

Les leçons de deux drames : MINERVE et EURYDICE

Témoignage d'un Académicien de Marine

1 Introduction

L'épave du sous-marin Minerve vient enfin d'être retrouvée en 2019 et d'étranges rumeurs ont été exhumées au travers des media, la « grande muette » qui a caché des informations ou « des sous-marins ayant connu de nombreuses avaries », ce qui peut laisser sous-entendre que les sous-marins de ce type étaient dangereux. Je vous remercie de bien vouloir écouter mon témoignage sur cette dramatique époque. Ce témoignage n'est pas seulement celui d'un Ingénieur du Génie Maritime qui a consacré la plus grande partie de sa carrière, jusqu'en 1995, aux sous-marins. C'est aussi celui d'un jeune « midship » de vingt et un ans qui a servi à bord de l'Eurydice en l'année 1968 juste après la perte de la Minerve, en faisant le quart au poste central puis à la propulsion. C'est ainsi que j'ai commencé à apprendre le sous-marin comme simple opérateur. L'équipage m'a adopté d'emblée et c'est pour moi un souvenir inoubliable.

C'est une dramatique époque qui a marqué de façon indélébile les marins et les ingénieurs qui l'ont vécue. La Minerve disparaît corps et biens en 1968, l'Eurydice connaît le même malheur deux ans plus tard. La Galatée est victime d'une fortune de mer en 1970, collision en surface avec un sous-marin sud-africain du même type, qui fera plusieurs victimes, mais on aurait pu perdre tout aussi bien tout l'équipage par anoxie. Enfin la Flore connaît en 1971 un très grave incident en navigation schnorchel qui aurait pu conduire à sa perte. On dit que les sous-marinières ont des nerfs d'acier, ce que je crois assez exact, mais le début de l'année 1968 est rude, nous venons de perdre la Minerve, on apprend aussi la perte du sous-marin nucléaire américain Scorpion et celle du sous-marin israélien Dakar ; la perte d'un sous-marin soviétique au même moment ne sera connue que plus tard. On préférerait dans le carré exigu de l'Eurydice parler d'autre chose.

C'est aussi une époque très contrastée ; le monde du sous-marin était meurtri par tous ces drames mais il était aussi en face d'une formidable expansion avec l'avènement de la force de dissuasion sous-marine. Nous avons été prévenus sur le croiseur-école Jeanne d'Arc, la priorité était aux sous-marins.

On est frappé en lisant les rapports des commissions d'enquête de la Minerve et de l'Eurydice par la minceur des informations factuelles dont disposaient ces commissions. Pourtant leurs membres ont travaillé en vrais professionnels en analysant une multitude de faits techniques collatéraux et en faisant des propositions des plus pertinentes. Mon chef de section sous-marins au STCAN, Paul Talboutier, m'avait autorisé à lire leurs rapports en 1976 et, lorsque j'ai occupé le même poste plus tard, je les ai souvent relus pour garder tout cela bien en tête. J'avoue être plus qu'irrité lorsqu'on insinue que la « grande muette » aurait cherché à cacher des choses ; on ne saura jamais ce qui est arrivé à la Minerve et à l'Eurydice. Dans la plupart des cas, les accidents graves de sous-marins où on a pu reconstituer avec un très haut niveau de confiance ce qui s'est réellement passé (je pense à la Doris en 1983 ou à l'Emeraude en 1994 ; je pense aussi à la catastrophe du Thresher en 1962) mettent en évidence un enchaînement diabolique de plusieurs événements, cinq si j'ai bonne mémoire dans le cas de l'Emeraude. Tenter d'expliquer une catastrophe lorsqu'on ne sait pratiquement rien est une démarche sans issue.

« Des sous-marins dangereux ayant connu de nombreuses avaries » ; après y avoir réfléchi de nombreuses années, je m'inscris en faux contre une telle assertion. Le type Daphné est une extrapolation très réussie du type Aréthuse ; André Gempp, à qui on attribue la paternité du type Daphné, disait que Girusse, son prédécesseur et concepteur des Aréthuse, avait fait l'essentiel du travail ; le type Daphné venant après les Aréthuse était tout simplement de son temps avec énormément de qualités, avec des qualificatifs élogieux, « hautes performances », « formule un des mers » ou encore à bord de l'Eurydice où il y avait de nombreux motards « la motocyclette de la sous-marine », tant ce sous-marin était nerveux et manœuvrant pour se dérober devant une menace aérienne, une priorité à cette époque, ou pour faire face à un navire de surface .

Il faut reconnaître que les sous-marinières de l'époque n'avaient pas froid aux yeux pour exploiter toutes les qualités de ces sous-marins, ceci en regard des critères de conduite actuels, et que les sous-marins type Daphné, où les automatismes, les sécurités formelles et les aides à la conduite étaient encore peu répandus, étaient assez intolérants à l'erreur ou à la négligence humaines. Les sous-marinières de l'époque, y compris après la perte de la Minerve, avaient pour la plupart d'entre eux une grande confiance dans le matériel et étaient fiers dans leur grande majorité de servir sur les Daphné, mais ils étaient si jeunes ! A part le commandant, son second et quelques officiers marinières anciens, l'expérience était souvent plus que ténue ; arrivé à bord de l'Eurydice sans rien savoir, j'ai vite constaté que je n'avais pas beaucoup de retard sur mes très jeunes compagnons.

Il y a enfin un dernier point sur lequel je souhaite répondre avant de passer au vif du sujet : « si vous avez modifié ces sous-marins après les accidents, c'est donc que la conception initiale était viciée ? ». Cette argutie juridique est fréquente dans les procès industriels que j'ai eus à connaître, plaidant le fait que toute évolution ou modification signifie que la conception antérieure était défectueuse. Pour faire court, j'y répondrai par deux anecdotes. Un jour de 1990, deux jeunes ingénieurs très prometteurs du bureau d'études viennent me trouver embarrassés ; nous avons défini de nouveaux critères de conception pour le Triomphant et il se trouvait qu'aucun sous-marin précédent ne pouvait les satisfaire, fallait-il suspendre leur exploitation ? Excusez du peu, il s'agissait de tout le parc de sous-marins français ; j'ai eu un mal fou à les rassurer. Deuxième anecdote, en juin 1994, je fais visiter le Triomphant à de jeunes ingénieurs qui vont rentrer en service en septembre ; je leur dis que je ne vais pas leur parler de hautes technologies car ce sera leur lot quotidien, je leur dis que je vais leur montrer comment ce sous-marin est conçu après un siècle d'incidents, d'accidents et de catastrophes ; je leur dis enfin que, bien qu'on ait déjà beaucoup vu dans ce domaine, il n'est pas exclu qu'ils aient à compléter ce corps de doctrine dans le futur. Fallait-il condamner Gustave Zédé et tous ses successeurs au motif qu'il y a eu beaucoup d'accidents en un siècle et que le corps de doctrine en matière de sécurité n'a cessé d'évoluer ?

J'en viens maintenant au cœur du sujet :

- En rappelant d'abord quelques aspects de la définition et du fonctionnement des sous-marins type Daphné (poste central, pilotage et marche au schnorchel);
- Avec les rapports des commissions d'enquête sur la perte de la Minerve (1968) et sur la perte de l'Eurydice (1970), ainsi que deux incidents survenus sur l'Eurydice (1968) et la Flore(1971) ;
- Ce qui en est résulté à l'occasion de la modernisation des sous-marins type Daphné ;
- Les enseignements qui en ont été tirés pour les sous-marins qui ont suivi.

L'annexe 1 donne un schéma simple des sous-marins type Daphné dont les quelques approximations sont sans conséquences pour cet exposé. Il peut être utile à la compréhension du texte et des abréviations utilisées.

L'annexe 2 relate ce qu'on sait sur des accidents caractéristiques de sous-marins depuis 1962, en complément aux rapports des commissions d'enquête Minerve et Eurydice où toutes ces causes potentielles d'accident sont traitées.

2 Quelques aspects importants de la sécurité plongée

Plonger, faire surface, naviguer en plongée, tout cela en garantissant la sécurité du sous-marin, telle est la définition de la sécurité plongée. Sur les sous-marins type Daphné, le cœur de la sécurité plongée est le poste central au centre du bâtiment et au niveau supérieur ; au-dessous se trouve le local des auxiliaires. Il est utile de revenir sur ce poste central ainsi que sur le pilotage et la navigation au schnorchel.

Il faut aussi rester prudent dans tout jugement de valeur en se rappelant que ces sous-marins ont été conçus il y a soixante ans et qu'ils sont donc très différents sous de nombreux aspects des sous-marins actuels.

2.1 Le poste central



Cette photo provient de la Flore transformée en musée à Lorient ; elle est donc dans son état modernisée avec quelques différences par rapport à l'état d'origine.

En haut à gauche, le tableau de plongée avec les indications essentielles pour le pilotage (immersion, assiette, angles d'orientation des barres de plongée et de direction) et quelques informations connexes (heure, baromètre, ...). Au-dessous, se trouvent les manipulateurs, en jaune des barres de plongée avant, la plus à gauche, et arrière, la plus à droite, ainsi que les sièges des deux barreurs de plongée. Attention, ces sièges ont été modifiés par rapport à la définition d'origine pour que les barreurs restent opérationnels en cas de prise d'assiette importante. Le poste du barreur de direction n'est pas visible sur cette photo, il est plus à gauche et dans l'axe du bâtiment.

A droite du tableau de plongée, on distingue les commandes de chasse aux ballasts et les commandes des clapets de purge de ces mêmes ballasts. Plus à droite, sur la cloison qui sépare le poste central de la tranche hygiène, on trouve plusieurs coffrets de surveillance de la composition de l'atmosphère dont l'hydrogénomètre.

De l'autre côté de la coursive se situe la petite banquette réservée au maître de central. En fait il était le plus souvent debout en plein sur le panneau éclairé qui est la trappe d'accès au local des auxiliaires ; lorsque l'opérateur des auxiliaires voulait passer la tête au central, il commençait par taper sur le panneau vitré pour signifier qu'on devait s'en écarter.

Au plafond, juste au-dessus, un organe très important pour la navigation au schnorchel (le volant rouge) est la manœuvre de l'obturateur de la coupole ; on distingue très bien le « système chasse d'eau », c'est-à-dire une poignée au bout d'un câble, pour fermer cet obturateur.

A droite sur la photo, on a une vue de la tranche hygiène côté tribord, laquelle donne sur la tranche groupes électrogènes-propulsion. Une Daphné étant une longue course rectiligne à ce niveau, on a une vue parfaite depuis le poste central de ce que font les opérateurs énergie-propulsion, de nombreux ordres étant doublés par des signaux optiques convenus. Deux exemples : les bras en X au niveau des yeux signifiait « couper la charge » (arrêt des GE et fermeture des sectionnements d'échappement diesel) ; tourner le bras au-dessus de la tête signifie au contraire « prendre la charge » en mimant l'ouverture des sectionnements d'échappement.

Un dernier point sur le local des auxiliaires où je n'ai jamais été autorisé à faire le quart (la raison officielle étant qu'après avoir appris le central, j'avais mieux à faire en apprenant la propulsion). Il y avait tellement à faire pour un jeune marin, les compresseurs d'air, l'assèchement, la station d'huile, l'arbre de Noël des régleurs (la forêt de sectionnements pour faire les mouvements d'eau aux régleurs), les divers sas... Il était possible de « vider la mer dans le bateau en cas de fausse manœuvre » ; cela n'allait pas bien loin vu le bruit d'enfer qui alertait aussi bien l'opérateur fautif que le personnel du central juste au-dessus, mais il y avait des graduations datées dans le local qui rappelaient les crues successives sans toutefois nommer les coupables.

2.2 Le pilotage des Daphné

Parler du pilotage des Daphné, c'est vraiment pénétrer dans l'histoire du sous-marin, car ce type d'appareil à gouverner, en filiation avec celui des Aréthuse, n'a plus jamais été reproduit.

Sa caractéristique majeure est la manœuvre des barres par des presses hydrauliques extérieures, avec comme source d'énergie une station d'huile dite différentielle ou extérieure. Relisons le cours d'auxiliaires de sous-marins 1962 de l'ENSM (Ecole de Navigation Sous-Marine) : « Les différences entre cette installation et la station d'huile Narval proviennent de l'emploi de presses extérieures. La nécessité d'interdire toute possibilité d'entrée d'eau de mer dans le circuit a conduit à maintenir le collecteur de retour sous une pression au moins égale à la pression d'immersion maximum. D'autre part, des considérations de discrétion ont conduit à adopter un fluide de densité supérieure à l'eau de mer ; ainsi en cas de fuite, il n'y a pas de remontée en surface. »

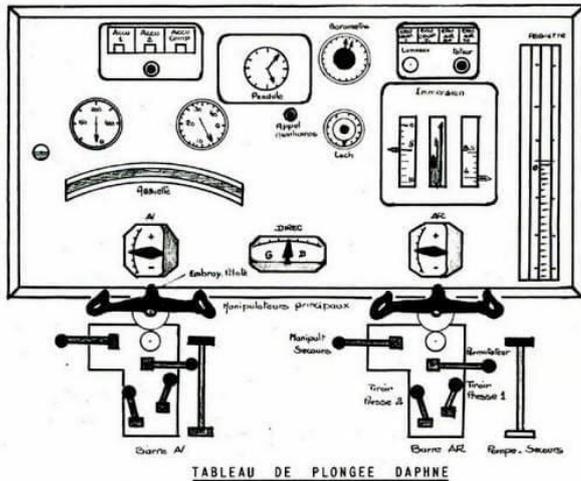
Venons- en maintenant à la barre de plongée arrière.



Inauguration de la Flore transformée en musée à Lorient

Tout est fait pour une efficacité maximale. La barre de plongée arrière, ici de grandes dimensions, a une influence très importante sur l'assiette car elle est très éloignée du centre de dérive (celui-ci en gros à 30% de la longueur du sous-marin en partant de l'avant), ce qui n'est pas le cas de la barre de plongée avant. De plus, la stabilité statique en plongée n'est pas très élevée, ce qui contribue à encore augmenter les performances manœuvrières, et enfin elle est « soufflée » par l'hélice juste en amont. Comme l'écrit fort justement la commission d'enquête de

la Minerve, une orientation de $+30^\circ$ de cette barre conduit dès 8 nœuds à une assiette négative de plus de 45° en moins de 30 secondes sans qu'il en résulte au départ d'effet significatif sur l'immersion. Cette barre est compensée (axe d'orientation reculé par rapport au bord d'attaque) pour minimiser la dépense d'énergie hydraulique ; ceci a une contrepartie majeure en cas de perte de l'énergie hydraulique. En raison de son poids et de l'action de l'écoulement, sa position d'équilibre est pratiquement l'orientation maximale, exactement comme sur la photo de la Flore. Un dernier point important sur cet appareil à gouverner : une cinématique astucieuse permettait de transformer la translation des tiges de presse en rotation du safran, mais les presses étaient mobiles d'où la nécessité d'interposer des flexibles souples entre les circuits hydrauliques et les presses. A l'origine, ces flexibles étaient des flexibles élastomères renforcés par des tresses qui avaient mauvaise réputation à l'issue de plusieurs fuites. On comprend que ces barres de plongée arrière ont été au cœur du débat dans l'analyse des catastrophes.



Le pilotage des Daphné était un peu déroutant au départ car l'orientation d'un manipulateur se traduisait non pas par un angle de barre, mais par l'ouverture plus ou moins grande d'un distributeur hydraulique dont le débit fixait une vitesse d'orientation de la barre. Pour réaliser un angle de barre, il fallait donc revenir promptement à zéro dès qu'on était sur le point d'atteindre l'angle souhaité. On s'habituaient cependant assez vite à cette commande vitesse et le pilotage en immersion profonde n'était pas très difficile ; on était plutôt impressionné par les performances manœuvrières pour disparaître très rapidement de l'immersion schnorchel en cas d'alerte, un aéronef par exemple, ou pour jongler avec la bathythermie pour engager un escorteur sans se faire contre-détecter.

En revanche tenir l'immersion schnorchel par très mauvais temps était une autre paire de manches.

2.3 La navigation au schnorchel



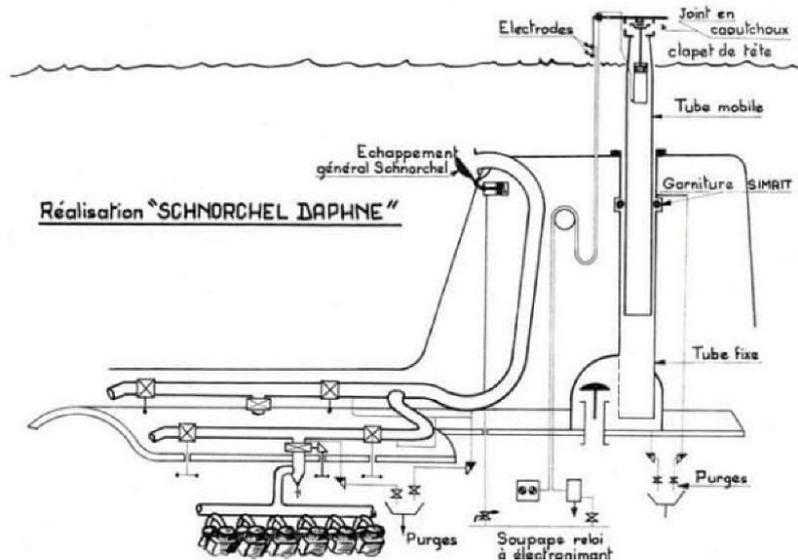
Les deux périscoopes et le tube d'air (trop haut, patron !!)

La navigation au schnorchel par très mauvais temps est faite d'objectifs parfaitement antagonistes :

-il ne faut pas naviguer trop haut (menace de détection des mâts) sinon « autant faire surface, de toute façon, on ne va pas s'envoler » comme le disait le second- le second est le futur amiral Foillard- aux barreaux néophytes dont j'ai fait partie ;

-il faut maintenir suffisamment longtemps l'admission d'air frais pour alimenter les groupes électrogènes lancés à fond pour recharger les batteries rapidement.

-il faut enfin éviter d'embarquer trop d'eau de mer.



Ce schéma donne une description hyper-simplifiée du système schnorchel Daphné ; il est très réducteur, mais il est suffisant à la compréhension. Au préalable, il est essentiel de rappeler que la définition du système schnorchel n'a cessé d'évoluer depuis 1945 : Bouan, La Créole avec schnorchel fixe ; Laubie, Millé, Sirène avec schnorchel rabattable ; Andromède, Artémis et tous les sous-marins type Narval avec schnorchel dit semi- hissable ; Aréthuse puis enfin Daphné dont la définition « schnorchel hissable » est assez proche sous certains aspects de celle des Aréthuse, mais avec aussi des différences qui sont loin d'être accessoires. Ceci montre qu'il s'agissait d'un problème peu simple où les responsables successifs ont essayé de faire de leur mieux en fonction des connaissances du moment. L'évolution n'allait d'ailleurs pas s'arrêter là puisque le système allait encore évoluer comme on le verra plus loin sur les Daphné modernisées, et enfin sur les Agosta ; j'ai plus tard donné instruction de concevoir le schnorchel des Scorpène comme celui des Agosta.

Revenons au schéma. Le tube d'air est représenté en position hissée avec à son sommet un clapet de tête commandé par une presse à air. Un organe électro- pneumatique situé à l'intérieur du sous-marin actionne le clapet de tête ; il est lui-même commandé par des électrodes en tête de mât ; si les électrodes sont hors d'eau, cet organe ouvre l'admission d'air dans la presse et le clapet de tête s'ouvre ; si les électrodes sont sous l'eau, le courant résultant de la conductibilité de l'eau de mer ferme le circuit et le clapet se ferme Il faut aussi un dispositif flexible, appelé aussi traînard, pour envoyer les informations électrodes vers l'intérieur et l'air comprimé vers la presse du clapet de tête ; il est bien visible sur la photo d'introduction de ce paragraphe. Le seul dispositif de rétention d'eau qui est contrôlé est la coupole, où la partie inférieure de l'élément fixe du tube d'air est encastrée. Cette coupole est elle-même munie d'un deuxième obturateur, le premier étant le clapet de tête, l'obturateur coupole qui est manœuvré depuis le poste central. La purge de la coupole, sensée recueillir l'eau de mer embarquée au schnorchel, débouche au central dans un dispositif de collecte de toutes les purges des mâts appelé « aquarium » qui est vitré et éclairé. Il est situé à droite du maître de central, un peu en arrière de celui-ci. L'eau recueillie par l'aquarium est ensuite envoyée en-dessous dans le local des auxiliaires dans une caisse d'eau de mer qui n'est pas très grande, 350 litres si j'ai bonne mémoire. Le servant des auxiliaires doit assécher périodiquement cette caisse. S'il reçoit l'ordre d'attendre « tiens bon pour assécher », le risque d'une nouvelle crue dans les auxiliaires n'est pas exclu.



L'aquarium. Le tuyautage le plus important à droite est celui de la purge de la coupole. Les autres tuyautages sont des purges de mâts.

Maintenant que tout est paré, nous pouvons naviguer au schnorchel à 8 nœuds par mer force 5 avec un bon mistral établi au sud de Toulon : 2,5 à 4m de creux, une houle de 60 à 100 m de longueur d'onde, soit la longueur du sous-marin ou un peu plus. Tout le monde est sous tension au central, ça fait presque une heure que ça dure et on approche de la fin de charge.

Le sous-marin est pesé lourd pour compenser l'effet de succion moyen vers la surface dû à la houle. Il est illusoire de chercher à garder le clapet de tête ouvert en permanence : cela signifierait qu'on est presque en surface « sur les barres » ou que les deux barreurs de plongée sont meilleurs que les pilotes automatiques les plus performants qui verront le jour plus tard. Ces pilotes automatiques savent filtrer les signaux d'écart d'immersion et d'assiette et peuvent en quelque sorte anticiper (avance de phase), ce qui est bien difficile pour l'opérateur humain qui a plutôt tendance à être en retard quand tout va vite. Les deux barreurs cherchent donc à trouver le bon rythme pour marsouiner au mieux, clapet ouvert dans les creux, clapet fermé sur les crêtes, en cherchant à garder le clapet ouvert au moins la moitié du temps. Le chuintement de la commande à air comprimé du clapet donne le rythme. Le risque de ne pas tenir l'immersion schnorchel est permanent: un fort train de vagues qui aspire le sous-marin vers la surface ou au contraire une période de relative accalmie où le sous-marin risque de s'enfoncer durablement ou enfin un coup de barre inapproprié, en particulier de la barre de plongée arrière dont on a vu l'influence énorme sur l'assiette.

Le cours moteurs diesel 1958 de l'ENSM préconise de donner l'alerte dès qu'il y a une surimmersion de 20m par rapport à l'immersion schnorchel. Le même cours rappelle un autre risque parfaitement identifié à l'époque. En cas de fermeture prolongée du clapet de tête, les GE aspirent l'atmosphère du bord et la dépression s'en suit très vite. En fait, c'est la pression partielle d'oxygène qui compte pour préserver l'équipage du risque d'anoxie et il ne faut pas descendre en-dessous de 800 mbar de pression totale, sinon le maître de central doit donner l'alerte (je n'ai jamais vécu cette situation).

Même si on maintient correctement l'immersion, ces ouvertures-fermetures successives du clapet font qu'on peut embarquer beaucoup d'eau de mer ; l'équipage sait que tout ce qui ne passe pas dans la purge de la coupole va finir dans la cale des GE ; il arrive fréquemment qu'on aille jeter un œil au niveau de l'avant des diesel, il n'y a que la courte tranche hygiène à traverser. La consigne est que « le maître de central donne l'alerte quand la purge de la coupole donne à jet plein » ; l'aquarium étant souvent pratiquement plein dès qu'il fait mauvais temps, cette consigne est diversement interprétée et sujette à plaisanteries, « tant que la vitre tient, c'est bon » ou « pas plus d'une méduse dans l'aquarium ».

Enfin un dernier point est fondamental pour comprendre cette navigation au schnorchel, c'est ce qu'on appelle aujourd'hui le facteur humain. Il n'y a aucune sécurité automatique dans la conception d'origine des Daphné, qu'il s'agisse de la surimmersion, de la dépression ou de la quantité d'eau embarquée. Tout repose sur des consignes, et devoir donner l'alerte est souvent ressenti par le maître de central comme un échec qui peut même être susceptible de réprimande. Au moins pour certains (j'en ai fait partie car j'ai été élevé comme ça), cela signifiait qu'il fallait tenir le plus longtemps possible avant de se résoudre à donner l'alerte. Cela valait en particulier pour cette consigne assez qualitative sur l'aquarium ; le second vient voir ce qui se passe au central et voyant l'eau couler dans le central depuis l'aquarium un peu fuyard nous jette d'un œil noir « il serait peut-être temps de donner l'alerte » ; nous avons essayé de tenir !

Ce développement sur la navigation au schnorchel est certes long, mais il permet de comprendre ce qui s'est passé ensuite, toutes les analyses menées après les deux catastrophes et un incident majeur sur la Flore, le contenu de la modernisation des Daphné, et enfin la conception du schnorchel des Agosta.

3 Deux catastrophes et deux incidents graves

3.1 La Minerve (1968)

Le rapport de la commission d'enquête est déclassifié et donc accessible. La commission d'enquête dispose à l'époque de très peu d'éléments factuels (les boîtes noires ne verront le jour que plus tard) : la météo, il fait très mauvais temps, la dernière communication radio avec un avion de patrouille maritime à 07.55 de la Minerve à l'immersion schnorchel, l'implosion à 07.59 (sismographe), le fait que la Minerve avait consommé toutes ses torpilles. La commission d'enquête s'est donc attachée à faire l'inventaire le plus exhaustif possible de toutes les causes envisageables et à examiner ce qui pouvait être vraisemblable dans le cas de la Minerve, ceci en tenant compte des faits antérieurs survenus sur d'autres sous-marins. Elle a éliminé d'emblée certaines causes (mine, échouage, acte hostile, explosion d'armes puisqu'il n'y en avait plus à bord).

L'abordage a retenu toute son attention, le rapport rappelant que c'est la cause de la plupart des accidents de sous-marins, en particulier à l'immersion périscopique ou au cours de la manœuvre de reprise de vue. Cette cause a toutefois été jugée peu vraisemblable car les coques de très nombreux navires, dont les deux jugés comme les plus potentiellement concernés, ont été inspectées à Marseille sans résultat.

Il en est de même pour les autres causes d'explosions internes, celui des armes étant sans objet. L'explosion d'hydrogène dans un compartiment batterie n'est pas jugée suffisante pour entraîner la perte d'un sous-marin ceci au vu des événements antérieurs. La commission a vu juste, un événement ultérieur (Doris en 1983) confortera cette conclusion. L'éventualité de l'explosion d'une bouteille d'air HP (pression de service 250b) est également envisagée ; dans ce cas, il y a suffisamment d'énergie pour couler un sous-marin, mais il est rappelé que ce n'est jamais arrivé, au plus des effets diesel sur circuit. Cette conclusion reste heureusement vraie aujourd'hui : ces bouteilles sont régulièrement inspectées et éprouvées, et disposent d'un coefficient de sécurité énorme.

Restent donc les voies d'eau et les avaries de barre de plongée auxquelles la commission a consacré toute son attention.

En ce qui concerne les voies d'eau, la commission observe qu'une fuite sur un circuit d'eau de mer (un circuit de réfrigération par exemple) survenant à l'immersion périscopique ne doit pas empêcher de faire surface et de se manifester. Le cas d'une entrée d'eau massive par le système schnorchel est aussi examiné en rappelant qu'une double avarie (clapet de tête et coupole) sur le sous-marin Aréthuse avait provoqué un embarquement de 10 tonne d'eau, mais que le sous-marin avait réussi à rétablir la situation. La commission émet donc des doutes sur le fait qu'une avarie schnorchel soit suffisante à elle seule pour expliquer le naufrage. On verra qu'un incident postérieur sur la Flore en 1971 a apporté un éclairage complémentaire.

La commission privilégie donc l'avarie de barre de plongée arrière car il y a eu plusieurs avaries sur des Daphné (Galatée en 1962, Diane en 1964), les flexibles Ermeto étant connu pour leur médiocre fiabilité. Elle considère toutefois que ceci ne doit pas entraîner une perte de sous-marin si les parades définies par consigne sont correctement mises en œuvre ; donc, soit l'équipage n'a pas correctement réagi, soit une avarie matérielle l'en a empêché. Il reste à expliquer pourquoi la chasse HP aux ballasts ou le largage des plombs de sécurité n'auraient pas été effectués : la commission observe que l'accès aux commandes de chasse est probablement malaisé en cas de forte pointe, et que cette pointe peut aussi s'opposer au largage des plombs de sécurité si cette manœuvre a été tentée.

La commission préconise ensuite un certain nombre de mesures d'ordre réglementaire, d'ordre matériel ou concernant le personnel.

Elle préconise de pouvoir isoler rapidement à distance les circuits d'eau de mer : ce système de fermeture d'urgence par télécommande d'au moins un sectionnement à l'entrée et à la sortie d'un circuit d'eau de mer depuis un poste de zone allait se généraliser, « on ferme d'abord, on investigate ensuite ».

Elle préconise de mieux assurer la tenue du personnel de quart en cas de forte assiette. Ceci va marquer la fin de l'architecture des postes de quart à l'ancienne. Les barreurs et les servants de la propulsion devront désormais rester opérationnels en cas d'assiette anormale.

Elle préconise de donner un accès direct au maître de central sur des informations importantes de conduite sans qu'il soit nécessaire pour lui de se retourner.

Elle préconise des dispositions particulières pour aller au-delà de 2P/3 (P : immersion maximale de service). C'est la naissance des domaines de veille renforcée qui vont se généraliser.

Elle préconise pour les sous-marins type Daphné d'accélérer l'équilibrage des barres de plongée arrière et l'amélioration des flexibles d'alimentation des presses de barres.

Elle préconise pour les sous-marins nucléaires :

- de les doter d'un système de chasse rapide pour permettre un allègement d'urgence qui soit efficace en immersion ;
- de les équiper de « barres de plongée n'entraînant pas de risques excessifs à grande vitesse ».

Concernant les personnels, elle préconise d'améliorer l'entraînement à la sécurité- plongée. Les simulateurs joueront un rôle majeur ; le premier, le SIENDA (simulateur d'entraînement Daphné), sera mis en service à Toulon un peu plus tard.

Plus de cinquante ans après, lorsqu'on relit ce rapport, on est frappé par la justesse de l'analyse et la pertinence des préconisations ; il y a peu à redire, sauf peut-être un léger optimisme sur les situations anormales qui peuvent se présenter en navigation schnorchel comme le montrera plus tard la Flore.

3.2 L'Eurydice (1970)

La commission d'enquête reprend pour une large part ce qu'a écrit celle de la Minerve avec quelques différences.

L'abordage avec un cargo tunisien, le Tabarka, a été vu par certains comme une cause vraisemblable. Les éraflures sur la coque de ce cargo semblaient correspondre aux traces des aériens d'une Daphné en navigation schnorchel. La commission n'a cependant pas retenu cette cause en considérant que ces éraflures étaient vraiment trop modérées pour expliquer la perte d'un sous-marin ; certains marins et ingénieurs n'ont pas été convaincus tant ces traces étaient troublantes ; je me rappelle qu'en 1977, mon chef de section sous-marins au STCAN, Marc Menez, était encore tracassé par ce sujet et avait demandé à ce qu'on étudie le cas d'une Daphné renversée à l'immersion périscopique par un navire de surface sans que le choc en lui-même provoque des dégâts significatifs. La chute d'objets solides et de liquides allait-elle aboutir à une nouvelle situation d'équilibre la quille

en haut, ce qui signifiait évidemment la perte du sous-marin ? La conclusion avait été négative, le sous-marin devait se redresser avec une chance réelle de faire surface. Des avis autorisés ont fait remarquer que ceci ne constituait pas une preuve, le chavirement avait pu entraîner d'autres avaries éventuellement aggravées par des réactions inappropriées de l'équipage dans la confusion qu'on peut imaginer.

Une autre question était de savoir si une collision en reprise de vue ou à l'immersion périscopique pouvait infliger des dégâts mortels au sous-marin sans qu'il n'en résulte rien pour l'abordeur en surface sauf quelques éraflures. Pour ma part, je n'y ai jamais cru quand on connaît l'échantillonnage bien modeste de ce petit cargo Tabarka. En appliquant la théorie de Minorsky, la seule disponible à l'époque, il me semble absolument impossible que le cargo n'ait subi aucun dommage et que toute l'énergie du choc soit passée dans le sous-marin a priori plus rigide, au point qu'il puisse en couler. Deux événements ultérieurs m'ont conforté dans cette conviction. Le sous-marin La Praya a percuté le fond d'un grand bâtiment marchand en 1979 au cours d'une reprise de vue, a subi des déformations impressionnantes des mâts hissés et de sa barre de plongée avant sans que sa survie en soit affectée. Le sous-marin Rubis a percuté en 1993 le pétrolier Lyria en quittant d'urgence l'immersion périscopique (il s'en est fallu de peu hélas pour éviter le choc), mais il a subi des endommagements très modérés alors que le bordé du Lyria a été crevé, ce qui a déclenché une marée noire. Les esprits avertis vont objecter que la théorie de Minorsky ne marche pas à tous les coups, mais je ne changerai pas d'avis. Pour conclure sur la collision, il existe donc deux points de vue irréconciliables entre ceux qui partagent l'avis de la commission d'enquête et ceux qui pensent qu'elle a pu se tromper.

La commission d'enquête de l'Eurydice avait aussi connaissance d'un incident survenu en 1968 sur ce même sous-marin, lequel va être relaté dans le paragraphe qui suit et qui confortait ce qu'avait écrit la commission d'enquête de la Minerve sur une éventuelle mauvaise réaction en cas d'avarie de barre de plongée arrière.

3.3 L'Eurydice (1968)

Le drame de la Minerve venait juste de se produire et les premières recommandations en matière de conduite allaient être mises en œuvre, consignes de précaution pour l'essentiel et entraînement aux avaries. L'époque où on conduisait les Daphné comme des motos était révolue ; le commandant avait commencé son exposé en salle de classe de l'ENSM par « alerte, assiette -30°, immersion 300m, c'est fini » ; il n'y avait pas encore de simulateur d'entraînement à l'époque, on apprenait en salle de classe et on mettait en œuvre à la mer. Nous avons été prévenus qu'il y aurait des exercices d'avarie « réalistes » sans forcément de préavis.

Quelques jours plus tard, nous sommes à 100m d'immersion, vitesse de 8 noeuds ; je suis au poste central bâbord arrière, coincé entre l'aquarium et le carlingage central, avec très peu de chance de tomber. Tout est calme quand le second part à l'arrière puis revient très rapidement au central opérations juste en avant du poste central ; personne n'est dupe au central ; il est parti bipasser l'hydraulique et on va avoir droit à l'avarie de barre. C'est bien le cas et les ordres fusent conformément aux consignes, mais il se passe quelque chose de vraiment anormal. L'assiette négative augmente de plus en plus vite, la vitesse loch ne diminue pas, bien au contraire, puis l'aiguille du manomètre d'immersion se met à tourner bien vite. Là où je suis, juste en face des commandes de chasse aux ballasts, avec tout ce qu'il faut pour me tenir, je distingue très bien, au travers de la porte arrière du central qui est ouverte, les servants de la propulsion qui s'accrochent comme ils peuvent, et la propulsion me semble totalement hors de contrôle.

De nouveaux ordres fusent : « chasser aux ballasts avant » - celui-là est pour nous ; « disjoncter les têtes de batterie » - celui-là n'est pas pour nous, la tête de batterie arrière est au CO et la tête de batterie avant est en face du carré officiers. Sur les Daphné à cette époque, le central n'a aucun moyen d'action sur les batteries. La commission d'enquête de la Minerve a relevé combien il pouvait être difficile d'aller manœuvrer les distributeurs de chasse aux ballasts en cas de forte pointe ; elle avait vu juste ! Autre surprise, cette chasse aux ballasts n'a semblé au départ n'avoir aucun effet sur le comportement du sous-marin, à tel point que je me suis demandé si les distributeurs de chasse étaient bien en position ouverte.

Seule la neutralisation de la propulsion a mis fin à cette embardée impressionnante en assiette et en immersion. Il s'est avéré tout de suite après que cette embardée n'avait qu'une seule cause, le second-maître de quart à la propulsion s'était trompé dans la manœuvre des inverseurs ; il avait réglé AV5 au lieu d'AR5.

On verra plus loin que ceci a eu des répercussions majeures sur la modernisation Daphné.

3.4 L'incident de la Flore (1971)

Le temps est particulièrement mauvais, état de mer 6 (creux significatif entre 4 et 6m). Le sous-marin est au schnorchel et on constate comme d'habitude qu'il embarque beaucoup d'eau par la purge de la coupole. L'alerte est donnée une première fois lorsque le sous-marin perd l'immersion schnorchel. Un des barreurs écrira que l'équipe du central se fait fortement réprimander pour ne pas savoir tenir l'immersion. Personne n'a semblé s'inquiéter du niveau d'eau dans la cale GE.

Le sous-marin reprend la vue et relance au schnorchel ; soudain, le sous-marin prend une forte assiette positive et se met à couler par l'arrière. En fait il a embarqué une énorme quantité d'eau, pas loin de 30 tonnes, a été victime d'un effet de carène liquide, l'eau venant s'accumuler à l'arrière du compartiment et faisant perdre en sus la propulsion par noyage des MEP.

L'assiette positive aurait atteint plus de 45° au cours de cette descente. Il y a une porte entre l'arrière du compartiment propulsion et le poste OM qui se situe à l'arrière de la coque résistante. Cette porte, habituellement fermée pour préserver un peu d'espace vie, comporte un hublot à hauteur d'yeux. Les témoins présents au poste OM ont déclaré que l'eau avait dépassé ce hublot, ce qui confirme l'ahurissante quantité d'eau qui a été embarquée à la longue.

L'équipage a réagi promptement à l'avarie ; la chasse aux ballasts et la chasse aux régleurs (il y avait à l'époque un régleur dit de sécurité plein d'eau et pressurisé pour pouvoir le purger immédiatement) sont déclenchées dès le passage à 50m et le commandant ordonne le largage des plombs de sécurité, ce qui a probablement sauvé le sous-marin. L'immersion finit par décroître, la Flore parvient à faire surface et sera ensuite prise en remorque jusqu'à Toulon. Je crois que le soulagement a été immense car on avait failli perdre une autre Daphné.

Le maître de central de quart au moment des faits déclare qu'il y a eu une avarie de clapet de tête ; la commission d'enquête réunie sur le champ fait expertiser le système schnorchel et ne découvre aucune anomalie de fonctionnement. Une opinion très personnelle à ce sujet : dès 1968 au moins, le système schnorchel était devenu très fiable, je n'ai connu aucune avarie sur l'Eurydice et on se parlait entre sous-marins.

A la suite de cet incident, il y eut cependant un très étrange essai sur la Flore au bassin, tube d'air légèrement submergé avec clapet de tête ouvert et moteurs diesel en route ; cet essai permit seulement de vérifier que les lois de la physique étaient bien respectées. On y fit la banale constatation que le débit d'entrée d'eau de mer était bien supérieur à ce que permettait la colonne d'eau au-dessus du clapet, ceci en raison de la forte dépression créée par l'aspiration des moteurs diesel.

Loin de moi la pensée d'accabler les équipages quand ils incriminent parfois un peu trop vite le matériel. Il fallait au contraire faire mieux pour les aider, (comment peut-on embarquer une telle quantité d'eau sans se rendre compte de rien ?), et minimiser les conséquences de ce manque total de perception de ce qui va arriver de façon inéluctable.

Cet incident aura aussi des conséquences capitales sur la modernisation des Daphné et sur les sous-marins qui vont suivre.

4 La modernisation des sous-marins type Daphné

Un certain nombre de mesures ont été prises avant cette modernisation car elles ont été considérées comme urgentes. La commission d'enquête Minerve avait préconisé d'accélérer l'équilibrage des barres de plongée arrière et la résolution du problème des flexibles sur presses de l'appareil à gouverner. Tout le monde s'accorde

pour reconnaître le rôle éminent de Marc Menez, l'ingénieur chargé des sous-marins à Toulon au moment de la perte de la Minerve, pour avoir supprimé ces flexibles et les avoir remplacés par des lyres métalliques souples aussi appelées « cors de chasse ». Après cela, plus aucune Daphné n'a connu d'avarie de barre. Lorsqu'on en parlait librement avec Marc Menez, mon chef à l'époque au STCAN en cette fin des années 1970, on se disait que ces flexibles avaient peut-être tué plus de cent sous-marinières, mais je me ravise sur le champ. Il n'y a aucun élément factuel pour expliquer la perte de la Minerve ou de l'Eurydice. Nous avons le droit d'être des êtres humains et de nous laisser aller un court instant à un peu d'émotion et de subjectivité. Lorsque j'ai été moi-même ingénieur chargé des sous-marins à Toulon de 1980 à 1985, je vous laisse imaginer ce qui pouvait me traverser l'esprit en voyant ces cors de chasse sur une Daphné au bassin.

La modernisation Daphné commence en 1973 ; le délai peut paraître long, mais il s'explique par l'importance du contenu ; elle comprend une refonte du système d'armes, un nouveau sonar d'étrave et une nouvelle direction de lancement de torpilles qui permet de lancer des torpilles filoguidées, une modernisation de certains équipements électroniques, et enfin de nombreuses mesures pour améliorer la sécurité-plongée suite aux deux commissions d'enquête Minerve et Eurydice, ainsi que les événements qui viennent d'être relatés sur l'Eurydice (1968) et sur la Flore (1971). Je pense que ces mesures vont paraître évidentes à ceux qui ont pris un peu d'intérêt à lire ce qui précède.

Les sièges des barreurs au poste central et les postes de quart des armoires MEP sont modifiés pour que les opérateurs ne risquent pas d'être dans l'impossibilité de conduire le sous-marin en cas de très forte assiette ; cette modification a été loin d'être négligeable pour la conduite de la propulsion.

Des modifications matérielles sont faites pour améliorer les moyens de réaction. Les commandes d'ouverture des disjoncteurs principaux des têtes de batterie et des disjoncteurs d'induit des MEP sont doublées pour qu'elles soient aussi manœuvrables depuis le poste central.

L'ordre AR5 est sécurisé avec un contrôle électrique de bonne exécution.

Une butée mécanique de barre arrière est installée pour être enclenchée sur consigne à partir d'une certaine vitesse, à l'instar d'un dispositif de même nature qui existait déjà sur les sous-marins nucléaires type Le Redoutable.

Une chasse HP particulière de secours est installée aux ballasts avant (ballasts 5). On est encore très loin des très puissantes chasses rapides des sous-marins nucléaires, mais il s'agit d'un vrai progrès pour contrer une prise anormale de pointe. Il était difficile de faire mieux sur ces sous-marins où l'espace manquait tellement.

Ce qui précède rappelle de façon évidente ce qui est arrivé sur l'Eurydice en 1968.

Cette modernisation inclut également de nouvelles dispositions pour lutter contre les voies d'eau.

Des sectionnements télécommandés sont mis en place sur tous les circuits d'eau de mer. Il s'agit là de la notion de fermeture d'urgence déjà implémentée sur les SNLE type Le Redoutable et qui sera désormais systématique sur tous les sous-marins suivants et pour tous les circuits d'eau de mer d'une certaine importance. Pourquoi ne l'a-t-on pas fait plus tôt ? Parce que la technologie n'existait pas.

Une commande pneumatique des plombs de sécurité est mise en place pour garantir leur largage. Un barrage dans la cale propulsion est mis en place pour protéger les MEP d'un noyage en cas d'entrée d'eau au niveau des diesel-générateurs ; ces deux dispositions rappellent de façon évidente l'incident de la Flore.

Enfin la sécurité de fonctionnement au schnorchel est améliorée avec un dispositif de surveillance incluant une alerte automatique et la commande de fermeture par presse à air de la coupole ainsi que de l'échappement général schnorchel. La coupole a été également modifiée pour tranquilliser l'écoulement d'eau avec en sus une électrode commandant la fermeture du clapet de tête en cas de niveau anormal. La tâche du maître de central

était ainsi grandement simplifiée car c'était désormais des automatismes qui déclenchaient l'alerte schnorchel dans la plupart des cas.

Suite à l'ensemble de ces modifications, aucun des sous-marins du type n'a connu un évènement significatif en matière d'avarie de barre ou d'entrée d'eau importante en navigation au schnorchel.

5 La conception des sous-marins qui ont suivi

Il convient d'abord de rappeler qu'en parallèle avec ces évènements qui ont accablé le type Daphné depuis 1968, s'achevaient les études et la réalisation du Redoutable qui allait faire sa première patrouille en 1972. L'évolution de la conception dans les deux décennies qui ont suivi, jusqu'au Scorpène en 1990, a procédé des deux, c'est-à-dire tout le progrès technique et conceptuel du Redoutable ainsi que les enseignements qui sont venus de cette triste période des Daphné.

5.1 Les risques voies d'eau

La notion de fermeture d'urgence s'est systématisée, à savoir la capacité à isoler totalement tous les circuits d'eau de mer par la télécommande d'un sectionnement de sécurité aussi bien à l'aspiration qu'au refoulement. Il en est de même pour la surveillance du niveau d'eau dans les cales, l'atteinte du détecteur le plus haut provoquant un incident voie d'eau. Travaux pratiques un jour de janvier 1995 sur le Triomphant : un circuit d'amorçage d'une pompe d'assèchement a été laissé disposé ouvert et il y a un peu d'eau dans la cale des auxiliaires 3 ; le sous-marin prend de la pointe, très modérément, au cours d'un des essais et l'eau atteint le seuil haut ; le poste de zone avant annonce « alarme voie d'eau zone avant » et on entend immédiatement le bruit sourd de tous les sectionnements de la zone avant qui se ferment.

Le système schnorchel a considérablement évolué sur les Agosta avec trois capacités successives de rétention et les alarmes correspondantes de niveau d'eau :

- le puits du tube d'air complètement séparé de la coupole ;
- la coupole ;
- et surtout une immense caisse des purges située tout en bas dans le local batterie avant, vers laquelle plongeait la gaine d'air frais ; l'atteinte d'un niveau haut provoquait automatiquement l'alerte schnorchel.

Cette architecture excluait pratiquement tout risque d'entrée d'eau intempestive, ce qui d'ailleurs ne s'est jamais produit à ma connaissance sur un Agosta. Comme il s'y rajoutait un très bon pilote automatique en tenue d'immersion, naviguer au schnorchel sur un Agosta à la fin des années 1970 n'avait plus rien à voir avec ce qui se passait dix ans avant sur une Daphné.

Je n'ai retrouvé aucun dossier justificatif de la conception du système schnorchel des Agosta ; ce n'était pas encore systématique au début des années 1970, on faisait au mieux de la connaissance acquise et il n'était pas encore naturel d'avoir à s'en justifier. Lorsque le bureau d'études est venu me trouver vingt ans plus tard pour discuter de la conception du schnorchel du Scorpène, la réponse a été simple : vous faites exactement comme sur les Agosta.

5.2 La conception de l'appareil à gouverner

Au moment de la conception des Daphné, la maîtrise du comportement dynamique d'un sous-marin en plongée est excellente et on le doit au travail du Bassin d'Essais des Carènes. On sait vérifier les critères de stabilité dynamique dans les deux plans vertical et horizontal, modifier les plans fixes et mobiles si nécessaire, on sait mesurer les coefficients hydrodynamiques sur modèle et les intégrer dans un modèle de manoeuvrabilité à trois dimensions. Un document d'André Gempp - le futur concepteur des Redoutable- datant des années 1960 en témoigne. Ceci a d'ailleurs permis de réaliser le simulateur SIENDA qui a été jugé d'emblée très réaliste pour reproduire le comportement d'une Daphné en plongée.

Il est probable que la surface totale (parties fixes et mobiles) des ailerons horizontaux et des barres de plongée a été calculée comme un pourcentage de la surface projetée de la carène du sous-marin dans le plan horizontal ; c'est en effet ce qui était enseigné dans les cours de l'époque. Ce critère doit être encore plus ancien car il est très étonnant en regard des connaissances du moment ; il ne prend en effet en compte ni les coefficients hydrodynamique de la carène, ni la stabilité statique prévisionnelle du sous-marin, excusez du peu ! Je n'ai jamais rien trouvé de précis sur le dimensionnement des parties mobiles.

La décennie 1970 a été consacrée à la recherche de critères rationnels pour passer du besoin opérationnel (virer, changer d'immersion, tenir l'immersion périscopique et au besoin la quitter d'urgence) à des paramètres physiques de dimensionnement, ceci en tenant compte constamment de la préconisation de la commission d'enquête de la Minerve, à savoir « ne pas concevoir un système présentant des risques excessifs ». Assurer le minimum de capacités manœuvrières à faible vitesse, là où la barre de plongée arrière a peu d'efficacité, conduit inexorablement à un système surabondant à grande vitesse et potentiellement dangereux. Ceci a été fait pour des empennages cruciformes classiques (Agosta, Rubis, Redoutable M4, Scorpène) et les empennages en T (Triomphant), l'empennage de ce dernier représentant un summum d'intégration de plusieurs fonctions dont certaines n'ont rien à voir avec la manœuvrabilité.

L'empennage en X qui est séduisant pour les performances à basse vitesse n'avait pas été envisagé car nous savions à cette époque (voir annexe2) qu'un incident sur le sous-marin US Albacore avait failli conduire à sa perte et que cette solution avait été proscrite par l'US Navy ; j'y ai fait allusion dans une communication à l'ATMA en 1980 traitant du dimensionnement de l'appareil à gouverner et du risque avarie de barre. On saura plus tard qu'un autre sous-marin d'un pays tiers, contentons-nous de dire que ce pays est européen, avait percuté violemment le fond heureusement faible à la suite d'une avarie de barre avec un empennage en X. De toute façon, le dogme était à l'époque de pouvoir reprendre immédiatement la main en pilotage manuel dans des conditions très dégradées de l'énergie hydraulique ou électrique, ce que ne permettait pas manifestement le système en X.

Des butées mécaniques ont continué d'être utilisées sur la barre de plongée arrière pour éviter une prise d'attitude dangereuse en cas d'avarie de barre de plongée arrière aux vitesses moyennes ou élevées. La seule avarie qui pouvait mettre en défaut ces butées était une rupture mécanique de la cinématique en aval des tiges de presse, évènement jugé très improbable bien qu'il se soit produit une fois en 1930 (dé-freinage d'un axe d'articulation ayant entraîné la perte de l'axe et l'avarie totale du système mécanique d'orientation de la barre). Dans le même ordre d'idée, la compensation de la barre de plongée arrière a été interdite.

Ces dispositions matérielles ont été complétées par des consignes sur les vitesses autorisées en fonction de l'immersion : domaine immersion-vitesse comprenant trois sous-domaines, un domaine normal, un domaine de veille renforcée et un domaine interdit.

Enfin, un soin particulier a été apporté aux performances à l'immersion périscopique et en particulier la capacité à pouvoir la quitter en assiette quasi-nulle afin de ne pas dénoyer le propulseur ; le premier sous-marin à avoir été conçu en conséquence a été l'Inflexible. Les pilotes automatiques à l'immersion schnorchel étaient très performants dès les Agosta et avaient enfin mérité la confiance des marins ; un commandant d'Agosta m'avait dit un jour en 1981 « ce pilote automatique est excellent, il ne fatigue pas, il ne commet aucune erreur sauf à tomber en panne, ce qui arrive rarement ». Que de chemin parcouru par rapport à une Daphné au schnorchel.

Comme précédemment indiqué, le système de presses extérieures des Daphné a été définitivement abandonné. Si les Daphné modernisées n'ont plus rencontré d'avarie de barre, le système manquait de fiabilité sans qu'il en résulte d'altération à la sécurité ; bien qu'il y ait un segment racleur, puis deux joints d'étanchéité avec un témoin de fuite entre les deux, les concrétions marines qui se déposaient à la longue sur les tiges de presse finissaient par dégrader l'étanchéité et il n'y avait pas d'autre solution que de passer au bassin pour réparer.

5.3 Le système d'allègement d'urgence : la chasse rapide.

C'est Gérald Boisrayon qui a parachevé les critères de dimensionnement de cette installation à l'occasion des études des sous-marins type Rubis, en finalisant les principes de conception, les performances d'allègement à atteindre à l'immersion maximale et le dimensionnement des ouvertures de remplissage des ballasts pour limiter de façon sûre la surpression dans les ballasts en cas de chasse rapide. Le fait de concevoir des clapets de purge étanches à la pression d'immersion et autoclaves à la pression des ballasts (solution qui a fini par s'imposer car on a fait le contraire sur certains sous-marins) va aussi dans le bon sens pour garantir le bon fonctionnement de la chasse rapide.

Ce système a été limité aux ballasts centraux avec mise en œuvre simultanée : il constitue uniquement un moyen d'allègement et n'est pas destiné à corriger l'assiette. Il n'utilise que de l'air comprimé avec des réserves dédiées et n'a besoin d'aucune autre forme d'énergie. Les distributeurs pneumatiques de commande sont à portée de main immédiate d'un barreur pour garantir la mise en œuvre en toutes circonstances.

5.4 La conception des postes de conduite

Quelques grands principes se sont dégagés :

- Veiller à ce que les opérateurs puissent continuer à être opérationnels, même en cas d'attitude anormale du sous-marin
- Veiller à ce que toutes les signalisations soient visibles en permanence pour l'opérateur, les plus importantes étant dans son champ visuel direct
- Veiller à ce que les commandes soient en permanence accessibles et manœuvrables sans ambiguïté (ne pas confondre AR5 avec AV5)
- Avoir les signalisations les plus simples et les plus claires possibles:
 - a) Rouge : incident réclamant une réaction immédiate ;
 - b) Orange : défaut à corriger à terme ;
 - c) Vert : situation normale en plongée (*)
 - d) Blanc/bleu : signalisations d'état sans incidence sur la sécurité (ouvert/fermé ; marche/ arrêt)
- Veiller en cas d'incident à ce qu'une seule ou un nombre très limité de verrines s'allument en rouge.

(*) Une exception notable va perdurer, force de l'habitude et respect du vénérable Arrêté Ministériel sur le service dans les forces sous-marines, celle des lumineux des clapets de purge des ballasts : couleur rouge en plongée pour les clapets fermés alors que c'est un état normal. Le passage à la couleur verte ne sera fait que sur le Triomphant, en contravention formelle avec l'Arrêté suscité ; désormais, il n'y avait plus aucune signalisation rouge en plongée quand tout est normal.

Il faut noter que c'est la technologie des télécommandes et télésignalisations qui a permis cela ; c'était inaccessible pour ceux qui ont conçu les Daphné.

5.5 Les enregistreurs d'accident

La décennie 1970 a vu aussi apparaître un autre système dit « enregistreur d'accident » (système QRUX associé à la bouée ERUX), tant il avait été jugé insupportable de ne savoir pratiquement rien sur les catastrophes de la Minerve et de l'Eurydice.

Ce système enregistre un certain nombre de paramètres essentiels du fonctionnement du sous-marin, ainsi que la phonie du Poste Central Navigation-Opérations. Ces enregistrements sont transmis à une bouée largable munie d'un système d'émission radio pour pouvoir la localiser en surface et la récupérer ; cette bouée est larguée automatiquement en cas de comportement anormal du sous-marin (surimmersion,...) ou si le système n'est pas réarmé par l'équipage toutes les 24 heures.

Ce système n'a heureusement jamais servi à expliquer ce qui était arrivé à un sous-marin perdu corps et biens, mais il s'est révélé très utile pour aider à la compréhension d'accidents graves, l'Emeraude parexemple en 1994.

Il n'y a eu que très peu de largages intempestifs, ce qui pouvait bien sûr conduire au déclenchement de la procédure « sous-marin manquant » SUBMISS.

Les sous-marins avaient désormais leur boîte noire.

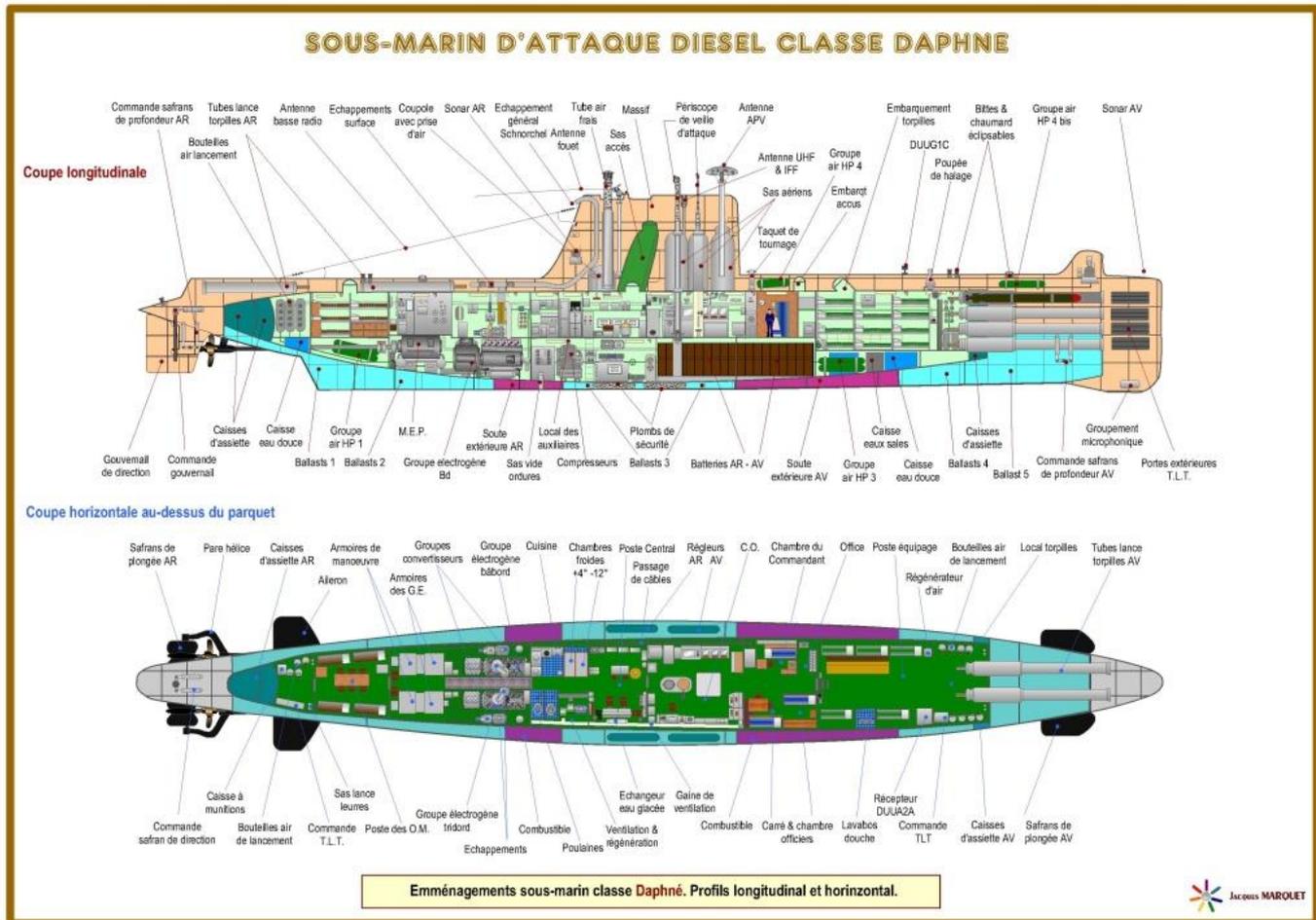
6 Conclusions

Nous ne saurons jamais ce qui est arrivé à la Minerve et à l'Eurydice. Ce témoignage est destiné à rappeler le travail remarquable, exhaustif et efficace qui a été fait à la suite de ces deux catastrophes. Une fois de plus, la sous-marine a appris et progressé dans la douleur.

Je souhaite rendre hommage aux marins de l'Eurydice qui reposent au large du cap Camarat et dont j'ai partagé la vie et le travail en 1968, ainsi qu'à mon camarade de lycée et de Jeanne d'Arc Georges des Aulnois qui venait juste d'embarquer en 1970.

Annexe 1

Schéma d'une Daphné (il s'agit d'une Daphné modernisée, mais ceci ne change rien sur le fond)



Annexe2

Des accidents de sous-marins

Seuls sont cités des accidents à partir de 1962. Certains faits rapportés sont issus de témoignages ou de publications ouvertes: rien ne garantit leur véracité même s'ils sont techniquement plausibles. Cette annexe se propose d'apporter un éclairage complémentaire sur les causes d'accident envisagées par la Commission d'enquête de la Minerve, notamment pour ceux qui ne sont pas des spécialistes du sous-marin.

1 Les entrées d'eau accidentelles

Les causes potentielles sont multiples : circuits d'eau de mer, sas (vide-ordures, poulaines), tubes lance-torpilles, système schnorchel,...

L'exemple caractéristique est la catastrophe du sous-marin US Thresher en 1962. L'US Navy a déclaré avoir l'explication de ce qui s'est passé car le sous-marin aurait été en contact jusqu'au bout avec un navire de surface par téléphone sous-marin:

- Entrée d'eau accidentelle dans un compartiment électrique ; les circuits en alliage cuivreux avec des raccords par brasures ont été incriminés par la suite
- Désordres électriques suffisants pour entraîner la perte du réacteur et de la propulsion
- Sous-marin pesé très lourd pour compenser l'effet de portance dû à la vitesse (Ceci ne se pratique pas sur les sous-marins français)
- Inefficacité de la chasse aux ballasts en raison du givrage des détendeurs (Il n'y a pas de détendeurs sur les sous-marins français, l'air HP étant envoyé directement dans les ballasts avec amorçage d'un col sonique au débouché dans ces ballasts)
- Le sous-marin implose au franchissement de l'immersion de destruction.

Selon l'Amiral Cazenave, cette catastrophe a été prise en compte dans la conception du Redoutable pour préserver les installations électriques vitales du risque voie d'eau, pour le doter d'une chasse rapide très puissante et d'un calculateur de pesée (celui-ci marchait remarquablement bien, même s'il n'avait pas grand succès auprès des maîtres de central).

J'espère que ceci est resté dans les gènes des concepteurs de sous-marins à l'image du Triomphant et de sa « verticale électrique », immense citadelle découplée de la coque, à l'abri de tout risque voie d'eau ou fuite de vapeur.

Un autre risque d'entrée d'eau intempestive est le schnorchel. Je ne dispose d'aucune information sur le retour d'expérience de sous-marins étrangers quoique certains m'aient paru bien sommaires en matière de sécurité par rapport à ce qui se pratique en France depuis les Agosta.

2 Les avaries de pilotage ou avaries de barre



Sous- marin Albacore dans sa dernière configuration (empennage en X et hélices contrarotatives)

On a vu que l'avarie de barre de plongée arrière a été fortement suspectée dans les catastrophes de la Minerve et de l'Eurydice, mais il n'existe aucune preuve formelle qu'il s'agisse de la cause première de l'accident dans les deux cas.

L'incident de l'Albacore est considéré comme un cas de référence. Ce sous-marin expérimental américain a marqué une rupture dans la conception du sous-marin rapide et démontre la capacité américaine à innover dans les années 1960 pour tirer pleinement partie de la propulsion nucléaire. Il a été le creuset de plusieurs concepts nouveaux, mais il a été aussi le tombeau de plusieurs idées hydrodynamiques (des gadgets selon le David Taylor Model Basin trente ans après) qui se sont révélées inutiles, voire dangereuses : la barre verticale de massif pour contrer la gîte en giration serrée, les hélices contrarotatives et l'empennage en X.

On sait peu de choses sur l'avarie de l'Albacore: elle serait intervenue à grande vitesse à la suite d'un grave incident et le sous-marin ne s'en serait sorti que miraculeusement. Un document américain faisant la synthèse des essais dit « this arrangement proved very popular with foreign navies but has never reappeared on US submarines » ; et pour cause, nous savions dès la fin des années 1970 qu'il avait été interdit. Certaines informations disent que ce système pourrait être réintroduit sur les futurs SNLE Columbia ; c'est tellement pratique pour aller se poser sur le fond sur le plateau continental en situation super-silence.

3 Les collisions

C'est la cause de la plupart des incidents de sous-marins. On recense près de trente événements pour des sous-marins français depuis 1945 de tous types : collision avec le relief sous-marin, collision avec un navire de surface, voir collision entre sous-marins. La multitude des événements (c'est vrai aussi pour les autres marines) a conduit à classer la collision comme assez fréquente dans les études de sûreté (10^{-3} par sous-marin et par an). On dit justement que la navigation sous-marine introduit des risques particuliers comme la collision avec un navire de surface en cours de reprise de vue (La Praya 1979) où à l'immersion périscopique, d'où un risque accru pour les sous-marins diesel-électriques. Il n'empêche que cet incident peut aussi arriver à un sous-marin nucléaire (Rubis avec le pétrolier Lyria en 1993). Que dire enfin de cet incident invraisemblable en plongée entre deux SNLE, le Triomphant et le Vanguard britannique, en 2009.

La manœuvre de reprise de vue est une phase délicate, même périlleuse dans certaines conditions, pour un sous-marin. Un sous-marin n'entend pas de la même manière dans toutes les directions : son arrière est souvent un secteur assez sourd, par exemple pour les Daphné équipés d'une base hydrophonique d'étrave DSUV et de bases latérales DUUX. Un navire de surface n'émet pas non plus son bruit de façon uniforme dans toutes les directions. Pour maximiser les chances de bien détecter les bruiteurs et d'apprécier s'ils constituent un danger ou non, la manœuvre de la double abattée d'écoute (aussi appelée baïonnette pour représenter la trajectoire du sous-marin) est connue depuis longtemps. Evoquant les sous-marins de l'immédiat après-guerre, l'Encyclopédie du sous-marin français mentionne le groupement hydrophonique français G12 ou G16 comme l'un des meilleurs du monde pour les reprises de vue. Il n'empêche qu'il peut y avoir des conditions très mauvaises, en particulier celle de la « couche », épaisseur d'eau présentant un extremum de température où les ondes sonores vont se réfléchir de façon quasi-totale. Le sous-marin sous la couche entend ainsi très mal ce qui se passe au-dessus de la couche.

En ce qui concerne les collisions avec un autre navire, il suffit de relire l'Encyclopédie du Sous-Marin Français tome 3 pour constater la quantité d'incidents et accidents entre 1950 et 1970. Les collisions avec d'autres navires ont été ensuite beaucoup moins fréquentes ; il n'y en a que trois officiellement connues (La Praya en 1979, Rubis en 1993, Le Triomphant en 2009) avec seulement des dommages matériels qui n'ont pas mis en péril le sous-marin.

Il y a trente ans, les statistiques très complètes des compagnies d'assurances indiquaient que le risque de collision pour un navire de surface était 10^{-3} par navire et par an, mais que le risque de conséquences graves (dégâts matériels très importants, perte de vies humaines, naufrage) était inférieur à 1% par collision, soit moins de 10^{-5}

par navire et par an. Les sous-marins, malgré leurs spécificités, semblent se situer aussi dans ces ordres de grandeur. C'est l'hypothèse qui avait été retenue dans les études de sûreté du Triomphant.

Les sous-marins français qui ont été victimes de collision ont parfois subi des dégâts matériels très sérieux sans plus, mais la lancinante question de savoir si on peut perdre un sous-marin à la suite d'une collision demeure et il est normal que les commissions d'enquête de la Minerve et de l'Eurydice se la soient longuement posée. Sans remonter au déluge, il existe au moins deux cas : la Galatée (1970) où le commandant, suite à une voie d'eau incoercible, a décidé d'échouer le bâtiment sur les rochers de Saint-Mandrier et le sous-marin péruvien Pacocha (1988) qui a coulé par faible fond à la suite d'un abordage en surface par un grand chalutier.

4 L'incendie

Il semble difficile d'imaginer qu'un incendie naissant puisse neutraliser tous les moyens de retour en surface du sous-marin et ne lui laisse pas le temps de se manifester.

Dans le cas du sous-marin US Bonefish (1988), le feu attribué au départ à une nappe de câbles électriques inaccessible a ravagé une grande partie du sous-marin en faisant de nombreuses victimes, mais le sous-marin a réussi à faire surface et à s'y maintenir.

Dans le cas du Komsomolets soviétique (1989), le sous-marin est parvenu à faire surface et à s'y maintenir longtemps avant que l'incendie (minime au départ, une fuite de lubrifiant) progresse de compartiment en compartiment et atteigne une intensité suffisante pour détruire l'étanchéité du sous-marin et le faire couler.

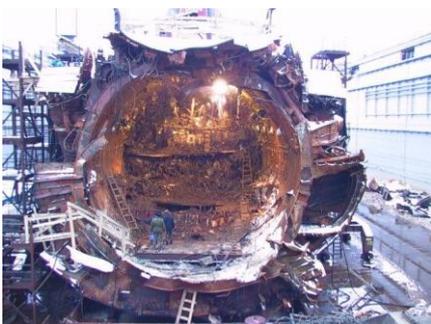
Le retour d'expérience sur les sous-marins français est heureusement très mince : il se limite à quelques départs de feu dans des armoires électroniques rapidement maîtrisés. Est-ce le signe que les mesures matérielles prises à la conception (fluide hydraulique aqueux résistant à l'inflammation, câbles électriques pyroténax), les moyens de détection et de lutte sont pertinents ?

5 Les explosions

5.1 Les armes

L'observation de l'épave du sous-marin US Scorpion (1968) a conduit la commission d'enquête à privilégier l'hypothèse de l'explosion de la charge militaire d'une torpille que le sous-marin n'aurait pas réussi à lancer, même si cette commission a finalement conclu qu'elle n'était sûre de rien. Toujours est-il que l'US Navy a fait modifier ses torpilles après cette catastrophe. Ces informations très fragmentaires ont été utiles pour vérifier qu'un tel scénario était difficile à imaginer sur un sous-marin français compte-tenu à la fois de la conception des torpilles et du système de lancement. Les Américains sont pourtant réputés pour ne pas utiliser d'armes trop risquées (torpilles à propulsion exotique comme le peroxyde d'hydrogène, missiles à ergols liquides).

Les sous-marins soviétiques puis russes ont connu nombre d'accidents dus aux armes dont le Kursk (2000) où les sismographes ont enregistré deux explosions, une première due vraisemblablement à l'explosion d'une arme, puis une seconde très forte due probablement à la détonation en masse de toutes les armes stockées dans le compartiment avant. Celui-ci a été complètement pulvérisé.



La seule solution au niveau des études de sûreté est de démontrer que la conception des armes rend ce type d'évènement d'une probabilité hyper-faible, beaucoup moins que 10^{-6} par sous-marin et par an.

5.2 Les batteries

Lorsque les batteries d'accumulateurs arrivent en fin de charge, l'excès d'énergie se traduit par une dissipation de chaleur et une électrolyse selon la loi de Faraday avec un intense dégagement d'hydrogène; le mélange hydrogène-atmosphère est explosif dans une très large gamme de concentrations, à partir de 4% d'hydrogène. La seule solution réside dans la ventilation des compartiments batterie pour diluer cet hydrogène dans l'atmosphère du bord. La commission d'enquête de la Minerve relève qu'il y a eu des incidents de cette nature sur des sous-marins au mouillage, mais doute qu'un tel évènement puisse mettre en danger l'intégrité d'un sous-marin. Son raisonnement est certes qualitatif, mais elle a eu raison. L'accident de la Doris (1983) n'est pas loin de représenter un cas enveloppe de ce qui peut se produire en matière d'explosion d'hydrogène sur un sous-marin. Ce type d'explosion a été largement étudié et on connaît les quantités d'énergie libérées. La Doris a connu des dégâts majeurs sur les charpentes légères intérieures, les cloisons, le pont entre batterie arrière et central opérations, les soutes intérieures de gazole crevées ; toute l'énergie est passée à déformer les structures légères et il ne s'est rien passé au niveau de la coque résistante ; celle-ci a été contrôlée et n'a fait l'objet d'aucune réparation, à part boucher les drains qui avaient été percés au bassin pour faire couler le mélange de gazole et d'électrolyte. Les calculs faits à l'époque avaient conclu que l'énergie libérée était insuffisante pour déformer de façon dangereuse la coque résistante, ce qui confirmait l'intuition de la commission d'enquête de la Minerve.

5.3 Les capacités sous pression

Ceci a déjà été évoqué dans le texte principal ; on se trouve dans un cas similaire à celui des armes ; il faut démontrer que les critères de conception, la qualité de réalisation et les règles d'inspection périodique rendent quasiment impossible le risque d'éclatement ; à noter que cette technique est largement duale car il y a nombre de réservoirs sous forte pression dans le secteur civil. La commission d'enquête de la Minerve relève que les sismographes n'ont enregistré que l'implosion et nullement une explosion préalable.

6 L'observation des épaves

Il est vraisemblable que certains vont s'essayer à trouver des indices à partir de l'observation des débris de la Minerve.

Jusqu'ici, l'observation des épaves de sous-marins dont la coque résistante a implosé n'a pas apporté d'élément sûr sur une cause possible de l'accident. Dans le cas du Thresher, même le réacteur nucléaire a été complètement pulvérisé et les débris n'auraient jamais permis d'imaginer ce qui s'est passé. Les hypothèses émises pour le Scorpion (à partir de l'observation de l'avant et de la barre de direction orientée toute d'un bord) ont été contestées.

Les sous-marins type Daphné ont en relatif des charpentes avant et arrière importantes qui n'implosent pas puisqu'elles sont pleines d'eau et équilibrées en pression. Il est donc normal qu'elles subissent beaucoup moins de dégâts.

Dans le cas de l'Eurydice, on distingue bien la charpente arrière et quelques débris importants (tubes lance-torpilles arrière). Le reste est probablement ensouillé dans les sédiments, l'implosion puis le choc sur le fond ayant provoqué l'éboulement d'un fond en forte pente. La charpente avant est ainsi invisible. L'épave n'a apporté aucun indice.