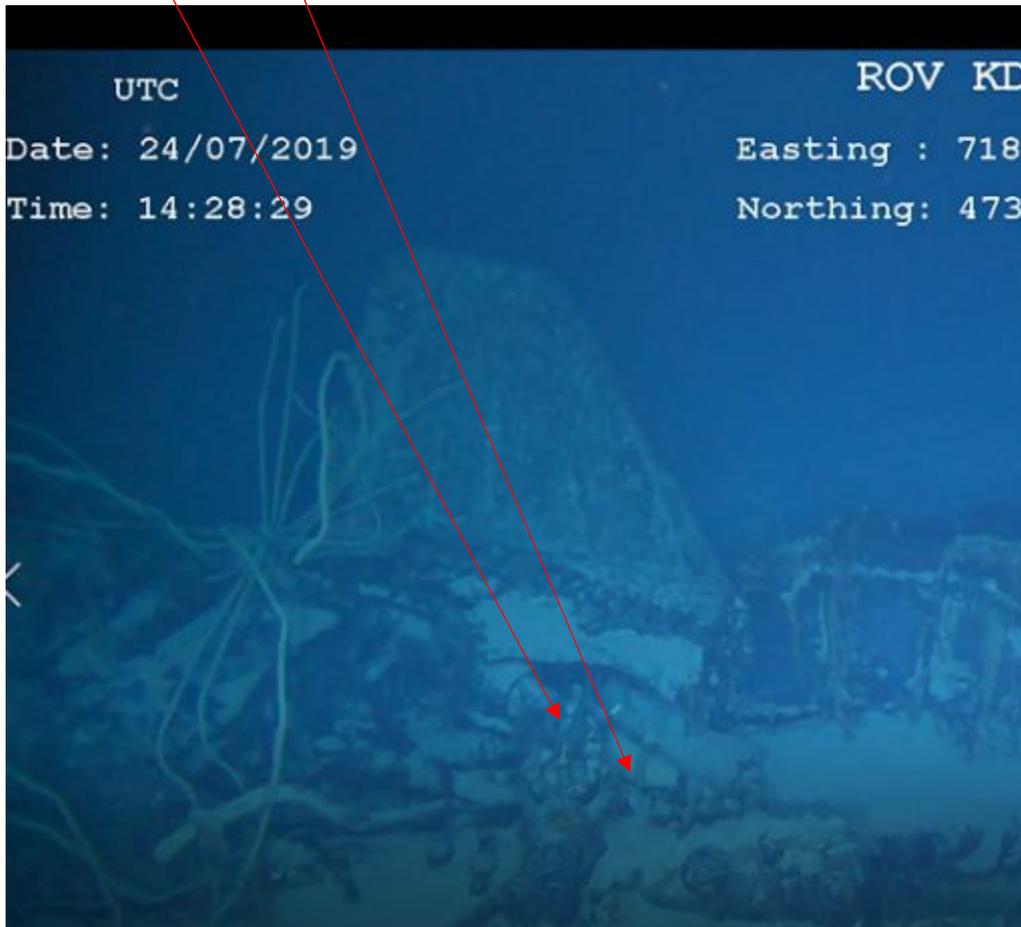


L'aileron de stabilisation bâbord ; la section de coque sur l'avant de l'aileron, effondrée sur la longueur du poste officiers-mariniers, soit 5 mètres, incluant le panneau arrière.

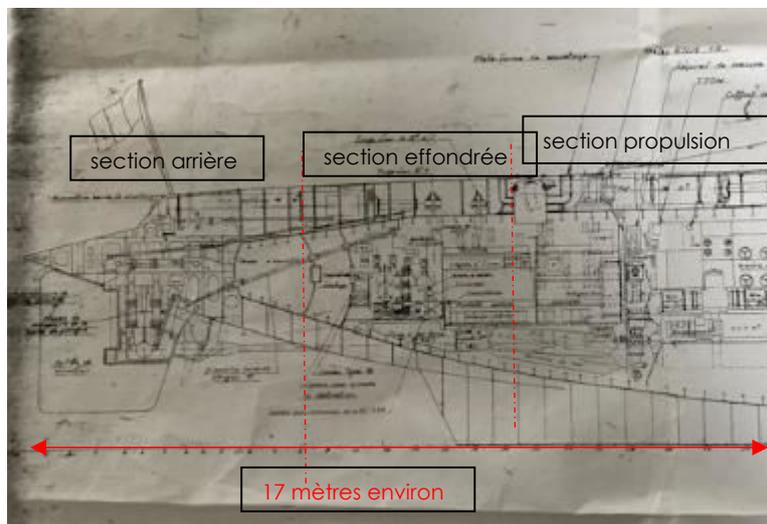




Les purges des ballasts 1
La ligne d'arbres bâbord à l'intérieur de la coque épaisse



Une section de coque sur l'avant du poste officiers-mariniers longue de 7 mètres, englobant la section des MEP et des armoires électriques non identifiables sur les prises de vue



5.- la proue repère 2 couchée sur tribord :

Le groupement microphonique en bulbe à la partie inférieure, carénage arraché, la quille, les huit TLT avant ; porte avant fermée, volets tordus, en position chaotique entre fermés et ouverts.



Le sonar avant à la partie supérieure,

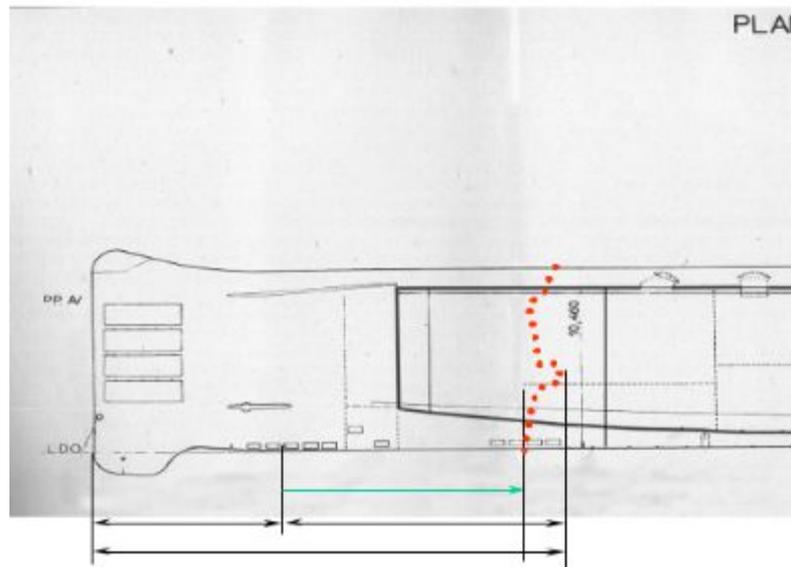


La partie intègre de la proue s'arrête entre l'arrière des TLT sur l'avant du poste avant et le milieu avant du poste avant.

Coté proue. Le positionnement de la rupture est donné par la position des ouvertures de remplissage du ballast 4 bâbord (cf. image au temps 16 :14 :59), un plan de coupure peut ainsi être placé sur l'arrière des purges du ballast 4.

Ces positionnements relativement précis, permettent de vérifier que la partie avant arrachée mesure 14 m.

Le schéma ci-dessous positionne la ligne de rupture de la proue du reste de la coque épaisse :

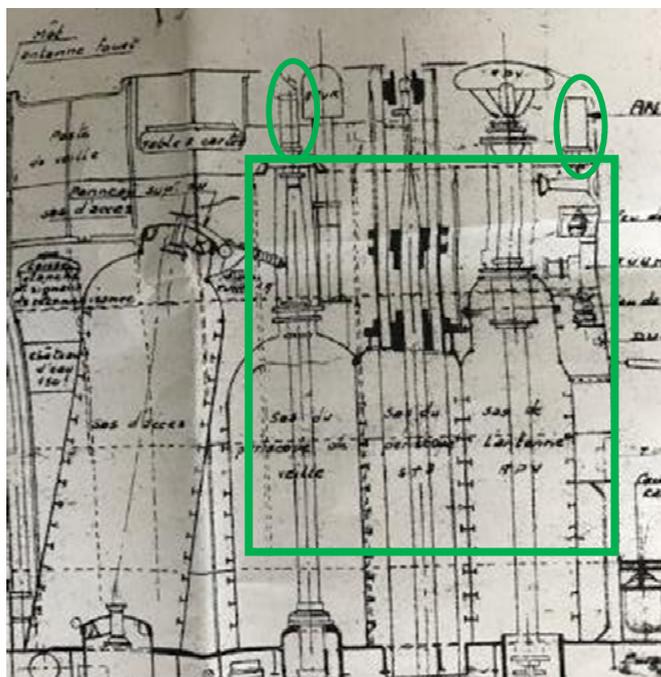


6.- une partie supérieure avant du massif repère 1 et une structure posée sur le fond à côté de l'avant gauche du massif

2.6.1. – partie supérieure avant du massif

Elle repose verticalement sur le fond, arraché de la coque épaisse.

La partie observable est encadrée en vert sur le plan ci-dessous :



On distingue nettement :

- la découpe nette du carénage supérieur ;
- l'antenne de réception fixe VLF sur l'avant du massif, intacte ;
- les emplacements des feux de navigation, de la corne de brume ;
- l'antenne UHF rentrée pliée dans ses 40 derniers centimètres,
- le périscopie de veille rentré dans l'axe, mais incliné sur bâbord arrière, fût intègre non écrasé ni éclaté ;
- l'emplacement vide du sas de l'APV – antenne périscopique de veille radar, sas faisant partie du sas trilobé;
- le sas du périscopie d'attaque, sas faisant partie du sas trilobé, palier supérieur apparemment non déformé, le périscopie d'attaque, les presses de hissage du fût - extérieures au sas -, ni la garde

cylindrique qui les protège ne sont visibles; le sas est désaxé incliné vers l'arrière par rapport à sa position nominale

- o le fut de l'antenne fouet ;
- o une partie du sas passerelle

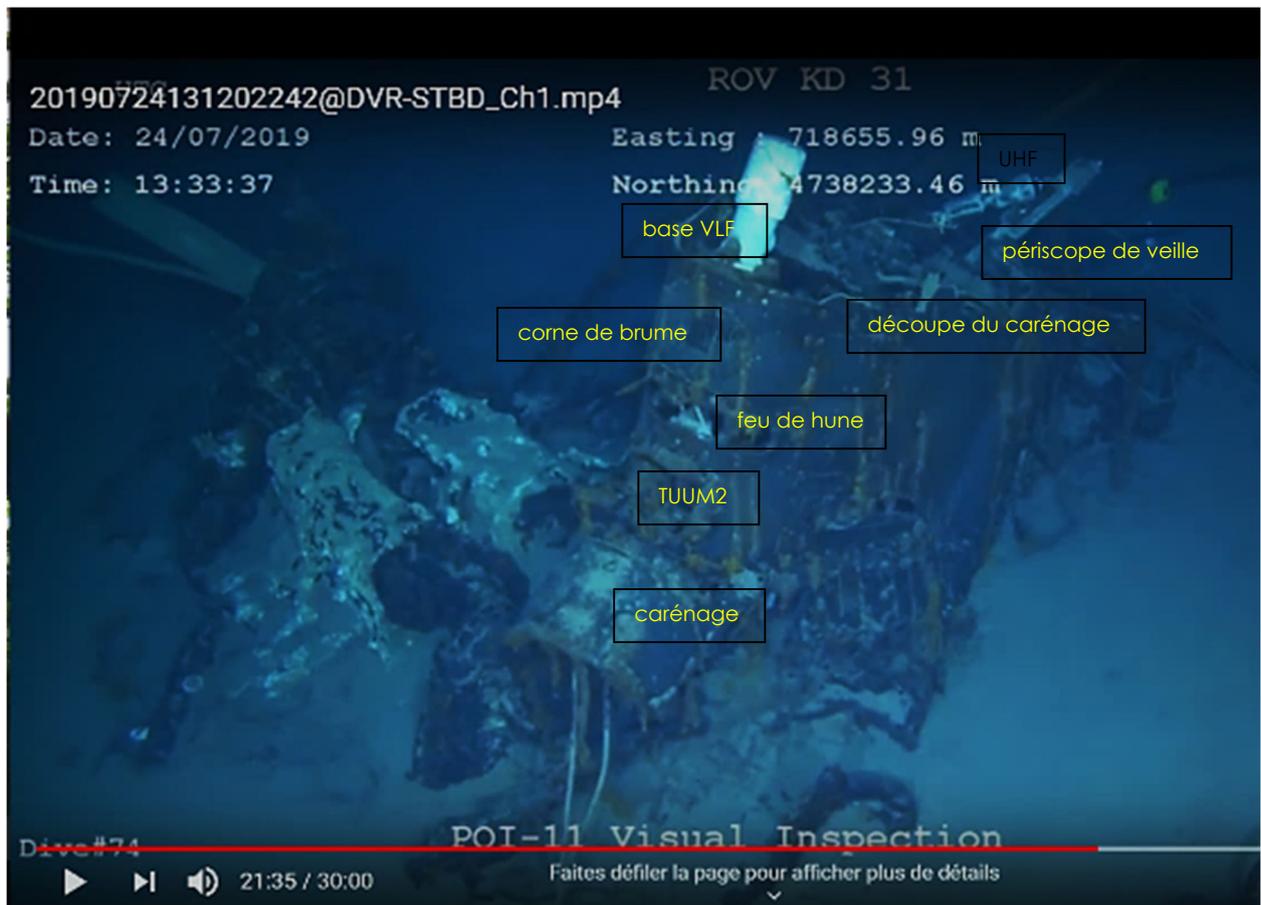
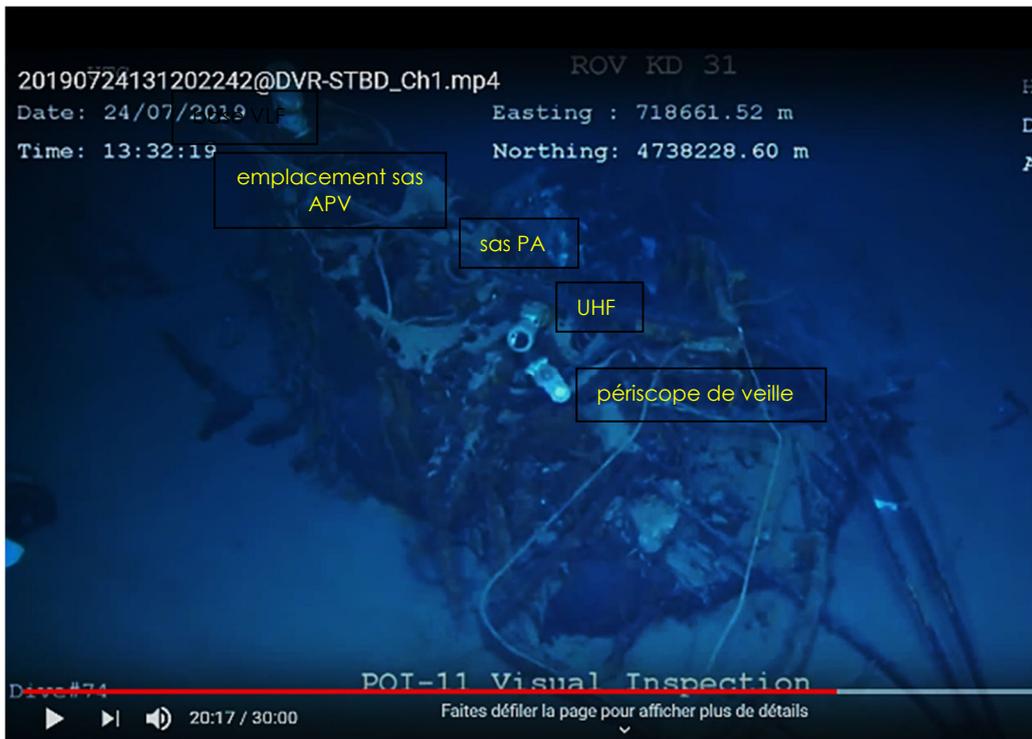




Base fixe VLF, emplacement du sas APV et découpe du carénage supérieur









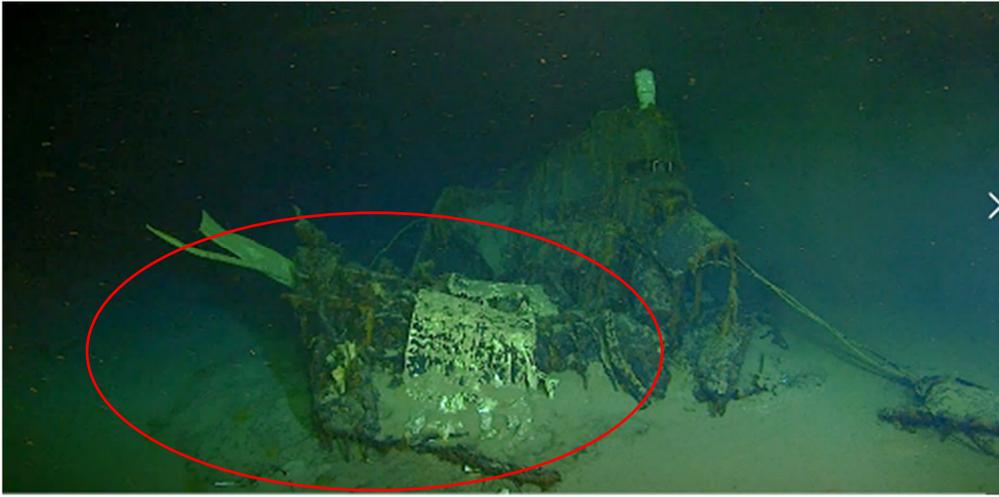


Prise de vue des barreaux du sas passerelle de la FLORE

2.6.2. – Structure posée sur le fond à gauche à l'avant du massif

Une grosse structure couchée sur le fond apparaît séparée à droite de l'avant du massif.





On reconnaît une section du sas APV, mât hissable écrasé et sectionné, un câble d'alimentation.

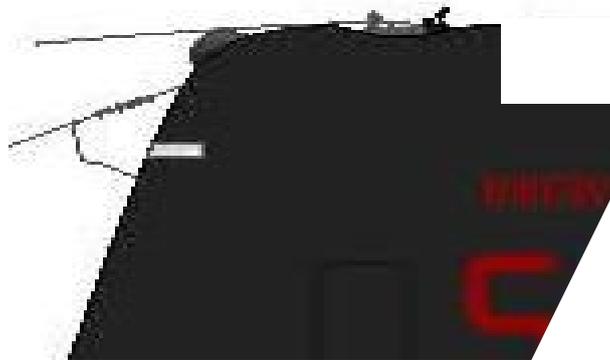
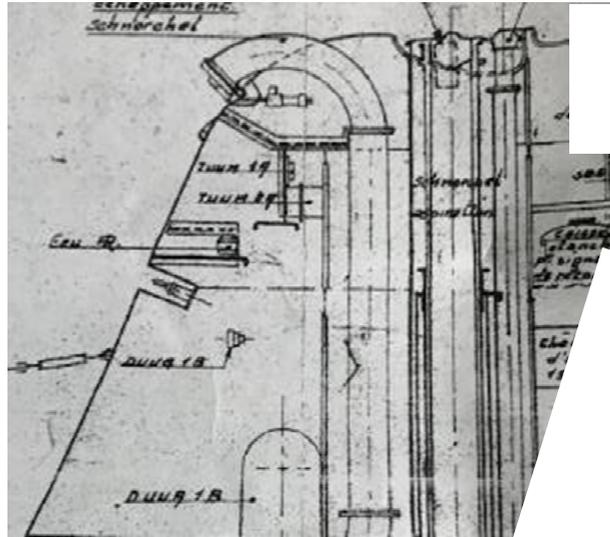
Le reste est difficilement identifiable : enchevêtrement de superstructures... dans lequel, on peut toutefois distinguer quelques équipements, tel l'interphone étanche de passerelle

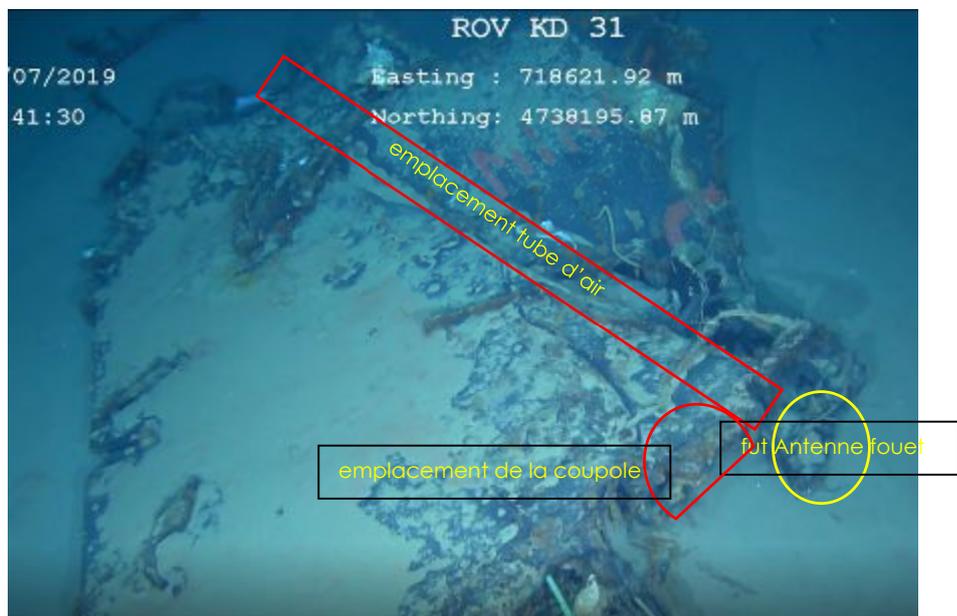


7.- Structure arrière du massif

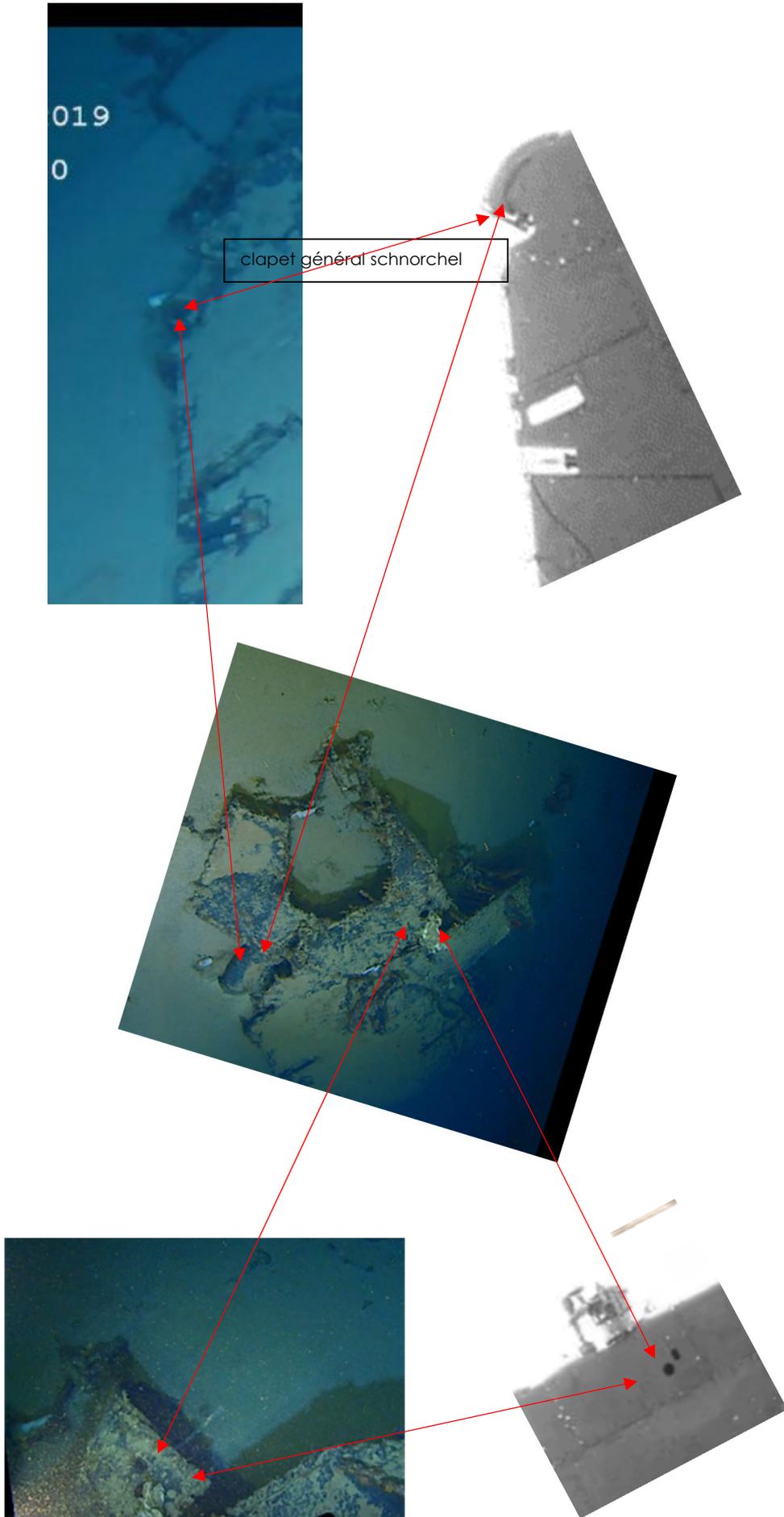
L'arrière-tribord du massif est visible repère 4, relativement intègre est reconnaissable à l'inclinaison de l'arête arrière du massif et à l'échancrure de fixation de l'antenne de pont arrière.

Les inscriptions en rouge, bien conservées, permettant d'authentifier qu'il s'agit bien de la Minerve ;

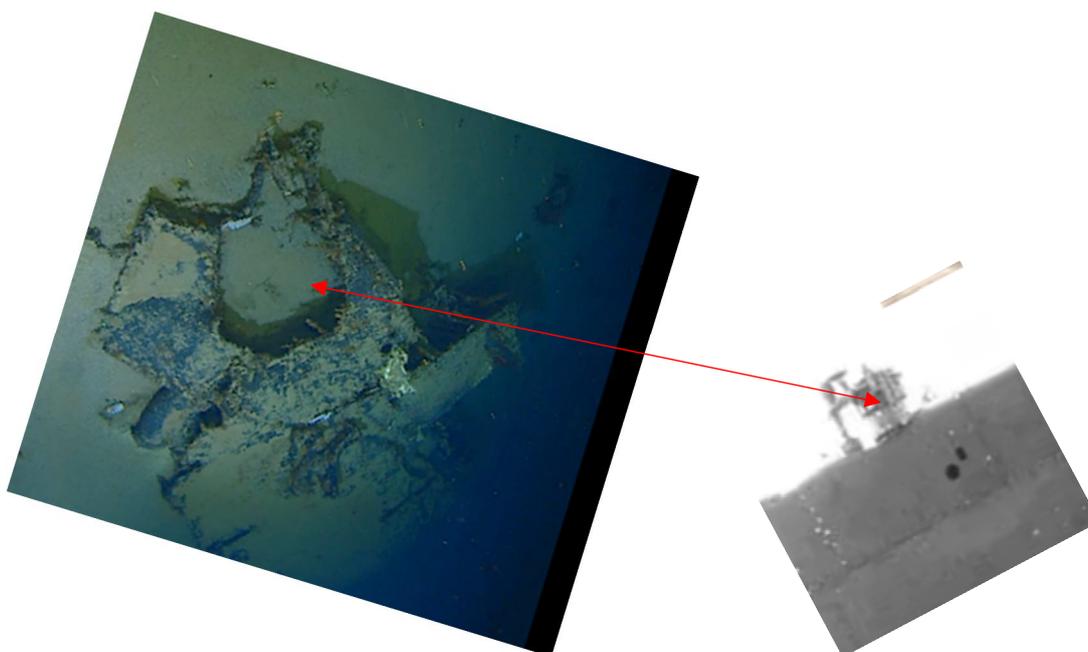




On distingue le clapet d'échappement général schnorchel fermé



Le tube d'air n'apparaît pas en position rentré :



On distingue le pied du fut du tube d'air et celui de l'antenne fouet





Les lettres MIN ainsi qu'une partie du S apparaissent clairement





On distingue le carénage bâbord du massif posé face sur le sable



8.- Carénage supérieur du massif, renversé :

Structure d'une longueur d'environ 7 mètres de long, correspondant à la majeure partie du carénage supérieur du massif, fosse de veille dans la partie gauche de la prise de vue.



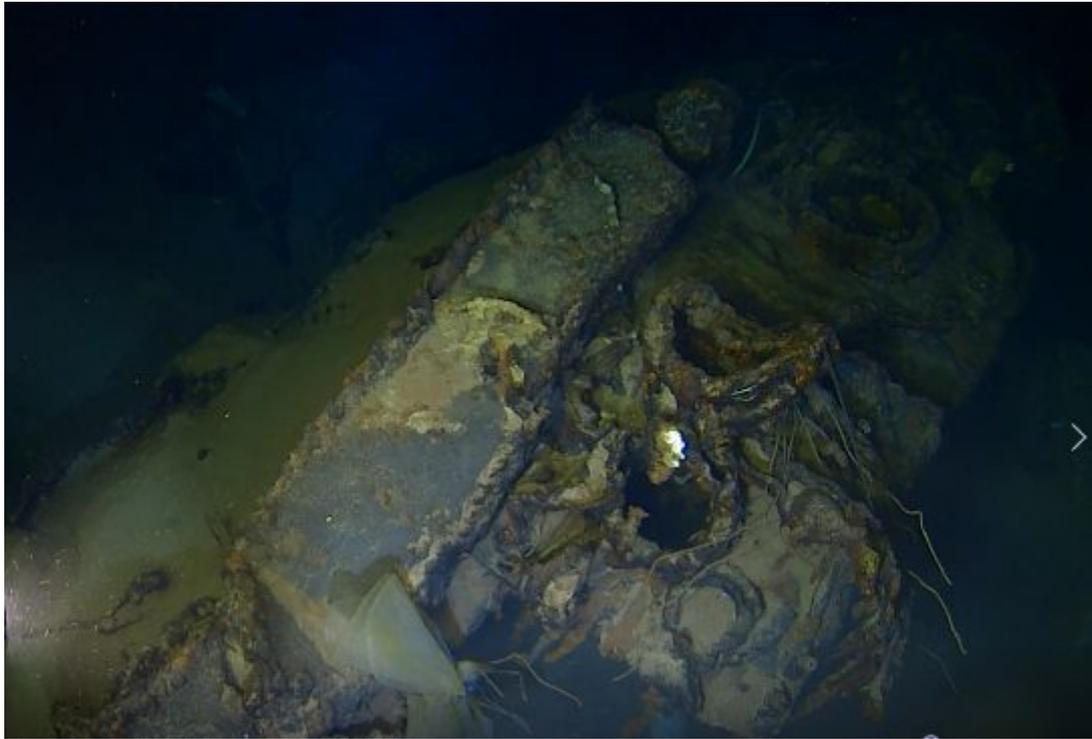


9.- Section centrale de la coque :

La section centrale de la coque a été observée au cours de la plongée du 1^{er} février 2020. Elle complète les sections de la poupe et de la proue. Ainsi l'ensemble de la coque de la Minerve git sur le fond, réparti en 4 grandes structures : proue, poupe, massif lui-même séparé en deux

Ci-dessous sont fournies quelques prises de vue de la section centrale de la coque.





On reconnaît sur cette vue, le Y des collecteurs d'échappement schnorchel ; on se situe donc au niveau de

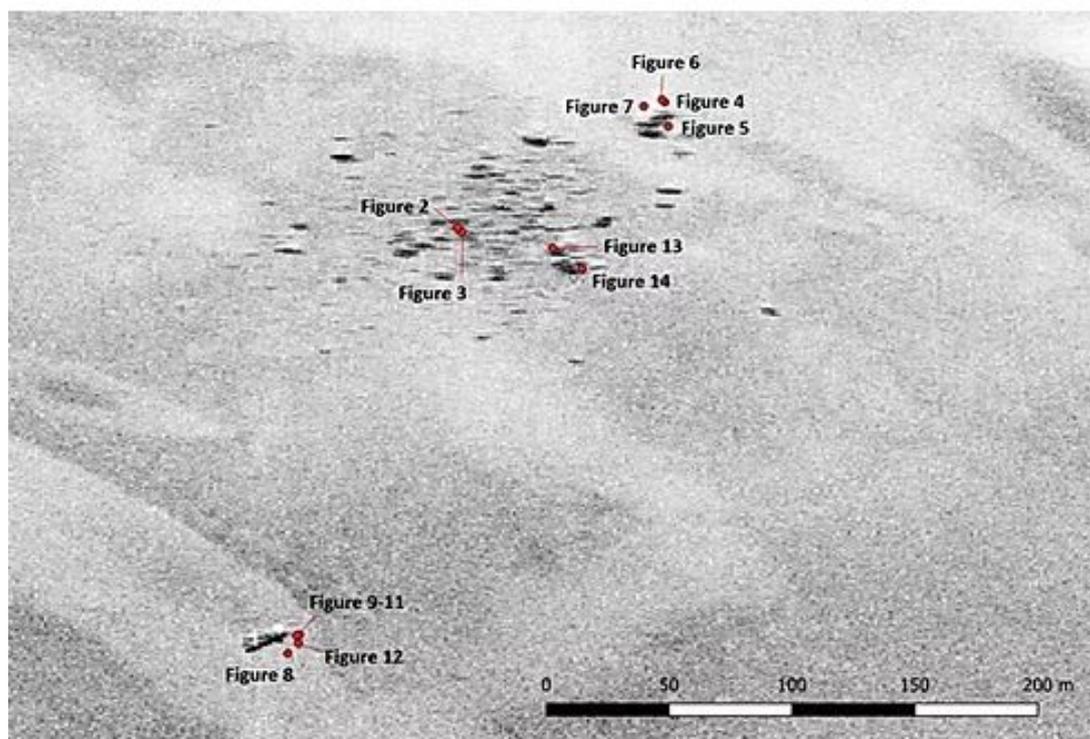




Seconde partie Analyses

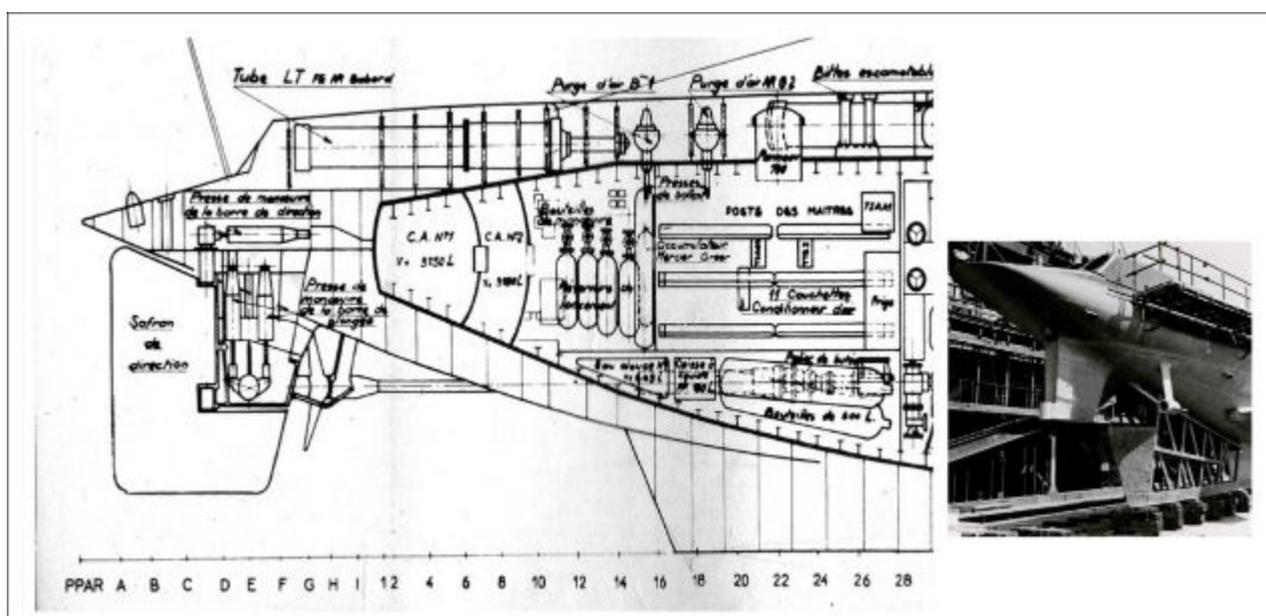
A.- Analyse globale de l'état de l'épave tirée des observations visuelles et des prises de vue

Les débris sont éparpillés sur une surface de 300 mètres de diamètre, une représentation de l'éparpillement est donnée ci-dessous :



La coque a imposé

L'observation de la partie visible de la poupe fait apparaître une partie inférieure de la coque épaisse bien visible – coque circulaire et renforts internes – et une partie supérieure éventrée, déchirée selon une génératrice et une partie effondrée, sur l'avant de la structure. La partie inférieure de la coque peut avoir été protégée par la charpente de la quille, conçue pour rigidifier la poutre navire, et qui a aussi joué un rôle de raidisseur longitudinal.



L'observation de la partie centrale fait apparaître une déchirure de la coque épaisse suivant une génératrice que l'on peut situer à la partie supérieure de la coque épaisse. Cette déchirure passe par le panneau d'embarquement torpilles, point faible de la structure, que l'on renforce par les jambes de force.

Rappelons le phénomène physique qu'est l'implosion.

L'**implosion** est l'inverse de l'[explosion](#). Elle se produit lorsque la pression externe à un objet est plus grande que celle à l'intérieur et que cette différence est assez grande pour briser la résistance mécanique de ce dernier. Elle se produit soudainement au point de rupture de la résistance.

Appliquées à une coque de sous-marin, au-delà d'une certaine valeur critique de la pression d'immersion, la contraction et la flexion de la coque modifient sa forme initiale, qui devient alors instable, ce qui conduit à une modification brutale des formes (des couples et du bordé), et à des déformations irréversibles et illimitées, qui entraînent une rupture tout aussi brutale que rapide.

La coque épaisse du sous-marin est échantillonnée de telle façon, qu'elle périsse toujours par flambement d'ensemble des couples et déchirure du bordé, que la ligne de fracture suit une génératrice (lieu des points les plus chargés), qu'il peut exister une ou plusieurs fractures selon le mode de déformation (à 2, 3 ou 4 lobes), et que la ou les fractures sont très larges et béantes.

L'implosion s'initie et se poursuit suivant une génératrice, elle déchire la coque, l'eau pénètre par cette longue déchirure avec une force considérable (n'oublions pas qu'il s'agit d'un fluide élastique). Le point d'initiation est dans la partie courante de la coque (partie centrale, au maître bau) et la déchirure s'arrête aux extrémités qui sont un peu moins chargées, à cause de leurs formes et des « *effets de cloisons* ».

Les caractéristiques observées sur l'épave de la MINERVE sont cohérentes avec l'observation d'une implosion.

Conséquences de l'implosion

Les superstructures de pont sont arrachées ; elles sont projetées par le choc, et elles continuent, dispersées, leur descente vers le fond.

La proue est arrachée de la partie centrale de la coque épaisse par le choc de l'implosion. Les tubes lance-torpilles avant, fermés, sont intègres, car en eau en position de repos, donc formant un ensemble résistant à la pression ;

La charpente avant, en équilibre avec l'eau de mer, est intègre.

L'ensemble avant avec les tubes lance-torpilles internes constitue une structure qui a résisté à l'implosion et a été arrachée de la partie centrale de la coque épaisse.

La poupe est arrachée de la section centrale de la coque épaisse par le choc de l'implosion. La charpente arrière en équilibre avec l'eau de mer, est intègre.

Les tubes lance-torpilles arrière en eau donc formant un ensemble résistant à la pression, sont arrachés de la coque épaisse par le choc de l'implosion donc

Le massif est arraché de la coque épaisse lors de l'implosion.

Il repose en deux parties séparées d'une soixantaine de mètres.

L'arrière du massif est préservé.

La partie milieu, correspondant au sas passerelle, est détruite.

L'avant du massif a été relativement préservé, car les différentes capacités présentes n'ont pas implosé : le sas APV a été éjecté, le sas du PA - PA arraché - s'est rempli d'eau et a été équilibré, le sas du PV et les enveloppes de l'UHF et de l'ARUR se sont eux aussi remplis d'eau et équilibrés.

Les ensembles arrachés et séparés de la coque épaisse au moment de l'implosion de cette dernière ont continué leur descente jusqu'à se poser sur le fond, selon une loi hydrodynamique complexe compte tenu de leurs formes respectives selon un cône de dispersion.

Le phénomène est comparable, différence des viscosités des fluides en présence prise en compte, avec la chute vers le sol d'un avion volant à 30.000 pieds et subissant une avarie qui le conduit à piquer vers le sol. La carlingue explose, dont on ne retrouve que des débris éparpillés sur le sol.

Les débris de la Minerve sont dispersés sur environ 310 m à 2270 m de fond. Un calcul simple de trigonométrie, prenant en compte un cône de dispersion des débris d'ouverture comprise entre 10 et 15°, lié à la viscosité de l'eau de mer, permet de calculer que la destruction de la coque se situe entre 513 et 1085 m. L'immersion maximale de la Minerve est de 300 mètres ; les circuits eau de mer sont éprouvés à une pression équivalente à 450 mètres. La coque résiste jusqu'à une immersion de 600 mètres.

L'observation des débris de la Minerve correspond bien à une implosion survenue aux environs de 700 - 800 mètres.

Conclusion :

La Minerve a implosé à une immersion plus grande que 600 mètres, que l'on peut supposer entre 800 et 1000 mètres. Les parties en équipression avec l'eau de mer – superstructures, poue, poupe TLTE et TLTI- n'ont pas subi ce phénomène, mais ont été violemment arrachées au moment de l'implosion.

B.- Recherche des causes possibles de la perte de la MINERVE - Passage des causes possibles, simples et complexes, au filtre des indices relevés

Ce que l'on sait où que l'on peut déduire de l'environnement du sinistre, de l'historique connu de la Minerve a été rappelé en début d'étude cf. paragraphe A.-2

La MINERVE a coulé jusqu'à son immersion de destruction, ce qui est bien la preuve qu'elle a perdu à la fois le contrôle de sa pesée et la maîtrise de sa manœuvre.

La coque épaisse a péri par implosion.

Cause rejetée de l'étude : talonnage

La Minerve naviguait par 2300 mètres de fond. L'erreur de navigation, pouvant conduire la Minerve à naviguer à proximité des petits fonds au nord de son secteur, est exclue, de même qu'un transit vers les petits fonds après la perte de contact avec l'avion.

1.- Incendie

Aucun indice d'incendie n'est visible sur les prises de vue ni par observation visuelle, 50 ans après les faits.

En l'absence d'indice, revenons à l'étude de cas d'un incendie.

Un incendie à bord en plongée est un événement particulièrement redouté. Il peut causer la perte d'un sous-marin, par l'incendie initial lui-même, mais aussi par tout un enchaînement de phénomènes, conséquences de l'incendie initial et de l'action de l'équipage.

Les forces sous-marines américaines ont perdu un sous-marin à propulsion diesel électrique - le BONEFISH –en raison d'un incendie mal maîtrisé survenu après une explosion et d'une conduite inappropriée de la lutte contre la propagation de l'incendie et en particulier de la ventilation post incendie.

Types d'incendies possibles

a/ Incendie batterie

Créé par un court-circuit, un déversement d'électrolyte, un incendie batterie est détecté par la fumée dégagée dans le circuit de ventilation du bord, la batterie étant maintenue en dépression.

Les parades principales sont la mise en œuvre du système d'extinction fixe, commandé à partir du CO, l'isolation de la ventilation batterie.

Conséquences

L'incendie batterie entrainera le déclenchement des disjoncteurs de tête de batterie, donc la perte de l'éclairage et de la propulsion.

S'il est détecté à temps, si les parades sont mises en œuvre dans les délais, un incendie batterie sera maîtrisé et ne conduira pas à la perte du sous-marin.

Non maîtrisé pour quelque raison que ce soit, l'incendie peut dégénérer, entrainer une explosion batterie. On est alors ramené au cas de l'explosion batterie.

L'action de l'équipage est déterminante pour confiner l'incendie dans la batterie et décider du retour en surface.

L'évolution de la situation dépend de l'immersion à laquelle se produit l'incendie batterie et de l'état de la pesée du sous-marin.

- Cas de l'incendie batterie, Minerve au schnorchel : l'alerte a été donnée. Les moyens de lutte sont mis en œuvre. Le retour en surface est ordonné ; la MINERVE conservait la possibilité de contacter la terre par moyens HF, au besoin par l'émetteur HF de secours ;
- Cas de l'incendie batterie, Minerve en plongée, en cours de descente en immersion après l'alerte. Les moyens de lutte sont mis en œuvre. Le retour en surface est ordonné ; la MINERVE conservait la possibilité de contacter la terre par moyens HF, au besoin par l'émetteur HF de secours.

b/ Incendie diesels

Le risque d'incendie diesel existe, diesels en fonction, en surface ou au schnorchel.

Les parades existent : système d'extinction fixe du V du diesel.

Les actions à conduire sont connues : donner l'alerte 12 mètres ; faire surface ; couper l'alimentation en gazole, actionner le système d'extinction.

En tant que telle, si elle survient seule et si l'équipage réagit, une telle avarie n'a pas pu causer la perte de la MINERVE.

Si le système d'extinction n'a pas fonctionné, si l'équipage a mal réagi, le feu a pu s'étendre à l'intérieur du bord, causer plus de dégâts et mettre la MINERVE en danger après le retour en surface. La MINERVE gardait la possibilité de contacter la terre par moyens HF, au besoin par l'émetteur HF de secours.

c/ Incendie cuisine

Le plus grand risque est l'incendie de friteuse. L'utilisation de friteuse est interdite à bord.

Le sinistre s'est produit le matin ; on peut raisonnablement supposer que la cuisine n'était alors pas active.

Conclusion

Un incendie non maîtrisé peut conduire l'équipage à ne plus être capable d'agir ou de contrôler la situation. Dans le cas de la MINERVE, le retour en surface était la conséquence de la survenance d'un incendie. La MINERVE aurait alors contacté la terre, ce qui n'a pas été le cas. La cause d'un incendie n'est pas retenue comme cause de la perte de la MINERVE.

2.- Avarie électrique

Aucun indice d'avarie électrique n'est décelable sur les prises de vue ni par observation visuelle, 50 ans après les faits.

Une avarie électrique peut avoir plusieurs origines : avarie électrique d'un auxiliaire, d'un équipement, défaut d'isolement, avarie du disjoncteur de tête de batterie.

Les conséquences d'une avarie électrique seule ne conduisent pas à la perte du sous-marin.

Une avarie des disjoncteurs de tête de batterie protégeant les moteurs de propulsion, ramène à une avarie de propulsion.

Conclusion

Une avarie électrique est exclue des causes de la perte de la MINERVE.

3.- Avarie de propulsion

Aucun indice d'avarie de propulsion n'est décelable sur les prises de vue ni par observation visuelle, 50 ans après les faits.

L'avarie de propulsion laisse le sous-marin à l'immersion à laquelle se produit l'avarie, courant sur son erre, dans l'état de sa pesée au moment de l'avarie.

Au schnorchel, une telle avarie entraîne l'alerte schnorchel.

C'est la finesse de la pesée du sous-marin au moment de l'avarie qui va déterminer l'évolution de son attitude : pesé léger il aura tendance à remonter, pesé lourd, il aura tendance à couler.

En dehors de la remise en fonction de la propulsion, la parade consiste à annuler les effets d'une mauvaise pesée initiale par mouvements d'eau aux régleurs de manœuvre voire de sécurité et aux caisses d'assiette ainsi qu'éventuellement par la chasse au redressement, voire la chasse globale pour faire surface.

Le retour en surface doit être maîtrisé et en particulier l'assiette doit être contrôlée.

Le sous-marin est normalement bien pesé ; l'équipage est normalement apte à régler les problèmes de pesée du sous-marin, à très faible allure.

Sous-marin profond - en dessous de 100 mètres-, la perte de la propulsion doit être traitée d'autant plus rapidement que le sous-marin est profond et mal pesé.

La promptitude des réactions de l'équipage est primordiale.

Pour ce qui concerne la MINERVE, les prises de vue montrent le clapet général schnorchel fermé, ce qui indique que l'équipage a réagi et a donné l'alerte.

Ainsi, si, pour la MINERVE l'avarie de propulsion s'est produite au schnorchel l'alerte a été donnée, la MINERVE est pesée lourd - entre 3 et 4 tonnes -, compte tenu des conditions météorologiques. La MINERVE a donc eu tendance à perdre rapidement l'immersion.

L'équipage, en mesure de réagir - l'alerte a été donnée, est en mesure de redresser la situation par les chasses aux régleurs, la chasse HP et de revenir à l'immersion périscopique.

Si l'avarie de propulsion s'est produite en cours de descente, la MINERVE avait dû commencer à reprendre sa pesée par pompage aux régleurs ; elle était donc moins lourde lorsque l'avarie s'est produite ; l'équipage était en meilleure posture pour reprendre la situation en main, après une légère perte d'immersion.

Conclusion

Une avarie de propulsion est écartée des causes de la perte de la MINERVE.

4.- Explosion

Aucun indice d'explosion n'est décelable sur les prises de vue ni par observation visuelle, 50 ans après les faits. Les déchirements de la coque procèdent du phénomène d'implosion.

4.1.- Capacités sous pression

Les capacités sous pression, telles que bouteilles d'air HP- carter GE – accumulateurs de station d'huile, peuvent être à l'origine d'une explosion., suite à un dysfonctionnement, un court-circuit, ...

Une telle explosion provoquera des dégâts directs et collatéraux au personnel et au matériel.

Une explosion d'un groupe d'air sera plutôt une conséquence d'un autre évènement initiateur- chaleur extrême... – qu'un phénomène initial.

Une explosion d'un carter GE impactera le compartiment diesel et provoquera des dégâts sur les circuits de ce compartiment, mais ne mettra pas l'équipage dans l'incapacité de réagir. Au schnorchel, l'alerte est donnée, en immersion, le retour à l'IP voire en surface est ordonné

Des explosions de station d'huile se sont déjà produites à bord des sous-marins type Narval à quai. Elles ont causé dégâts matériels et humains. Mais elles n'ont pas porté atteinte aux circuits eau de mer, ni au SVO, ni à la caisse à eau de mer, ni aux compartiments voisins, parmi lesquels, à bord d'une Daphné, le

compartiment batterie arrière. Ainsi, si l'accident s'était produit en plongée, il n'aurait pas porté atteinte à l'intégrité du sous-marin.

La perte de la station d'huile conduit à la perte des barres et donc à une avarie de barres.

On est ramené au scénario de l'avarie de barre, aggravé par les dégâts matériels et humains aux auxiliaires. L'équipage est normalement capable de réagir dans cette situation de stress : la propulsion, la chasse HP restent disponibles.

Conclusion

Une explosion seule survenant sur une fonction autre que la batterie est écartée des causes de la perte de la MINERVE.

4.2.- Explosion Batterie

Aucun élément de la batterie n'est décelable sur les prises de vue ni par observation visuelle, 50 ans après les faits.

L'explosion d'une des deux batteries, voire des deux batteries est à même de détruire une grande partie de l'intérieur du sous-marin, les installations permettant de redresser la situation et de blesser ou causer le décès de membres de l'équipage.

Le scénario de l'explosion batterie a fait l'objet d'un long travail, de longs et nombreux débats et échanges avec de nombreux anciens sous-marinières, au cours de cette étude.

Il existe au moins un exemple d'explosion batterie dans les forces sous-marines françaises, survenu à bord de la DORIS en surface, qui a fait des dégâts, des blessés et des morts, mais qui, avec l'intensité à laquelle elle s'est produite, n'a pas porté atteinte à l'intégrité de la coque épaisse.

Les données sur les circonstances détaillées de la survenance de l'accident de la DORIS permettent de conclure que la cause de cet accident réside dans une succession de dysfonctionnements et de négligences: mauvaise disposition de la ventilation et un mauvais fonctionnement de l'hydrogénomètre.

On peut estimer que l'explosion batterie portera atteinte au compartimentage des éléments batteries, aux panneaux batterie, au parquet du CO et du carré officiers en les déformant ou en les déchirant.

Le compartiment des auxiliaires adjacent sur l'arrière du compartiment de la batterie arrière, peut être atteint par éventration de la cloison batterie arrière/auxiliaire.

Un incendie au carré, au CO s'ensuivra le plus vraisemblablement.

Les conséquences sont les suivantes :

- Au personnel : blessés et tués ; capacités de l'équipage à réagir dégradées;
- Au matériel :
 - o Perte de la propulsion et de toute énergie électrique – Intérieur du sous-marin dans le noir ;
 - o Incendie consécutif à l'explosion ;
 - o Destruction des équipements de détection situés au CO y compris les périscopes ;
 - o Rupture possible de circuits dont vannes de coque, et donc risque de voie d'eau ;
 - o Indisponibilité de certains circuits

L'explosion de la batterie de la Minerve, si elle s'est produite, peut-elle être une cause possible de la perte du sous-marin ?

Données initiales :

L'état de la batterie de la MINERVE est qualifié de bon, à la lecture des pièces mises à ma disposition.

La batterie de la MINERVE était neuve et n'avait donné lieu à aucune observation préalablement à sa disparition.

Elle n'était pas le siège d'une surproduction d'hydrogène en raison de son âge ou des ampères-heures accumulés.

L'état intrinsèque de la batterie de la Minerve n'est pas en cause.

Si une explosion batterie s'est produite, ce n'est pas en raison d'une surproduction d'hydrogène lié à l'état de la batterie.

Donnée de circonstance

Un exercice incendie batterie a été conduit au cours de la mise en condition en présence de l'officier entraînement, précédant le moment des faits.

Une mauvaise redistribution des circuits et des appareils de mesure peut-elle à l'origine de la montée du taux d'hydrogène à l'insu de l'équipage, jusqu'à un taux propice à une explosion ?

Pour qu'une accumulation d'hydrogène se produise, il faut que les circuits de ventilation batterie aient été mal redistribués, par exemple à l'issue d'un exercice.

Les deux compartiments batterie sont ventilés et mis en dépression ; ventilation et dépression sont surveillés par les appareils de mesure; le taux d'hydrogène est surveillé par l'hydrogénomètre ; des rondes batteries sont effectuées régulièrement.

Pour que la montée du taux d'hydrogène passe inaperçue, il faut que les appareils de surveillance des compartiments : hydrogénomètre, débitmètre et dépressiomètre soient mal redistribués ou présentent un dysfonctionnement.

Or, la reprise des dispositions normales de ventilation est systématique à la fin de chaque exercice.

En outre, l'officier entraîneur est encore à bord lors de l'exercice conduit à bord de la MINERVE; il a un œil extérieur, il est au-dessus de la mêlée, il est le garant du maintien de la sécurité plongée pendant les exercices et après ; la reprise des dispositions normales est un de ses soucis majeurs, je l'ai vécu, comme nombre d'autres officiers entraînement.

À l'issue de la mise en condition, la MINERVE a fait surface, a rallié la rade des Vignettes puis est repartie vers les secteurs où elle a replongé. Ces séquences imposent le changement de tenue du sous-marin – tenue de veille -> tenue de navigation ou à minima clavetage des purges puis -> reprise ou vérification de la tenue de veille.

Le mode de ventilation change avec la tenue du sous-marin: tenue de navigation en surface et ventilation surface; tenue de veille et ventilation plongée. Il y a eu changements de type de ventilation ; à chacune de ces occasions, le point cardinal est le maintien de la ventilation batteries ; il a forcément été vérifié.

Ces séquences imposent des vérifications et des prises de dispositions, entre autres sur la ventilation.

Des rondes batteries ont également eu lieu.

Entre la fin de la redistribution des circuits après l'exercice, hydrogénomètre, débitmètre et dépressiomètre ont été surveillés, observés à plusieurs occasions, leurs valeurs relevées.

Si l'un ou l'autre appareil de mesure donne une indication incorrecte, de trois choses l'une :

- l'appareil est mal redistribués, mais la ventilation est correcte,
- l'appareil est mal redistribués et la ventilation est incorrecte,
- l'appareil est correctement redistribués et la ventilation incorrecte

Dans les trois cas de figures, l'anomalie est perçue et déclenche une réaction du personnel électricien pour vérification et reprise de la situation normale.

Entre la fin de l'exercice et la perte de contact avec l'avion, les relèves de quart se sont succédé. Les indications des appareils de mesure sont relevés selon les consignes et aux relèves de quart.

Une accumulation de défauts de surveillance d'un point majeur de sécurité plongée pendant une si longue période ne relève que de l'impréparation ou de la négligence de l'équipage.

S'il se produit une explosion batterie - en bon état initial - au moment des faits à bord de la MINERVE, cela est dû :

- à une montée très importante du taux d'hydrogène liée à un défaut de ventilation, lui-même conséquence d'une mauvaise disposition des circuits ;
- à la non-détection du défaut de ventilation au travers des séquences de vérifications conduites depuis la fin de l'exercice incendie batterie ;
- et /ou l'absence de réaction de l'équipage face aux indications des appareils de mesure indiquant absence de débit et de dépression, soit parce que c'était le cas, soit parce qu'ils étaient eux-mêmes mal redispesés.

Une telle succession de défaillances de surveillance de la part de l'équipage est très improbable.

Survenant au schnorchel ou en descente en immersion, une explosion batterie, conséquence de la succession de défaillances décrites ci-dessus, ne peut provoquer la rupture de la coque épaisse par la surpression dégagée par l'explosion.

En revanche, elle peut provoquer d'importants dégâts au personnel et au matériel en fonction de l'énergie dégagée par l'explosion, pouvant aller jusqu'à provoquer l'incapacité de l'équipage à réagir et être à l'origine de rupture de passage de coque entraînant une voie d'eau de petite à moyenne importance.

Le cumul des deux – incapacité ou lenteur de l'équipage à réagir et voie d'eau – peut conduire à la perte d'immersion inexorable du sous-marin.

L'analyse des observations visuelles et des prises de vue de l'épave montrent des déchirures de la coque selon une génératrice ; l'observation de la section arrière de la coque montre un effondrement des structures plus qu'un éclatement de ces dernières ; l'observation de la partie centrale de la coque fait apparaître une coque implorée plus qu'explosée. L'examen de certaines déchirures a conduit dans un premier temps à les relier à une explosion ; de fait, il s'agit des parois de ballasts ou de soutes à gazole extérieures ayant été arrachées de la coque épaisse au moment de l'implosion de cette dernière.

Conclusion

Une explosion de l'une ou des deux batteries d'un sous-marin type DAPHNE cause de gros dégâts au personnel et au matériel pouvant aller jusqu'à entraîner une voie d'eau en plongée non par rupture de la coque épaisse, mais par la rupture de sectionnements de coque.

L'explosion batterie survenant au schnorchel retardera, voire obérera les réactions de l'équipage à l'alerte et rendra le sous-marin vulnérable à tout autre incident.

Toutefois, l'absence d'indice flagrant d'explosion et l'analyse des causes possibles de survenance d'une explosion batterie à bord de la MINERVE conduisent à conclure que l'explosion de sa batterie serait la conséquence d'une longue série de lourdes défaillances dans la conduite et la surveillance de la batterie par l'équipage.

L'explosion batterie n'est pas retenue parmi les causes de la perte de la MINERVE.

5.- Absence de réaction de l'équipage

Plusieurs dysfonctionnements peuvent conduire l'équipage à être dans l'impossibilité de réagir à une avarie.

5.1.-Dépression intérieure

Une dépression de l'intérieur du sous-marin, allant très en deçà de 200 millibars, entrainera la perte de connaissance de l'équipage.

La cause d'une telle mise en dépression réside dans le non-arrêt des GE, en particulier lors de l'alerte schnorchel.

La survenance d'un tel phénomène est avérée ; les équipages s'entraînent à réagir face à un tel incident. Un cas de forte dépression a été recensé, par non-arrêt des GE, le sous-marin naviguait en surface et avait été impliqué dans une collision. Des membres d'équipage ont perdu connaissance par manque d'oxygène. Les parades sont connues: charger le GE pour qu'il finisse par s'arrêter en calant, sous-marin en plongée, revenir à l'immersion périscopique, rehisser le tube d'air, ouvrir la coupole et équilibrer la pression intérieure avec la pression atmosphérique.

Difficulté possible : non-hissage du tube d'air et non-réouverture de l'obturateur de la coupole en raison de la trop forte dépression.

Faire surface est alors la solution ; l'ouverture des sectionnements du portevoix permet un rééquilibrage lent, s'il s'avère que le panneau supérieur du sas passerelle ne peut être ouvert. ,

La mise en œuvre de ces processus était à la portée de l'équipage de la MINERVE. Les réactions doivent être mises en œuvre avec célérité.

La MINERVE n'a pas refait surface, ni n'a émis HF vers la terre. Ainsi :

- soit les réactions à l'immersion périscopique ont été couronnées de succès, et la MINERVE n'a pas eu besoin de revenir en surface pour traiter l'incident ;
- soit non - fonctionnement inexorable du GE, dépression croissante, impossibilité de hisser le tube d'air et d'ouvrir l'obturateur coupole, totalité de l'équipage évanoui, retour en surface non déclenché, MINERVE livrée à elle-même.

Conclusion

Les prises de vue de l'épave ne laissent apparaître aucun indice d'un tel incident. L'équipage a donné l'alerte schnorchel et était donc alors en mesure de réagir.

Seule l'hypothèse de la perte de conscience de l'ensemble de l'équipage en raison de la dépression peut expliquer que le non-arrêt d'un GE conduise à la perte de la MINERVE.

Cette hypothèse est retenue.

5.2.- Intoxication par un gaz nocif

Gaz CO - CO²-

Le taux de CO² est sous contrôle par le biais du carbonimètre. Le taux d'oxygène est sous contrôle par le biais de l'oxygénomètre.

Une défaillance simultanée de ces appareils est exclue.

La montée du taux de CO peut se produire par une émanation des gaz d'échappements dans le bord. Elle sera associée à un dégagement de fumée qui fera réagir l'équipage.

Cette cause est peu probable, elle n'est pas retenue.

Fréon

Des cas d'intoxication au fréon, à quai ou à la mer ont été observés. Les symptômes ont permis de détecter la présence d'un gaz nocif et de réagir.

Cette cause est peu probable, elle n'est pas retenue.

Conclusion

Sur la base du raisonnement et en l'absence de tout indice, l'hypothèse de la perte de conscience de l'ensemble de l'équipage en raison de la dépression due au non-arrêt d'un GE est retenue comme cause possible de la perte de la MINERVE.

6.- Avarie de barre de plongée arrière bloquée à descendre

Le rapport d'enquête sur l'accident de la MINERVE décrit très bien les phénomènes et leurs conséquences, en cas de réaction nominale et non nominale au matériel et au personnel.

Les parades face à l'avarie de barre de plongée arrière sont simples, connues et pratiquées par les équipages :

- Au schnorchel, donner l'alerte ;
- dans tous les cas : stopper et battre en arrière pour casser l'erre,
- En cas de prise d'assiette négative : mettre la barre de direction toute d'un bord ; barre avant à monter ;
- Si le sous-marin prend de l'assiette négative, chasser au redressement au ballast avant ;
- Si cela ne suffit pas, chasser partout ;
- En-dessous de 200 mètres, je crois me souvenir que le largage des plombs de sécurité fait également partie des parades ultimes.

En parallèle, prendre les barres en commande secours, vérifier le fonctionnement en commande de secours. Si la barre répond en mode secours, piloter ainsi, reprendre la vue, réparer si possible, sinon faire surface et rentrer au port.

Si la barre ne répond plus, reprendre la vue, faire surface et rentrer au port.

Ce que montrent les prises de vue et les observations visuelles :

Le safran de direction est dans l'axe du sous-marin ;

La barre de plongée AR bâbord est légèrement à descendre.

La position de la barre de plongée et de celle du safran de direction ne sont pas la preuve d'une absence d'avarie, car, dès que les tuyauteries d'huile de manœuvre des presses se sont trouvées en équipression avec la mer, le safran a pu reprendre sa position naturelle, qui est légèrement positive (les safrans, avant 1972, étaient sous compensés).

En outre, la position observée des safrans est le résultat d'une possible avarie initiale, du choc provoqué par l'arrachement de la structure arrière et enfin du choc du posé sur le fond.

La position du safran de barre AR ne permet pas de se prononcer sur sa position avant l'implosion et le choc sur le fond, et, partant, de la survenance d'une avarie de barre arrière au moment des faits.

Les prises de vue de l'épave n'apportent aucun élément conclusif sur la survenance ou non d'une avarie de barre.

La commission d'enquête a conclu qu'une avarie de barre seule ne pouvait être la cause du sinistre, mais que l'avarie de barre arrière associée à la non mise en arrière des moteurs de propulsion pouvait être à l'origine du sinistre.

Sans indice probant, il faut revenir aux capacités de manœuvre et de réaction du sous-marin.

Au moment des faits, la MINERVE est au schnorchel ; l'alerte schnorchel est donnée – échappement général schnorchel fermé.

Si l'alerte est donnée sur avarie de barre arrière, ou si l'avarie se produit peu de temps après l'alerte, l'incident se limite à une perte d'immersion, si l'équipage met en œuvre correctement les parades et que la propulsion réagit de façon nominale. Une telle avarie de barre arrière ne conduit pas à la perte du sous-marin par surimmersion, je suis en accord sur ce point avec les conclusions de la commission d'enquête.

Si à l'avarie de barre se superpose l'indisponibilité de la propulsion, ceci n'est pas aggravant ; l'erre du sous-marin se casse assez rapidement ; ce dernier se retrouve sans erre, l'assiette se rétablit, la pesée se gère.

Si à l'avarie de barre se superpose une erreur du sens de mise en œuvre de la propulsion, au cours de la descente en immersion, à vitesse moyenne, alors la MINERVE subit une excursion en immersion importante, le temps pour les électriciens de réparer l'erreur.

Mais dans tous les cas de figure, même par forte pointe, électriciens de propulsion éjectés de leur poste de conduite, il est possible de déclencher la propulsion partie dans le mauvais sens par ouverture des disjoncteurs 5000 Ampères du Co et du carré.

Survenant à 300 mètres, l'avarie aggravée peut conduire la MINERVE à dépasser 300 mètres, mais ne conduira pas le sous-marin jusqu'à l'immersion de destruction de la coque.

Conclusion

Les prises de vue de l'épave ne laissent apparaître aucun indice d'une avarie de barre de plongée arrière. Sur la base du raisonnement, qui conduit à démontrer que l'avarie de barre arrière, même aggravée par un dysfonctionnement de la propulsion, ne peut entraîner le sous-marin à l'immersion d'écrasement de la coque, l'avarie de barre arrière est écartée des causes de la perte de la MINERVE.

7.- Voie d'eau

La voie d'eau est l'hypothèse la plus cohérente avec une perte d'immersion et la perte de la maîtrise de la situation par l'équipage. Cette hypothèse a été en conséquence explorée en détail.

Les analyses qui ont été conduites sont résumées ci-après.

C'est un des risques majeurs auxquels le sous-marin est confronté.

Les circuits en lien avec l'eau de mer sont protégés par un double système de vannes : vanne de coque et vanne de sécurité, côté aspiration, et par un sectionnement et un CNR, côté refoulement.

L'admission d'air par le tube d'air est protégée par le clapet de tête dont la fermeture est commandée par électrodes et par l'obturateur de la coupole qui se ferme, à l'époque de la Minerve, par gravité.

En cas de voie d'eau, les réactions planifiées sont de faire surface au plus vite en utilisant toutes les sources d'énergie et d'allègement disponibles - propulsion, chasse, plombs de sécurité tout en contrôlant l'assiette à la remontée ; le risque de prise de gîte importante est d'autant plus grand que le sous-marin est initialement profond et lent.

Les moyens de lutte contre une voie d'eau sont connus, simples et réflexes :

- Mettre la propulsion en avant 5 ;
- Chasser au régleur de sécurité ;
- Chasser au redressement et à tous les ballasts ;
- Larguer les plombs de sécurité

Si la voie d'eau peut être enrayée, l'alourdissement du sous-marin sera limité et l'application réflexe des mesures succinctement rappelées ci-dessus permet de sauver le sous-marin.

Si la voie d'eau ne peut être enrayée, les critères suivants entrent en considération :

- débit de la voie d'eau ;
- immersion et vitesse initiales du sous-marin ;
- rapidité de mise en œuvre des réactions par l'équipage.

Les courbes issus des modèles mathématiques de l'époque, les simulations sur plateforme d'entraînement à terre montrent qu'il existe des cas de voie d'eau de fort débit, non obturable même à faible immersion et donc à l'immersion périscopique, où le sous-marin ne peut être sauvé que par une réaction immédiate de l'équipage, ce qui peut ne pas toujours être le cas, car il y a nécessairement un laps de temps, même très court, pour que la situation soit reconnue et comprise par l'équipage.

Il est des cas où, même mise en œuvre dans des délais de réactions « normaux », la chasse HP seule ne peut sauver le sous-marin d'une voie d'eau non obturable.

Je ne partage pas les conclusions de la commission d'enquête, quand elle écrit qu'étant à l'immersion périscopique, il est peu vraisemblable qu'une voie d'eau ait pu empêcher le sous-marin de se manifester en surface.

Aussi, l'étude de différents cas de voie d'eau a-t-elle été entreprise.

Les différents cas de voie d'eau possibles envisagés sont les suivants:

- voie d'eau auxiliaire : mauvaise disposition du sas vide-ordures ; rupture d'une bride de coque – pompe assèchement, pompe régleur, circuit de réfrigération,...
- voie d'eau propulsion : rupture bride de coque circuit de refroidissement ; circuit des échappements diesel ;
- voie d'eau poste arrière : sas lance-leurres ;
- voie d'eau central : clapet de tête, coupole, tube d'air ;

- voie d'eau CO : mat, périscope de veille, sas APV, sas périscope d'attaque
- voie d'eau poste avant : tube lance-torpille ;
- voie d'eau panneau de coque : poste avant, carré, sas passerelle, poste arrière ;

Le scénario d'une voie d'eau en surface est écarté ; l'avion de patrouille maritime n'a pas vu la Minerve en surface, alors qu'il est présent à proximité jusqu'à 08h09 et n'a eu aucun contact visuel ni contact radar.

Ce qu'on peut déduire des observations visuelles et des prises de vue sous-marines, au regard de la voie d'eau.

La coque épaisse a implosé.

Les prises de vue ne montrent pas de brèche de grande importance dans la coque épaisse.

Les images ne montrent pas de gondolement en mailles, certes, mais la coque a péri par flambement d'ensemble (implosion), comme le montrent bien les déchirures sur les tronçons AR (à hauteur du compartiment propulsion) et AV (à hauteur du poste avant). Cette remarque est en accord avec les méthodes de calcul des coques, qui veulent qu'elles périssent par flambement d'ensemble (les couples et le bordé cèdent) et qu'elles soient plus résistantes au gondolement en maille (les couples restent intacts et le bordé gondole), ce qui rend les bordés plus résistants aux explosions sous-marines.

Quand la coque a atteint son immersion de destruction, sa forme est devenue instable, ce qui a entraîné une modification brutale de ses formes (à commencer par les membrures qui s'ovalisent), et des déformations non limitées, qui ont provoqué les ruptures que l'on observe.

La MINERVE n'a pas subi de voie d'eau par survenance d'une brèche dans la coque épaisse.

Ceci permet d'exclure :

- **un abordage ayant porté atteinte à l'intégrité de la coque épaisse : abordage entre sous-marins en plongée ou abordage à l'immersion périscopique par un bâtiment de commerce de fort tonnage et tirant d'eau ;**
- **un impact de torpille ou de mine sur la coque épaisse.**

Les différentes causes possibles suivantes ont été investiguées

7.1.- Rupture d'un circuit de réfrigération eau de mer

La rupture d'une bride d'un des circuits de réfrigération eau de mer des machines, des MEP ou des auxiliaires - pompe assèchement, pompe régleur - conduit à une voie d'eau de moyen à fort débit, face à laquelle le délai de mise en œuvre des bonnes réactions est un facteur déterminant.

En l'absence d'indice relevé sur les prises de vue, en se référant à l'état de la MINERVE au moment de faits, qualifié de bon et ne présentant aucune défaillance particulière, il est possible d'exclure le cas d'une voie d'eau par rupture d'un circuit de réfrigération eau de mer dû à son mauvais état.

7.2.- Voie d'eau par le SVO

Le sas vide-ordures est situé dans le compartiment des auxiliaires sous le poste central.

Il est d'un diamètre d'environ 30 cm; il est muni d'une porte extérieure et d'une porte intérieure manoeuvrables manuellement et reliées par une sécurité porte-à-porte

Il est mis en œuvre par l'officier en second – OSD- , à faible immersion et en tout cas jamais au schnorchel.

Le rapport d'enquête mentionne que le SVO était en avarie et que la Minerve avait pris la décision de ne pas le mettre en œuvre.

En l'absence d'indice relevé sur les prises de vue, il est possible d'exclure des causes de la perte de la MINERVE, une voie d'eau via le SVO par défaut d'étanchéité, rupture d'étanchéité ou fausse manoeuvre

compte tenu de l'état de la MINERVE au moment des faits, des procédures de mise en œuvre, de l'opérateur du SVO – OSD - et du retour d'expérience sur cet équipement.

7.3.- Caisse à eau de mer

Située dans le compartiment des auxiliaires sous le poste central, la caisse à eau de mer est reliée à la mer par une vanne de coque et une vanne de sécurité, manœuvrées en tant que de besoin par le mécanicien de quart aux auxiliaires.

En l'absence d'indice relevé sur les prises de vue, il est possible d'exclure des causes de la perte de la MINERVE, une voie d'eau via la caisse à eau de mer par défaut d'étanchéité, rupture d'étanchéité ou fausse manœuvre du mécanicien de quart, compte tenu de l'état de la MINERVE au moment des faits, des procédures de mise en œuvre, du niveau de de l'opérateur – mécanicien des auxiliaires – et du retour d'expérience sur cet équipement, permettent.

7.4.- Voie d'eau circuit des échappements diesel ;

Le circuit des échappements des moteurs diesels est protégé par un sectionnement intérieur sur chaque moteur, quel que soit le mode de fonctionnement et :

- sur le circuit d'échappement surface : par les sectionnements particuliers surface ;
- sur le circuit d'échappement schnorchel: par les sectionnements particuliers schnorchel et l'échappement général schnorchel ;
- sur le circuit de vidange : par les sectionnements particuliers de chasse BP.

Si l'on ne s'intéresse qu'à la marche au schnorchel, on voit que c'est une cascade de trois barrières qui protège le bord contre l'invasion d'eau par les échappements schnorchel.

Une voie d'eau par ce canal implique que les trois barrières soient franchies, ou que le collecteur d'échappement schnorchel soit percé et que les particuliers et les intérieurs soient totalement fuyards, ce qui est peu probable. De légères fuites aux échappements schnorchel se produisent, suite à une légère perte d'étanchéité – mauvais rodage, etc... -, mais pas une voie d'eau.

Une mauvaise manœuvre à la fermeture, ou une fermeture lente des sectionnements peut alors entraîner une entrée d'eau, mais la poursuite des opérations de fermeture conduit à l'obturation de l'entrée d'eau. Les prises de vue montrent que l'échappement général schnorchel est fermé.

En l'absence d'indice relevé sur les prises de vue, il est possible d'exclure des causes de la perte de la MINERVE une voie d'eau par rupture franche d'étanchéité du système d'échappement schnorchel compte tenu de l'état de la Minerve au moment des faits, des procédures de mise en œuvre, des opérateurs impliqués – mécanicien – et du retour d'expérience sur ces organes.

7.5.- Voie d'eau poste avant : tube lance-torpille ;

Les observations visuelles et les prises de vue montrent que les portes avant des TLT avant sont fermées.

Une voie d'eau par les tubes lance-torpilles avant est exclue des causes de la perte de la MINERVE.

7.6.- Voie d'eau panneau de coque : poste avant, carré, sas passerelle, poste arrière ;

Si la voie d'eau trouve son origine dans un panneau de coque, elle est alors fatale.

Les panneaux de pont avant, embarquement torpilles et arrière sont verrouillés manuellement à la prise de la tenue de navigation.

Des cas de non-verrouillage de panneau ont été observés ; en plongée, la pression appliquée les maintient fermés. En surface, s'ils ne sont pas verrouillés, ils peuvent se soulever, en particulier par forts mouvements du

sous-marin et laisser embarquer des paquets d'eau de mer. L'équipage observant ce phénomène est alors à même de réagir et de verrouiller le panneau défaillant.

Un défaut d'étanchéité du joint à lèvres peut être la cause d'une entrée d'eau ; il peut être repris lors d'un retour en surface. L'entrée d'eau est surveillée par l'équipage.

Si la voie d'eau se produit sur le panneau supérieur du sas passerelle, l'entrée d'eau sera limitée au volume du sas passerelle. Le panneau inférieur est fermé à l'IP et au schnorchel, du temps où j'ai embarqué sur les Daphné ; peut-être n'était-ce pas le cas en 1968, mais sur voie d'eau panneau supérieur, le panneau inférieur est alors rapidement largué et limitera la voie d'eau au sas passerelle.

Les observations visuelles et les prises de vue montrent une partie du sas passerelle détruit et implosé. Il n'était donc pas envahi par l'eau de mer au moment de l'implosion de la MINERVE.

La situation des TLTE arrachés de leurs bers peut laisser suspecter une collision sur la partie arrière du bâtiment, alors qu'il est à l'IP avec une pointe négative, qui aurait alors endommagé le panneau arrière. Toutefois, l'aspect de TLTE visibles sur les prises de vue les montrent arrachés, mais en « parfait » état d'intégrité, sans marque ni trace de collision.

Une voie d'eau par un panneau d'embarquement est exclue des causes de la perte de la MINERVE.

7.7.- Voie d'eau par le sas lance-leurres :

Situé à l'arrière, ce sas est équipé de deux portes, avant et arrière. Il est mis en œuvre par un mécanicien ou un torpilleur, aux postes de combat.

Une fausse manœuvre est exclue ; le personnel sur place est à même de refermer au moins l'un des deux portes.

Un défaut d'étanchéité provoquera une entrée d'eau, mais pas une voie d'eau.

Une voie d'eau par le sas lance-leurres est exclue des causes de la perte de la MINERVE.

7.8.- Voie d'eau par un mât oléopneumatique, par le périscopie de veille, l'APV, ou le périscopie d'attaque

7.8.1. – Analyse de l'état des mâts oléopneumatiques

Les mats ARUR, UHF et HF sont des mats hydropneumatiques hissables non pénétrants dans un tube de diamètre légèrement supérieur au mat lui-même, résistant soudé.

Les observations visuelles et les prises de vue permettent de distinguer :

- l'antenne UHF en position rentrée, inclinée, la peinture de camouflage est bien visible, on ne relève pas d'éraflures ;
- le fut du mât de l'antenne HF, mais pas le mât lui-même ;
- le fut de l'ARUR, mais pas l'antenne ARUR .

Ces trois mâts ne sont pas traversant et n'entraîneront pas de voie d'eau, si leur intégrité est mise à mal.

7.8.2. – Analyse de l'état des périscopes et de l'antenne périscopique de veille radar (APV)

Les observations visuelles et les prises de vue permettent de distinguer :

- L'emplacement du sas APV, vide du sas APV lui-même ; le sas APV est soudé sur la coque épaisse ; il y a plusieurs passages traversant la coque depuis le sas APV : huile (moteur d'orientation et de la presse), câble APV, chasse à la bride APV, graissages APV ;
- le tube hissable de l'APV est bien visible, sectionné et écrasé.

En cas de mise à mal de l'intégrité du sas APV, la somme de toutes ces traversées ne constitue pas une entrée d'eau majeure, juste une fuite importante et ne provoque pas de voie d'eau ;

- le périscope de veille, en position rentrée, et incliné sur l'arrière sur toute la longueur située au-dessus de la coque épaisse ; la peinture de camouflage est bien visible, l'antenne APA est intègre, on ne note pas d'éraflures ; il n'est pas effondré en fond de son puits ; il n'a pas été rentré de force sous l'effet de la pression. Il n'est pas écrasé ; il est donc en équipression avec l'eau de mer ; le périscope était rentré ou a été rentré au moment de l'accident ;
- Le sas du périscope d'attaque, les points de fixation des presses de manœuvre du PA bien visibles ; le sas n'est pas écrasé, il est incliné sur l'arrière, à l'instar du périscope de veille ; le périscope d'attaque n'est pas dans son sas ; il était hissé au moment de l'accident et a été éjecté ;

7.8.3.- Analyse de l'état du sas trilobé:

L'inclinaison du périscope de veille a été considérée suite à une première observation comme limitée à la partie supérieure du périscope.

L'observation visuelle et détaillée des prises de vue a montré que le périscope de veille était en réalité incliné sur toute sa longueur.

Le sas du périscope d'attaque est lui aussi incliné vers l'arrière et arraché de la coque épaisse.

Le sas APV a été arraché de la coque épaisse.

Chaque coque du sas trilobé est dimensionnée pour une pression critique - égale à celle de la coque principale -, mais la disposition des trois coques en « *sas trilobé* » augmente leur inertie et leur résistance à la flexion, ce qui les rend plus robustes aux chocs à l'IP (mais tout aussi vulnérable à la pression critique de flambement).

Le sas trilobé – sas PV, sas PA et sas APV- n'a pu être préservé d'une implosion. L'état et la position des trois équipements – PV, PA et APV - est le résultat de cette implosion, bien plus que celui d'un choc à l'IP, contre lequel leur échantillonnage les prémunissait largement.

L'état du sas trilobé est une conséquence de l'implosion de la coque.

Le massif a été arraché de la coque épaisse lors de l'implosion de cette dernière ; il a entraîné avec lui le fut du périscope de veille, avec le périscope de veille rentré, le sas du périscope d'attaque et le sas APV, qui s'est lui-même détaché de cet ensemble. Les trois équipements ont été sectionnés au niveau de l'interface avec la coque épaisse au moment de l'implosion de la coque et se sont remplis d'eau.

L'état du sas trilobé est une conséquence de l'implosion de la MINERVE et ne participe pas des causes de la perte de la MINERVE.

7.8.4. – Analyse de la situation de mâts

Les observations visuelles et les prises de vue montrent que les mâts en position rentrée sont présents dans leur fut ou sas respectifs sont en position rentrée.

Cela a été décrit pour le périscope de veille et l'antenne UHF.

Pour ce qui concerne l'APV, une partie du sas APV, ouverte au niveau d'une bride repose couchée sur le fond à proximité du massif ; les observations visuelles et les prises de vue montrent :

- le sas éjecté de son logement,
- l'intérieur du sas, au travers d'une bride arrachée ;
- une portion sectionnée du mât, et écrasée;

Ces observations permettent de conclure que l'état observé des débris de l'APV résulte de l'implosion et du choc sur le fond et que l'APV était rentrée au moment des faits.

Les autres mâts, périscope d'attaque, antenne ARUR, antenne fouet et tube d'air ne sont pas visibles à leur emplacement parmi les débris du massif.

Ainsi, les mâts rentrés au moment des faits sont restés à leur emplacement lors de l'implosion, l'hypothèse peut-être faite que les mâts absents des débris du massif étaient hissés au moment de l'accident.

On peut en conclure qu'au moment des faits, la configuration des mats de la MINERVE était la suivante :

- **mats rentrés : Périscope de veille, antenne UHF et APV ;**
- **mats hissés : tube d'air, antenne fouet, périscope d'attaque et ARUR.**

La configuration de mats hissés est tout à fait cohérente et compatible avec la situation opérationnelle de la MINERVE au moment des faits : au schnorchel, veille optique, veille ESM et radio HF.

7.9.- Voie d'eau par le tube d'air sur avarie technique

À partir du moment où il peut être envisagé avec une bonne probabilité que le tube d'air de la MINERVE était hissé, il est raisonnable d'envisager l'éventualité d'une voie d'eau par ce dernier.

Plusieurs scénarios ont été envisagés au cours de cette étude

7.9.1- Avarie du clapet de tête bloqué ouvert

Les prises de vue et les observations visuelles permettent de voir le fut du tube d'air encastré à sa position dans la structure arrière du massif, arraché de la coque épaisse ; elles montrent que le tube d'air n'est plus dans son fut.

Aucun indice ni information ne sont disponibles sur le clapet de tête ou la coupole.

L'avarie de clapet de tête a été étudiée ; il a en particulier recherché si elle pouvait être à l'origine de la perte du contrôle de la stabilité du sous-marin.

C'est un accident redouté, qui est survenu sur un autre sous-marin postérieurement à la perte de la Minerve.

a/ Première variante envisagée : blocage du seul clapet de tête en position ouverte

Le dysfonctionnement du clapet de tête a pu être lui-même à l'origine de l'alerte schnorchel – clapet de tête bloqué ouvert, jet continu sur les purges, débordement de la caisse des purges,

Le dysfonctionnement du clapet de tête a pu intervenir à l'alerte schnorchel

- o *Alerte donnée due aux conditions météorologiques : jet continu sur les purges, débordement de la caisse des purges, forte pointe, dépression*
- o *Alerte donnée sur une avarie ou un exercice sécurité : avarie de barre, avarie électrique 1000 A ou 37 kVA , ou à l'occasion de la permutation des presses de barre*

Dans les deux cas :

- *l'alerte schnorchel est donnée ;*

- l'alourdissement est important, la perte d'immersion et la prise d'assiette positive sont rapides et importantes ;
- le déclenchement de la propulsion intervient à brève échéance ;
- la perturbation liée à la relève de quart est susceptible de perturber la mise en œuvre des actions vitales ;
- la perception tardive, le « déni » de la voie d'eau sont des réalités liées au facteur humain ;
- la complexité de gestion de deux problèmes est évidente dans le cas d'une avarie ou d'un exercice cumulés avec le clapet de tête ;
- les actions vitales, telles que la chasse, sont tardives ;
- la chasse tardive renforce son inefficacité ;
- la forte prise d'assiette compromet le largage des plombs de sécurité.

Envisager cet incident a du sens. Des blocages du clapet de tête s'étaient déjà produits à bord des Daphné du temps de la MINERVE, avant les modifications qui ont été mises en place après l'accident de la MINERVE. Le clapet peut être bloqué mécaniquement, ou bloqué par un objet coincé dans la lanterne du tube d'air (incident rencontré du temps de la MINERVE), ou par une avarie de la vanne électropneumatique.

Le blocage « ouvert » du clapet de tête est détectable par le personnel de quart au central.

Le blocage du clapet de tête en position ouverte se manifeste immédiatement par un jet plein dans la boîte des purges du central. Il est également perçu par l'absence de mise à la purge de la presse du clapet de tête, audible au central.

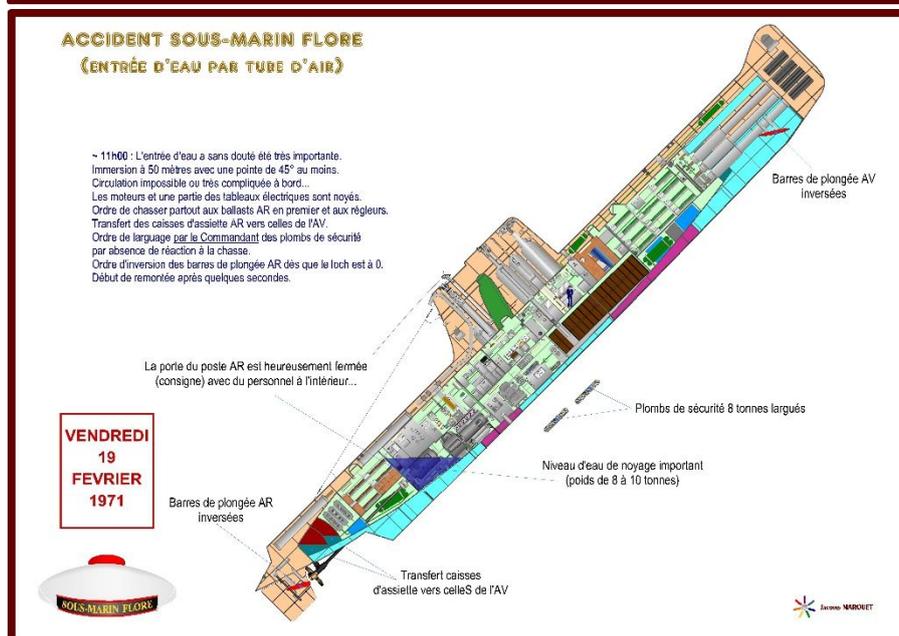
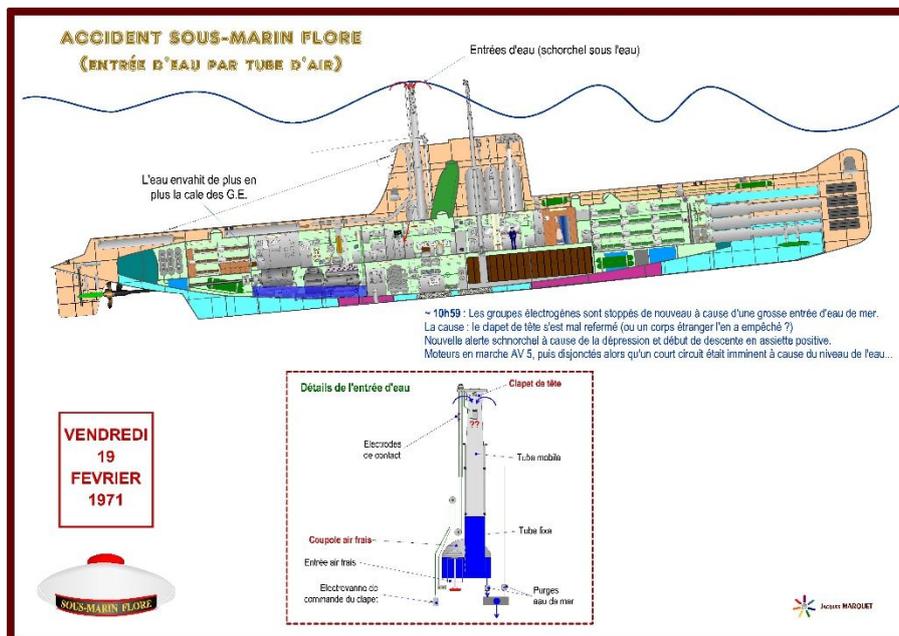
L'action réflexe, si les symptômes persistent, est de donner l'alerte. Cela implique l'arrêt des GE, la rentrée du tube d'air, la fermeture de l'obturateur de la coupole et donc le retour à l'intégrité de la coque, si tout se passe de façon nominale, en un temps qui peut être estimé à 1 minute.

Plusieurs situations dégradées de retour à l'intégrité de la coque sont envisageables dans le cas du clapet de tête bloqué ouvert :

- soit le tube d'air ne rentre pas, se bloque, mais l'obturateur de la coupole se ferme, le retour à l'intégrité de la coque est assuré
- soit à l'inverse l'obturateur de la coupole ne se ferme pas, mais le tube d'air rentre, le retour à l'intégrité de la coque est assuré

Dans un cas comme dans l'autre de blocage du clapet de tête en position ouverte, une certaine quantité d'eau a été embarquée à bord du sous-marin – les calculs sont effectués plus loin dans la présente étude.

La MINERVE se trouve dans la situation rencontrée par la FLORE en 1971.



La FLORE est pesée lourd – entre 2 et 3 tonnes dans les régleurs – à l'immersion périscopique, au schnorchel. La purge du tube d'air donne à jet plein en raison des conditions météorologiques. Ces conditions sont celles que rencontre la MINERVE au moment des faits.

Le clapet de tête de la FLORE se bloque en position ouverte. Détectée, cette avarie conduit à donner l'alerte, à rentrer le tube d'air, à fermer l'obturateur de la coupole. Le sous-marin retrouve son étanchéité. Il faut rappeler ici que le tube d'air rentre lentement, à tel point que pour accélérer sa mise en descente, l'habitude était prise de le purger légèrement en fin de hissage.

Ce sont les réactions que l'équipe de quart au central de la MINERVE a dû mettre en œuvre, sans que le délai de réaction de l'équipage de la MINERVE puisse être déterminé.

La conséquence du blocage du clapet de tête est l'alourdissement du sous-marin, qui va couler par l'arrière, avec des répercussions sur l'alimentation électrique et la propulsion.

L'eau qui envahit le tube d'air et la coupole chemine par les conduits de ventilation, jusqu'à l'entrée du compartiment propulsion, et entraîne le noyage de la cale propulsion.

AINSI, malgré ces réactions réflexes, la FLORE a embarqué entre 10 et 15 tonnes, ce qui, compte tenu de l'alourdissement initial, fait passer le sous-marin d'une situation initialement inconfortable et à risque à un état de déséquilibre de sa pesée en l'alourdissant entre 13 et 18 tonnes, qui se retrouve en moins d'une minute à 50 mètres d'immersion, propulsion indisponible, avec une assiette positive de 45°

Dans des circonstances identiques, face à un clapet de tête bloqué ouvert, il est raisonnable d'estimer que la MINERVE a embarqué le même volume d'eau avec les mêmes conséquences que lors de l'accident de la FLORE: sous-marin lourd de 15 à 18 tonnes, perte d'immersion rapide, prise d'une très forte assiette positive, perte de la propulsion.

Le scénario tel que celui vécu par le sous-marin FLORE en 1971 et possiblement rencontré par la MINERVE sur clapet de tête bloqué ouvert montre la rapidité de l'enchaînement des événements et de la prise d'une forte assiette positive, ainsi que la survenance rapide de l'indisponibilité de la propulsion

Les actions réflexes immédiates s'imposent.

Dans le cas de la FLORE, la chasse aux ballasts a été mise en action 1 minute après la prise en compte de l'avarie ar l'équipage ; le retour à une assiette moins forte a permis le largage des plombs de sécurité. Il a fallu avoir recours au largage des plombs de sécurité pour sauver le sous-marin.

Ce sont les réactions que l'équipe de quart au central de la MINERVE a dû normalement mettre en œuvre, sans que le délai de réaction puisse être déterminé.

Dans le cas de la MINERVE, aucun indice n'est fourni à ce stade par les prises de vue, indiquant une mise en œuvre de la chasse ou le largage des plombs de sécurité.

Calcul à grosse maille des débits d'entrée d'eau par voie d'eau le tube d'air

Le débit d'entrée d'eau est celui qui passe par le tube d'air, soit :

- surface de l'entrée d'eau diamètre 0,35 m soit 0,096 m² –vitesse V= Racine (2*10⁵/1025) soit 13,97 m/s => débit 1,34 m³/s ;

A minima, le débit d'eau cumulé entrant à l'IP est de 1,34 m³/s, allant augmentant avec la perte d'immersion due à l'alourdissement du sous-marin.

Les débits théoriques et les débits minorés, tenant compte des facteurs de charge, cumulés et l'alourdissement du sous-marin sont les suivants,

	10 sec	20 sec
	13,4 m ³	26,8 m ³
	8 m ³	16 m ³
	8 tonnes	16 tonnes

En effet, au-delà de ce calcul théorique, il faut introduire des pertes de charge, qui sont déjà grandes dans ce circuit dimensionné pour des débits d'air, et encore plus grandes pour un fluide liquide dont la masse volumique est 800 fois plus forte que celle de l'air.

Si on assimile les effets des accidents divers, à ceux d'un orifice en mince paroi, qui produit un coefficient de contraction C_e ; d'après l'expérience, C_e peut être compris entre 0,5 et 0,7, ce qui conduirait à réduire les débits de 50 à 70% des valeurs théoriques. En prenant une valeur médiane de 0,6, les débits corrigés seraient les suivants :

Le sous-marin s'est alourdi d'au moins :

- 8 tonnes en 10 secondes ;
- 16 tonnes en 20 secondes

Il faut comparer ces alourdissements à l'efficacité de la chasse HP. Sur un sous-marin de type Daphné, à l'immersion de 100 mètres, la chasse HP à tous les ballasts, produit un allègement de 14,5 tonnes (cf. Cf. IPGM Blanc « Cours d'Architecture Navale. Tome X. Fascicule » (Ce 9050). Ed. 1959

Le largage des plombs de sécurité, s'il est effectué et s'il fonctionne allège le sous-marin de 8 tonnes. Face à une telle situation, on ne peut attendre d'un équipage, même entraîné, une réaction dans un délai inférieur à 10 secondes.

Ainsi la MINERVE s'est retrouvée à minima pesée lourd de 14 tonnes (11 tonnes embarquées plus les 3 tonnes de pesée initiale).

La rapidité de la mise en œuvre des actions réflexes et immédiates par l'équipage face à une telle situation est primordiale.

Le facteur humain joue un grand rôle dans de telles situations, le stress, mais aussi le caractère insidieux d'une telle avarie, voire le déni d'avarie grave par l'équipage, des facteurs aggravants tels que, pour la MINERVE : la relève de quart, qui peuvent gêner, perturber, ralentir les actions de l'équipe de quart.

Conclusion

L'incident clapet de tête bloqué ouvert se produisant par conditions météorologiques telles que celles que rencontrait la MINERVE au moment des faits conduit immédiatement à une perte de la stabilité du sous-marin, à une très rapide excursion en immersion, à une forte assiette positive, à la perte de la propulsion à très court terme; une telle situation ne peut être contrée que par la mise en œuvre la plus rapide de toutes les actions à disposition de l'équipage.

Une telle situation, si elle n'a pas été contrée avec célérité par les actions de l'équipage de la MINERVE, dans lesquelles le facteur humain intervient au premier plan, peut être à l'origine de la perte de la MINERVE.

B/ Situation dégradée envisagée

Le scénario possible de non-retour à l'intégrité de la coque lors du blocage du clapet de tête en position ouverte est le suivant:

- le tube d'air ne rentre pas : en cas de prise d'assiette importante, le tube d'air, qui descend sous son propre poids, peut ne pas rentrer et se bloquer ; des cas de blocage du tube d'air à la pointe se sont produits à bord des Daphné. Envisager ce facteur aggravant a du sens.

ET

- l'obturateur de la coupole ne se ferme pas ; ceci peut se produire sous assiette importante et flux d'eau dans la coupole maintenant le clapet de la coupole ouvert ; des incidents de ce type se sont produits du temps de la MINERVE. Une modification post accident de la MINERVE a consisté à équiper l'obturateur de la coupole d'une presse qui le plaque en fermeture à l'alerte schnorchel. Envisager ce facteur aggravant a du sens.

Un autre facteur aggravant peut être le non-arrêt du ou des GE à l'alerte, ce qui va augmenter la dépression dans le bord et augmenter d'autant le débit d'entrée et le volume d'eau embarqué, at aussi augmenter stress et détournement d'attention dans l'équipage.

Calcul à grosse maille des débits d'entrée d'eau par voie d'eau le tube d'air

Le débit d'entrée d'eau est celui qui passe par le tube d'air, soit :

- surface de l'entrée d'eau diamètre 0,35 m soit 0,096 m² –vitesse V= Racine (2*10⁵/1025) soit 13,97 m/s => débit 1,34 m³/s ;

A minima, le débit d'eau cumulé entrant à l'IP est de 1,34 m³/s, allant augmentant avec la perte d'immersion due à l'alourdissement du sous-marin.

Les débits théoriques et les débits minorés, tenant compte des facteurs de charge, cumulés et l'alourdissement du sous-marin sont les suivants

	10 sec	20 sec	30 sec	40 sec	1 minute
	13,4 m ³	26,8 m ³	40,2m ³	53,6m ³	80,4m ³
	8 m ³	16 m ³	24 m ³	32 m ³	48 m ³
	8 tonnes	16 tonnes	24 tonnes	32 tonnes	48 tonnes

La lecture de ce tableau montre que le poids d'eau embarqué en 1 minute dépasse les capacités de réactions des sous-marins type DAPHNE.

Face à une telle situation, la perte de la MINERVE est inexorable.

C/ Cohérence avec les relevés horaires au moment des faits

Dans le cas d'une voie d'eau non obturée, en extrapolant les calculs jusqu'à une immersion de -800 mètres, on arrive au tableau suivant :

Immersion	Alourdissement	Assiette positive	Heure	Temps
-12	2 tonnes	0	07:56:00	T0
-25	10 tonnes	25	07:56:16	0 min 16
-50	20 tonnes	60	07:56:27	0 min 26
-75	30 tonnes	60	07:56:35	0 min 35
-100	35 tonnes	60	07:56:43	0 min 43
-200	56 tonnes	60	07:57:15	1 min 15
-300	70 tonnes	60	07:57:47	1 min 47
-400	112 tonnes	60	07:58:19	2 min 19
-500	148 tonnes	60	07:58:51	2 min 51
-600	180 tonnes	60	07:59:23	3 min 23
-700	210 tonnes	60	07:59:55	3 min 55
-800	240 tonnes	60	08:00:27	4 min 27

D'après le tableau ci-dessus, une voie d'eau non obturable conduit à un alourdissement de 35 tonnes pour une immersion de 100 mètres.

Si l'on rapproche cet alourdissement de l'efficacité de la chasse HP à 100 mètres – 14,5 tonnes- et de l'allègement dû au largage des plombs, - 8 tonnes – s'il a été efficace, le sous-marin reste pesé lourd d'encore 8 tonnes, vraisemblablement sans propulsion.

L'estimée d'une vitesse de perte d'immersion de l'ordre de 7 nœuds, soit 216 mètres en 1 minute, allant en augmentant avec l'alourdissement, conduit le sous-marin en perdition à franchir l'immersion de destruction de la coque – 600 mètres- après avoir quitté l'immersion périscopique depuis environ 3minutes 30s.

Ce timing est compatible des relevés horaires de l'avion – compte tenu des décalages possibles entre les horloges du laboratoire et de l'avion- et du laboratoire de Nice et en supposant que le laboratoire de Nice a relevé l'implosion et non le posé sur le fond de l'épave, beaucoup moins énergétique.

Le tableau montre aussi que le volume d'eau embarqué de 180 tonnes à l'immersion critique de la coque, puis 240 tonnes à 800 mètres, est inférieur au volume libre à l'intérieur d'une coque de Daphné (volume de la coque résistante moins volume des équipements) qui est de l'ordre de 450 m3, ce qui ne pouvait empêcher que la coque n'implose, et elle a bien implosé, comme le montrent les prises de vue.

Conclusion

L'incident clapet de tête bloqué ouvert aggravé par la non-entrée du tube d'air et la non-fermeture de l'obturateur de la coupole conduit inexorablement la MINERVE à sa perte.

Conclusion

L'incident clapet de tête bloqué ouvert est une cause très vraisemblable de la perte de la MINERVE.

7.9.- Voie d'eau par le tube d'air suite à un abordage

Le rapport de la commission d'enquête revient longuement sur cette cause possible et conclut n'avoir aucune information permettant d'accréditer cette cause.

La présente étude s'est intéressée à cette hypothèse.

7.9.1.- Les scénarios de collision suivants sont écartés :

- Collision avec un mammifère : écartée ; une telle collision n'a aucun impact majeur sur les mâts, entre autres, le tube d'air;
- Collision avec un corps remorqué de type sonar remorqué : il est exclu qu'un sonar remorqué de la marine nationale soit en cause – la gestion des secteurs d'exercice protège les sous-marins de ce genre d'interférences ; en outre, l'état de la mer n'était pas propice à la mise à l'eau d'un tel dispositif. Dans l'éventualité d'une collision, le câble tracteur se serait rompu et le tube d'air n'aurait pu être endommagé de façon telle qu'il soit à l'origine d'une voie d'eau ;
- Collision avec un conteneur entre deux eaux
L'introduction des porte-conteneurs en Méditerranée date de fin 1968, date postérieure à la perte de la MINERVE. En tout état de cause, la Minerve étant à l'IP, les dégâts potentiellement attribués à une collision ne sont pas du fait d'un objet flottant, de faible tonnage et non propulsé ; scénario écarté ;
- Collision avec une autre sous-marin français : ce scénario est exclu ; la gestion du zonex protège les sous-marins français en exercice d'une telle situation;
- Collision avec un sous-marin étranger : dans une telle hypothèse, le sous-marin agresseur aurait subi des dégâts, mais qui ne l'auraient pas forcément empêché de continuer son activité en plongée ; son action pouvait demeurer anonyme et inconnue sauf de lui-même et de sa hiérarchie.
Les candidats existent, sous-marins discrets et de tonnage plus importants que la MINERVE - SNA américains et britanniques -, susceptibles d'entrer en collision avec un sous-marin diesel électrique et de lui causer des dommages qui peuvent être irréversibles.
Il n'est pas interdit de penser que des sous-marins russes, américains et britanniques aient pénétré dans les secteurs d'exercice français. Il n'est pas interdit également de penser que les nations précitées se soient intéressées à la montée en puissance des forces-marines françaises, en particulier à la mise en place de la dissuasion, à l'époque des faits.

Toutefois, la base des SNLE est en Atlantique ; en 1968, le Redoutable est en essais depuis moins d'un an, et je doute que la MINERVE intéresse russes, américains ou britanniques.

Les israéliens ont été crédités de déplacements exotiques de leurs sous-marins ; mais les sous-marins israéliens, de tonnage équivalent à celui de la MINERVE, ne peuvent lui infliger des dégâts sans en subir, eux-mêmes, d'importants.

Il a été montré que la coque épaisse était restée intègre jusqu'à l'implosion ; ainsi la perte de la MINERVE n'est pas due à une brèche effectuée dans sa coque par un autre sous-marin.

Une telle collision n'endommagera pas le clapet de tête, protégé par le fut du tube d'air.

Une telle collision peut endommager un circuit d'eau de mer et provoquer une voie d'eau. Si cette dernière ne peut être contrée par la présence des sectionnements de coque et de sécurité, elle

Par ailleurs, en plongée, le tube d'air est rentré. Aussi, une éventuelle collision avec un sous-marin a peu de chance d'endommager le clapet de tête, et de provoquer des dégâts sur le clapet de tête. Une telle collision peut endommager un circuit d'eau de mer.

Pour ce qui concerne la MINERVE, si une telle collision s'est produite, la MINERVE était encore à l'immersion périscopique ou venait de la quitter. Le débit de la voie d'eau était limité par la faible pression de l'eau de mer et le diamètre de la rupture du circuit touché. Dans ce cas de figure, des réactions immédiates et complètes donnaient de bonnes chances à la MINERVE de reprendre en main la situation et de faire surface.

Aussi, tout en sachant que la vérité sur la présence d'un sous-marin étranger à proximité de la MINERVE ne sera jamais établie, j'écarte cette hypothèse des causes de la perte de la MINERVE.

7.9.2.- Collision entre la MINERVE au schnorchel à l'immersion périscopique et un bâtiment de commerce de moyen tonnage

Il a été montré qu'on pouvait raisonnablement supposer que la MINERVE était au schnorchel au moment des faits.

Les observations visuelles effectuées et les prises de vue ont montré que l'état du sas trilobé ne pouvait accrédi-ter la cause de l'abordage de la MINERVE à l'immersion périscopique.

Les observations visuelles ont permis de constater :

- La partie supérieure du carénage supérieur du massif arrachée, découpée en deux éléments reposant sur le fond aux alentours du massif. On note l'absence de déformation de la structure – pas de déformation de la forme oblongue du carénage - ; le carénage n'a donc pas péri par pincement, mais par arrachement, soit un poinçonnement vertical soit un cisaillement transversal ;
- sur le massif la ligne de rupture du carénage qui est très nette et dénote également un arrachement.

L'arrachement de la partie supérieure du carénage du massif n'est pas dû à l'éjection du massif de la coque épaisse lors de l'implosion ni au choc du massif sur le fond.

Il peut être une conséquence de l'arrachement des mâts hissés au moment de leur éjection lors de la séparation du massif et de la coque épaisse lors de l'implosion, mais aussi celle d'une collision.

Ainsi, les observations visuelles et les prises de vue apportent quelques éléments et indices accrédi- tant la thèse de la collision de la MINERVE avec un bâtiment de commerce.

Un tel scénario n'est pas à écarter. Il s'est produit à plusieurs occasions de mise en œuvre des sous-marins français.

Au travers des témoignages de l'équipage du Bréguet Atlantic, il est avéré que l'avion n'a jamais eu le visuel sur le sous-marin : sa présence repose sur un relèvement goniométrique des émissions radio de ce dernier, qui révèlent un azimut, pas une distance. Dès lors, la position des bâtiments présents sur zone par rapport à la position de la MINERVE est entachée d'une forte marge d'incertitude ; les positions des navires de commerce présents dans la zone peuvent s'avérer être plus proches de la MINERVE et donc plus compatibles avec une éventuelle collision.

Au moment des faits, la Minerve opère dans les secteurs dans lesquels le trafic commercial est concentré et important, trafic commercial, qui se rapproche de la côte par très forte mer. Le secteur où opérait la MINERVE a été, avec d'autres, baptisé « secteurs TRACOM ». Certaines règles y étaient imposées aux sous-marins – interdiction d'y reprendre la vue, etc...

La MINERVE naviguait dans un secteur de forte concentration de navires de commerce.

Au moment des faits, les conditions météorologiques étaient telles que :

- l'état de mer ne permettait pas la détection précoce des navires de surface au périscope ;
- l'écoute sonar et la détection radar étaient fortement brouillées par le bruit de fond (sonar) et les retours de mer (radar),

Les conditions étaient réunies pour que la détection d'un bâtiment de commerce passe inaperçue ou ne soit perçue qu'au tout dernier moment par la MINERVE.

Considérer l'hypothèse de la collision a du sens. En effet, les conditions d'état de mer étaient réunies, pour qu'une collision avec un navire de surface soit possible, d'autant que la navigation de la Minerve, la plaçait sur le rail commercial.

La configuration de la MINERVE au moment des faits devait être la suivante :

- Sous-marin à l'IP (sommet du massif en moyenne à environ 2m sous la surface), pesé lourd de 4 tonnes pour éviter l'aspiration en surface, antenne fouet, périscope d'attaque, ARUR, tube d'air frais hissés, vitesse de l'ordre de 8 nœuds.
- Personnel fatigué (période d'activité intense), sous pression (nombreux exercices dans le cadre de la Mise En Condition), nombreuses alertes techniques en raison de l'état de mer (et fatigue inhérente), fin d'un quart de nuit et mouvements de personnel (réveil, petit déjeuner, relève de quart).

L'état de la mer rend crédible le fait :

- **qu'un bâtiment de commerce n'aperçoive pas les aériens de la MINERVE et ne ressente pas une éventuelle collision**
- **que la MINERVE ne détecte et ne voie que tardivement un bâtiment de surface.**

L'hypothèse de la collision avec un bâtiment de surface est recevable.

Les conséquences sont connues : endommagement du massif si le choc se produit à son niveau endommagement des mâts hissés, qui sont pliés et dans l'impossibilité d'être rentrés.

Le cas de la GALATEE est connu ; une prise de vue de ses mâts à l'issue de la collision figure ci-dessous :



Les mâts hissés, heurtés par la collision sont pliés, le tube d'air est plié, dans l'incapacité d'être rentré, le clapet de tête très vraisemblablement endommagé et bloqué, dans l'incapacité d'être fermé.

Sur l'épave de la Minerve, on observe :

- périscope de veille et antenne UHF rentrée , désaxés : leur position résulte du fait qu'ils étaient rentrés au moment de l'accident , leur inclinaison est liée à la séparation du massif de la coque épaisse au moment de l'implosion ;
- un partie du tube hissable de l'APV, sectionnée : ceci n'est pas du à l'arrachement du massif ni au posé sur le fond , mais à un phénomène extérieur au sous-marin;
- l'absence du périscope d'attaque et du tube d'air , alors qu'on distingue leur fut respectif: ceci montre que ces deux-mâts étaient hissés au moment de l'accident, ils ont été non seulement déformés comme sur l'exemple de la Galatée, mais arrachés

En l'absence d'autre indice fourni par les prises de vue et les observations visuelles, en l'absence d'observations des deux-mâts, périscope d'attaque et tube d'air, non observés à ce jour, il est permis d'avancer les hypothèses suivantes :

La MINERVE se rend compte très tardivement de la situation de proximité avec un bâtiment de commerce. Elle donne l'alerte ; le clapet général schnorchel est fermé.

Le bâtiment de commerce heurte le tube d'air, en cours de rentrée, le clapet de tête est endommagé n'est plus étanche, le tube d'air se bloque.

Avec le tube d'air bloqué, le clapet de tête bloqué ouvert, l'intégrité de la coque repose sur la fermeture de l'obturateur coupole. Si celui-ci se ferme, la MINERVE se retrouve dans le cas d'une voie d'eau obturée au bout d'un certain délai.

Les calculs conduits dans cette étude ont montré qu'une telle situation avait pu conduire à la perte de la MINERVE.

Conclusion

Une collision de la MINERVE au schnorchel à l'immersion périscopique est une cause très vraisemblable de la perte de la MINERVE.

Conclusions

EXPLOSION BATTERIE

Les prises de vue n'apportent aucun élément, aucun indice d'une possible explosion de la batterie.

Survenant au schnorchel ou en descente en immersion, une explosion batterie peut provoquer d'importants dégâts au personnel et au matériel pouvant aller jusqu'à provoquer l'incapacité de l'équipage à réagir et ne pas donner l'alerte à temps, à ne pas prendre à temps en considération les autres phénomènes seuls ou cumulés: clapet bloqué ouvert, coupole en varie non obturée, tube d'air ne rentrant pas.

L'explosion batterie peut être un phénomène initial très perturbant dans la conduite du sous-marin, en particulier dans la mise en œuvre des actions vitales face à d'autres incidents cumulatifs.

L'hypothèse d'une explosion batterie est écartée des causes de la perte de la MINERVE, compte tenu de l'absence d'indices et de la très improbable succession de défaillances de surveillance de la part de l'équipage qui aurait conduit à l'explosion batterie.

AVARIE DE BARRE DE PLONGÉE ARRIERE

Les prises de vue n'apportent aucun élément, aucun indice d'une possible avarie de barre de plongée arrière.

Sans indice probant, il faut revenir aux évènements. Au moment des faits, la MINERVE est au schnorchel ; elle donne l'alerte. Si cette alerte est donnée sur avarie de barre ; une avarie de barre à l'IP ne conduit pas à la perte du sous-marin par surimmersion.

Si l'avarie de barre se produit au cours de la descente en immersion, à grande immersion, voire à l'immersion maximale - 300 mètres- alors une avarie de barre provoquera une excursion en immersion au-delà de 300 mètres, aggravée par une erreur de mise en œuvre en arrière de la propulsion, mais ne conduira pas le sous-marin jusqu'à l'immersion de destruction de la coque.

Une avarie de barre de plongée arrière bloquée à descendre, seule, voire aggravée de l'absence de mise en œuvre d'une des parades n'est pas retenue comme cause de la perte de la Minerve

CAUSES LES PLUS PROBABLES

Non-arrêt des GE à l'alerte : probabilité retenue 10%

L'hypothèse de la perte de conscience de l'ensemble de l'équipage en raison de la dépression ne peut être écartée, mais une faible probabilité lui est accordée compte tenu que l'équipage sortant de mise en condition devait être rodé aux réactions à mettre en œuvre face à un tel incident.

Voie d'eau survenue à l'immersion périscopique, sous-marin au schnorchel, à un moment concomitant avec la relève de quart, alors que l'équipage était en mesure de réagir, et a, en particulier donné l'alerte schnorchel. Probabilité retenue 90%, se décomposant ainsi :

- ***blocage du clapet de tête en position ouverte et une obturation tardive de la voie d'eau (manœuvres tardives de rentrée du tube d'air et/ ou fermeture coupole, avec une probabilité de 25%.***
- ***collision à l'immersion périscopique avec un bâtiment de surface avec une probabilité de 75% : les observations visuelles montrent que la Minerve naviguait au schnorchel, que le tube d'air et le périscope d'attaque ont été arrachés de leur fût, que la partie supérieure du massif a été arrachée, faits qui ne sont pas des conséquences de l'implosion de la coque, mais sont dus à une collision. La collision a endommagé tube d'air et clapet de tête, entraîné une voie d'eau, créé un stress intense parmi l'équipe de quart.***