

**LES SOUS-MARINS**  
**CHAPITRE I**  
**HISTORIQUE DE LA NAVIGATION**  
**SOUS-MARINE en 1917**

Par une tendance très naturelle de l'esprit, on a souvent rapproché, ces derniers temps, la navigation sous-marine de l'aviation : l'une et l'autre, en effet, ont permis à l'homme d'explorer des domaines qui lui ont été interdits complètement pendant des siècles et qui semblaient devoir être éternellement réservés, l'un aux poissons et l'autre à la gent ailée. Les progrès de la science, et plus particulièrement de l'industrie, qui n'est que de la science appliquée, ont bouleversé ces prévisions, et ce qui était considéré, depuis la malheureuse tentative d'Icare, comme l'exemple le plus caractérisé de l'utopie, est devenu en ces dernières années une réalité, souvent même une cruelle réalité.

Ce rapprochement entre l'aviation et la navigation sous-marine n'est pas, en effet, uniquement artificiel. Entre l'avion et le dirigeable d'une part, et le sous-marin d'autre part, il y a plus que l'analogie superficielle entre deux véhicules qui tous deux se meuvent au milieu d'un fluide et ont la précieuse faculté de pouvoir se déplacer suivant trois dimensions, alors que tous les autres engins mobiles ont leurs mouvements limités à deux dimensions et sont inéluctablement astreints à rester soit à la surface du sol, soit à la surface de la mer.

Si l'on étudie de plus près la théorie de ces appareils, si l'on examine leurs conditions de sustentation, de direction, de stabilité, on est frappé de la similitude des moyens et des organes employés. Il y a un parallélisme étroit entre les ballasts des sous-marins et le lest des ballons, les gouvernails de plongée des premiers et les ailerons et plans stabilisateurs des seconds. Les dénominations mêmes des organes accusent cette parenté étroite ; sous-marins et avions ont des gouvernail-s de profondeur ou équilibreurs qui sont utilisés de la même façon. Si l'on va plus loin enfin et si l'on cherche à traduire numériquement les conditions de fonctionnement des avions et des bâtiments sous-aquatiques, ce n'est pas sans étonnement que l'on constate l'identité presque absolue des équations qui régissent le mouvement de ces engins. Accessoirement même, il n'est pas sans intérêt de rappeler que, si le premier aéroplane qui ait volé est dû aux travaux et aux expériences de deux Américains, Wilbur et Orville Wright en 1908, le premier sous-marin qui ait évolué entre deux eaux nous venait d'Amérique et avait été conçu et exécuté par le génial Fulton. C'est tout au moins une coïncidence assez curieuse en elle-même.

Il y a toutefois entre ces deux sortes de navigation, l'aérienne et la sous-marine, une différence importante que l'on oublie trop facilement : c'est que la seconde est antérieure à la première de

plus d'un siècle. Le sous-marin de Fulton auquel nous avons fait allusion doit en effet être considéré comme le précurseur direct des engins beaucoup plus perfectionnés avec lesquels les Allemands prétendent affamer l'Angleterre par la suppression totale du commerce maritime.

Il le mérite au même titre que l'avion d'Ader et que les autres machines volantes plus récentes peuvent prétendre avoir frayé la voie aux avions de chasse ou de bombardement sortis les derniers de nos ateliers de construction. Ce sous-marin de Fulton est intéressant, à la fois, parce qu'il a résolu, le premier, un problème réputé jusqu'alors insoluble, et aussi parce qu'on y retrouve, en quelque sorte à l'état de germe, la plupart des organes qui constituent actuellement le sous-marin moderne du type le plus perfectionné. Comme la construction métallique n'était pas encore en usage à l'époque où Fulton réalisa son sous-marin, sa coque était en bois, formée de bordages soigneusement assemblés et calfatés pour assurer l'étanchéité et résister à la pression de l'eau en plongée. Il avait la forme d'une barque entièrement pontée et dont l'écouille unique, analogue aux capots des sous-marins modernes, était fermée au moment de la plongée par un panneau exactement ajusté à l'ouverture.

En immersion l'engin était mû à bras d'homme, au moyen de sortes de rames qui servaient à la fois à la propulsion et à la direction du navire. Ces rames jouaient donc le rôle de l'hélice actuelle et en même temps celui des gouvernails de plongée et de direction. Pour immerger le bateau, on l'alourdissait en remplissant d'eau des barils placés à l'intérieur de la coque, tout comme maintenant on remplit d'eau les water - ballasts.

Revenu en surface, l'équipage hissait un petit mât qui, rapidement gréé d'une voile simplifiée, permettait de faire route sans avoir à se fatiguer. Ce point est particulièrement à retenir, car on retrouve dès l'origine le principe si fructueux du submersible ou sous-marin autonome : l'emploi de deux moteurs différents pour la marche en surface et en plongée.

En surface, le moteur économique, qui permet les longs parcours, et à cet égard le sous-marin de Fulton l'emportait sur nos submersibles les plus récents, puisque la force du vent, qui ne coûte rien, ne dépense aucun combustible, est encore plus économique que les meilleurs moteurs à pétrole. En immersion, un moteur beaucoup plus lourd et moins économique, mais suffisant néanmoins si l'on n'envisage que des plongées de durée assez courte ; ce sont précisément les caractéristiques des moteurs électriques actuels alimentés par des accumulateurs au plomb, et également celles du moteur humain auquel avait eu recours Fulton.

Ce qui paraît à peu près certain, c'est que cet ancêtre quasi préhistorique du submersible créé en 1896 par Laubeuf, fit en rade de Brest des expériences concluantes. Après avoir appareillé à la voile, il rentra sa mâture, s'immergea complètement, disparut sous les eaux et resta un certain temps, évoluant avec assez de précision pour pouvoir porter une charge de poudre contre la

coque d'un bâtiment de surface mouillé dans le voisinage. Il faut avouer, si les rapports de l'époque sont dignes de foi, que ce n'est pas si mal pour un débutant. Sans doute, pour qu'un pareil engin acquît toute la valeur militaire qu'il possède aujourd'hui, il était nécessaire que le moteur électrique, les accumulateurs, le périscope, la torpille automobile fussent inventés. Mais, au point de vue de la navigation sous-marine proprement dite, il faut reconnaître que Fulton avait su résoudre, du premier coup, toute une série de problèmes qui se sont posés plus tard à ses successeurs, et cela d'une manière très satisfaisante. Il semble même que ces solutions heureuses, trouvées il y a plus d'un siècle, ont été vite oubliées, puisqu'il a fallu cent ans plus tard réinventer, au prix de patientes recherches et de longs tâtonnements, tout ce que Fulton avait découvert.

C'est, sans doute, à ce fait que les premières tentatives de navigation sous-marine de Fulton ont passé à peu près complètement inaperçues, qu'il faut attribuer le peu d'intérêt que présentent les tentatives analogues que l'on trouve, isolées, dans les trois premiers quarts du dix-neuvième siècle. On rencontre des appareils bizarres, des conceptions d'esprits biscornus, rarement suivies de réalisation, qui aboutissent à des échecs, et la question ne fait aucun progrès. Un pas en avant a été fait cependant par deux Français, l'amiral Bourgeois et l'ingénieur Charles Brun. C'est pour rappeler les efforts de ces deux travailleurs et leur esprit d'initiative que leur nom a été donné à deux des unités les plus récentes de notre flotte sous-marine ; tardif hommage à des patriotes méritants auxquels le succès immédiat a manqué, non par leur faute, mais parce qu'ils étaient venus trop tôt, à une époque où le moteur convenable de plongée n'existait pas encore. Permis, quelques années plus tard, à l'Anglais Whitehead de réaliser l'un des plus merveilleux et des plus terribles engins de la guerre moderne, la torpille automobile. Seulement, la torpille automobile est de petites dimensions et, de plus, les parcours qu'on lui demande ne dépassent guère quelques milliers de mètres ; le problème était donc relativement facile et, les événements l'ont amplement prouvé par la suite, le moteur à air comprimé constituait la solution la plus complète de ce problème limité. Il en était tout autrement pour le sous-marin, avec ses dimensions considérables, et surtout avec l'obligation de pouvoir franchir en plongée, non plus quelques centaines de mètres, mais des centaines de milles marins. Le moteur à air comprimé est très lourd, surtout à cause du poids énorme des réservoirs d'acier dans lesquels on doit accumuler la provision d'air comprimé qui l'alimente. Sur une torpille, la quantité d'air nécessaire pour un parcours dont la durée est de l'ordre d'une à deux minutes peut se loger dans une capacité de dimensions modérées ; encore est-il nécessaire, pour que ce réservoir ne soit pas trop lourd, de le confectionner avec les aciers les plus résistants que nous procure la métallurgie, et de faire travailler ce métal très près de la limite de sa résistance. Sur le Plongeur, le nombre de ces réservoirs était considérable ; ils occupaient la

majeure partie du volume de la coque intérieure, et, malgré cela, l'approvisionnement d'air ne donnait au bâtiment qu'un rayon d'action assez faible, avec une vitesse minime. Il faut tenir compte, en effet, de ce que les moteurs à air comprimé ont fait, depuis l'époque où le Plongeur a été construit, des progrès notables qui ont beaucoup amélioré leur rendement ; en particulier l'emploi du réchauffage préalable de cet air, tel qu'il se pratique sur les torpilles et sur les tramways, a diminué sensiblement leur consommation, a permis, en d'autres termes, de retirer d'un même volume d'air, à une même pression, un nombre beaucoup plus grand de chevaux-vapeur. Mais le défaut le plus grave du Plongeur était son échappement. Après avoir travaillé dans les cylindres du moteur, l'air détendu se rendait dans un tuyau de large section qui l'évacuait au dehors.

Malgré toutes les précautions prises pour diviser les bulles d'air, les mélanger aussi intimement que possible avec la masse liquide, cet échappement d'air produisait malgré tout un bouillonnement, un sillage très visible qui trahissait immédiatement la présence du sous-marin. Le même phénomène se produit d'ailleurs avec la torpille automobile ; on suit parfaitement, et même à grande distance, à l'œil nu, la marche d'une torpille par son sillage c'est même un moyen simple de vérifier la rectitude, de sa trajectoire ; mais la vitesse de la torpille, 25 mètres par seconde, est telle qu'il n'y a pas - grand inconvénient à ce qu'elle se laisse voir ; quand un navire l'a aperçue, il est généralement trop tard pour qu'il puisse l'éviter ; et les cas où un bâtiment a pu, par un coup de barre donné au bon moment, éviter l'engin meurtrier, sont excessivement rares. Toutes proportions gardées, avec la faible vitesse des bâtiments, et surtout la lenteur avec laquelle ils peuvent modifier la route suivie par leur énorme masse, il leur est pratiquement aussi difficile d'éviter une torpille qu'à un piéton de se garer d'une automobile de course ou d'un obus.

Visible ou invisible, la torpille automobile conserve donc toute son efficacité. Il en va tout autrement pour le sous-marin, qui marche à allure lente, et la plupart du temps à une vitesse sensiblement inférieure à celle du bâtiment qu'il attaque.

C'est seulement dans les ouvrages d'imagination comme Vingt mille lieues sous les mers, de Jules Verne, que l'on voit un Nautilus foncer sur sa proie, avec la rapidité de l'éclair, et transpercer de son éperon la coque du navire ennemi. Dans la réalité les choses se passent d'une manière beaucoup moins dramatique. Non seulement les sous-marins réels ne disposent que d'une vitesse modérée, et qui ne dépasse pas 10 à 12 nœuds en plongée ; mais encore ils ne font jamais usage de cette vitesse maxima pour l'attaque ; ils ne s'en servent que pour la fuite, pour échapper à un danger pressant, en plongeant à une grande profondeur, où les remous de l'hélice demeurent invisibles.

Dans l'attaque, la tactique du sous-marin rappelle plutôt celle du chasseur à l'affût : l'essentiel est de ne pas dépister le gibier. Le sous-marin s'avancera donc prudemment, sinon à fleur d'eau, du moins assez près de la surface, pour pouvoir à tout instant faire émerger l'extrémité de son périscope et rectifier sa route ; il s'abstiendra soigneusement de forcer sa vitesse, non pas seulement pour économiser sa réserve d'énergie électrique dont il pourra avoir besoin ensuite pour s'éloigner, mais surtout pour éviter que son périscope, dans les courts moments où il doit émerger, ne soulève une volute, un panache d'écume blanche qui le rendraient visible.

On conçoit, dans ces conditions, que le Plongeur, sensiblement plus lent que nos sous-marins modernes, et obligé, en outre, par l'absence de périscope, de se tenir à fleur d'eau, était incapable de réussir une attaque ; les bouillonnements produits par l'échappement de l'air de son moteur auraient signalé de loin sa présence, et le bâtiment ennemi aurait eu tout le temps voulu pour fuir. Sa valeur militaire était donc à peu près nulle. Mais si Charles Brun n'a pas réussi à créer une arme véritable, au point de vue technique ses efforts n'ont pas été perdus. Il a montré la possibilité de faire naviguer entre deux eaux, avec précision, un sous-marin de fort tonnage, et bien des dispositifs de détail du Plongeur ont pu être utilisés ultérieurement.

Un de ces dispositifs doit retenir l'attention ; c'est celui du canot de sauvetage qui avait été placé à la partie supérieure du Plongeur, et solidement encastré dans une cavité pratiquée sur le dos du sous-marin.

Ce canot, en tôle, était naturellement complètement ponté. On pouvait y pénétrer, en plongée, au moyen d'un panneau à double fermeture, percé à la fois dans la coque du sous-marin et dans celle du canot. En cas de sinistre, c'est-à-dire si pour une cause quelconque le Plongeur se trouvait au fond de la mer, incapable de remonter à la surface, l'équipage se rendait dans le canot de sauvetage, et après avoir refermé soigneusement le capot d'accès, en desserrant les écrous qui reliaient le canot au sous-marin, on le libérait. Le canot, moins lourd que le volume d'eau qu'il déplaçait, remontait aussitôt, et une fois à la surface, il suffisait d'ouvrir les écoutilles du pont.

C'est, croyons-nous, la première réalisation d'un engin de sauvetage pour le personnel des sous-marins.

Et il est intéressant de noter que près d'un demi-siècle plus tard, lorsque l'accident si retentissant du *Pluviôse*, coulé au large de Calais par la malle de Douvres, vint rappeler la nécessité de pourvoir au sauvetage de nos vaillants marins, plusieurs inventeurs sont venus proposer à la marine française des canots détachables, plus ou moins différents par les formes et par les accessoires, mais tous reposant sur les principes que Charles Brun avait appliqués cinquante ans auparavant : *nil novi sub sole*. (rien de nouveau sous le soleil )

L'insuccès du Plongeur était dû à son moteur.

Pour qu'un progrès sérieux fût possible en navigation sous-marine, il fallait posséder une source de puissance motrice qui ne consommât pas d'air atmosphérique et qui ne produisît pas de dégagements gazeux, impossibles à évacuer au dehors sans trahir sa présence.

Le moteur remplissant ces conditions n'a été découvert que plus tard, lorsque Gramme, par l'invention de son anneau, a fait de la dynamo électrique une machine pratique.

En même temps les perfectionnements apportés à la construction des accumulateurs au plomb donnaient enfin un moyen d'accumuler cette énergie électrique, au prix d'un poids encore considérable, mais néanmoins dans des conditions acceptables.

C'est pourquoi les sous-marins n'ont vraiment pris leur essor que beaucoup plus tard, lorsque l'état de la science et de l'industrie eut enfin permis de réaliser un bon moteur de plongée.

Bien que la dynamo électrique alimentée par des accumulateurs soit loin de constituer le moteur rêvé, à cause surtout de son poids et de son encombrement, elle possède cependant plusieurs avantages précieux, qui la rendent très supérieure à tous les autres appareils employés antérieurement, et lui ont permis de soutenir victorieusement la lutte, jusqu'à ce jour, avec les autres engins nouveaux que les récentes découvertes ont mis à notre disposition.

Nous avons déjà indiqué que l'ensemble, accumulateurs et moteur électrique, fonctionnait, en débitant de la puissance motrice, sans consommer d'air ni produire de dégagements gazeux appréciables ; c'est la condition essentielle qui permet au moteur d'être utilisé en plongée.

Mais, en outre, alors que la plupart des autres appareils producteurs de force motrice changent de poids pendant leur fonctionnement (charbon brûlé dans une chaudière par exemple), l'accumulateur électrique reste invariable ; il ne pèse pas plus quand il est chargé à refus qu'à la fin d'une longue décharge. On est ainsi dispensé d'avoir à faire des mouvements d'eau compliqués dans les ballasts intérieurs du sous-marin, pour compenser les variations de poids du moteur. C'est une grave sujétion de moins.

Le moteur électrique fonctionne presque sans dégager de chaleur ; la température des accumulateurs varie fort peu pendant la décharge. Ceci est particulièrement important en plongée, puisque l'air du sous-marin ne se renouvelle pas et qu'on n'a pas la ressource, pour éviter une élévation de température intolérable, d'employer une ventilation énergique.

Le moteur électrique est très souple ; on le met en marche en tournant la manette d'un commutateur ou le volant d'un *controller* ; il part en avant ou en arrière instantanément, on peut faire varier son allure à tout moment, et passer en quelques secondes de la vitesse la plus ralentie à la toute-puissance.

Enfin c'est de tous les moteurs connus le plus silencieux : pas de soufflements sonores, de halètements comme dans les appareils à vapeur, pas de chocs bruyants d'articulations comme dans les machines alternatives ; à peine un léger crissement produit par le frottement des balais de la dynamo sur les touches de cuivre du collecteur, et encore ce murmure léger, car ce n'est même pas un bruit, ne s'entend-il que dans le compartiment même du moteur et ne se perçoit absolument pas au dehors.

Cette absence de bruit est précieuse, car elle permet au sous-marin de s'approcher assez près des côtes ennemies, sans que les microphones des postes écouteurs puissent déceler sa présence.

Aussi, dès que l'on fut en possession d'un bon moteur électrique et d'accumulateurs suffisants, les progrès de la navigation sous-marine, jusqu'alors lents et irréguliers, s'accrochèrent, et en peu d'années presque toutes les grandes puissances maritimes réussirent à mettre au point de petits bâtiments doués déjà d'une valeur militaire sérieuse, tout au moins pour la défensive.

De même qu'en photographie, en automobile, en aviation, la France a été l'initiatrice des progrès vraiment féconds, de même, en navigation sous-marine, c'est elle qui a ouvert la route avec le *Gymnote*, bâtiment d'essai, et, quelques années après, avec le *Gustave-Zédé* (1).

Le *Gymnote*, dont les plans ont été établis par un ingénieur des constructions navales éminent, *Gustave-Zédé*, n'était pas une arme de guerre, mais seulement un sous-marin d'expériences, destiné à élucider et à résoudre les multiples problèmes théoriques et pratiques que pose la navigation sous-marine.

La marine, en ordonnant sa construction, n'a pas voulu renouveler l'erreur du *Plongeur* de Brun ; elle s'est montrée prudente : le *Gymnote* ne déplaçait qu'une trentaine de tonnes. Il était pourvu uniquement d'un moteur électrique, alimenté par une batterie d'accumulateurs ; il ne possédait pas de moteurs de surface. C'était, suivant l'expression consacrée, un sous-marin purement électrique. Comme les bâtiments antérieurs, il était muni de caisses intérieures ou ballasts que l'on remplissait d'eau pour alourdir le bâtiment et le faire plonger.

Une fois immergé, il se dirigeait en profondeur, il réglait son immersion au moyen de plans horizontaux orientables à la main, ou gouvernails de plongée.

Les essais très nombreux effectués sur ce petit bâtiment, en variant précisément la disposition de ces gouvernails de plongée, en les plaçant tantôt près de l'avant, tantôt près de l'arrière, tantôt au milieu ; en ajoutant ou en supprimant des plans fixes ou ailerons, analogues aux nageoires des poissons, ont permis de résoudre très complètement tous les problèmes qui constituent la théorie dynamique du sous-marin en plongée.

*(1) Il ne faut pas confondre ce Gustave-Zédé, premier du nom, qui fut construit en 1890-1892, avec le grand submersible de 800 tonnes qui a reçu le même nom et est entré en service en 1914.*

Ces problèmes sont, en effet, d'une nature si complexe, que le calcul seul ne pouvait pas en donner une solution satisfaisante, et seule l'expérience directe pouvait les élucider entièrement. Ces essais du Gymnote, couronnés d'un plein succès, ont fourni à la marine française un nombre considérable de données à la fois théoriques et pratiques qu'elle pouvait utiliser désormais avec fruit. Le moment était venu pour nous d'aborder, sans courir les mêmes risques qu'avec le Plongeur, la construction d'un grand sous-marin rapide, pourvu de tubes lance-torpilles, d'un véritable instrument de guerre.

C'est l'ingénieur du Génie maritime Romazzotti, gendre de Gustave Zédé, qui fut chargé de l'établissement des plans et de la construction de notre premier sous-marin de guerre. Le nom de Gustave Zédé, qui venait de mourir, fut donné à ce bâtiment, pour reconnaître les services éminents que cet ingénieur avait rendus à la navigation sou-marine.

Le Gustave-Zédé avait à peu près la forme d'un cigare très allongé, puisque, pour une longueur totale de 48 mètres, il avait à peine 3m 30 de diamètre et ne déplaçait guère plus de 250 tonneaux. Malgré cette grande longueur, il évoluait parfaitement en profondeur, ainsi que le firent constater ses premiers essais effectués en 1896 et 1897. C'était, comme le Gymnote, un sous-marin purement électrique ; mais ses plus grandes dimensions avaient permis de le doter de moteurs électriques beaucoup plus puissants ; aussi sa vitesse était-elle plus considérable que celle du Gymnote ; le Gustave-Zédé a dépassé en effet 9 nœuds en plongée, ce qui était pour l'époque un résultat superbe, un record si l'on veut, qui ne fut battu que dix ans plus tard environ. Il était armé d'un tube lance-torpille placé à l'extrême avant. Son défaut principal résidait dans l'emploi exclusif du moteur électrique : le Gustave-Zédé était vite à bout de sa provision d'électricité, et il fallait qu'il retournât à sa base de ravitaillement, à la station de chargement, pour faire recharger ses accumulateurs.

Son rayon d'action se trouvait ainsi limité à peu près à une centaine de milles marins. C'était déjà très suffisant pour faire de ce sous-marin une arme défensive excellente. On se préoccupa d'ailleurs, à cette époque, des moyens de remédier à cette insuffisance de distance franchissable. Des expériences furent faites, notamment aux îles d'Hyères, dans lesquelles le Gustave-Zédé était remorqué en surface par un bâtiment à vapeur jusque dans la zone où il devait opérer ; on arrivait ainsi, par ce procédé indirect, à amener le sous-marin très loin de sa base, sans avoir entamé la réserve d'énergie électrique de ses accumulateurs.

C'est à peu près à la même époque que l'on songea à faire accompagner les sous-marins par un grand bâtiment de surface spécialement aménagé pour les ravitailler, en leur fournissant le courant électrique nécessaire au rechargement des accumulateurs, les remorquer en cas de besoin, les



réparer, et même offrir un logement confortable à une partie de l'équipage pendant les croisières les plus longues.

Cette conception allait cependant être bientôt abandonnée, parce que la création des sous-marins autonomes, c'est-à-dire capables de se recharger eux-mêmes, et par suite pouvant tenir la mer pendant des semaines sans aucun secours du dehors, avait enlevé tout intérêt à la solution par navire ravitailleur ou mère Gigogne de sous-marins.

Quelles que soient d'ailleurs les insuffisances, maintenant reconnues, du Gustave-Zédé, il n'en subsiste pas moins qu'il a été le premier sous-marin militaire, et, à l'époque où il a été terminé, la France possédait, grâce à lui, une supériorité incontestable sur les autres marines.

Les sous-marins qui suivirent en France dérivèrent naturellement du Gustave-Zédé ; le Morse, le Français, l'Algérien, le Gnome, le Farfadet, le Latin, le Korrigan, étaient également des bâtiments en forme de cigare très allongé, avec une faible flottabilité, c'est-à-dire s'élevant très peu au-dessus de la surface de la mer en position lège.

Les progrès réalisés par la technique furent utilisés surtout pour réduire les dimensions du Zédé qui semblaient un peu considérables.

Beaucoup d'améliorations de détail furent apportées à ces bâtiments. L'invention du périscope, qui est à peu près de cette époque, eut cependant une importance considérable : cet appareil, qui permettait au sous-marin de voir sans émerger, sans se faire voir, augmentait immédiatement la valeur de l'arme nouvelle.

Mais, en somme, il n'y avait pas dans ces divers sous-marins purement électriques une idée vraiment neuve.

C'est à ce moment que l'ingénieur Laubeuf, par la création du submersible, dont le premier modèle fut le fameux Narval, révolutionna pour ainsi dire la construction sous-marine.

Lorsque le ministre de la Marine d'alors, M. Lockroy, institua le concours d'où est sorti le Narval, l'idée du submersible était pour ainsi dire dans l'air. Les essais des premiers sous-marins purement électriques et à faible flottabilité avaient vite révélé les défauts de ces bâtiments : insuffisance de rayon d'action, qualités nautiques insuffisantes, c'est-à-dire que ces sous-marins tenaient mal la mer en surface. Ils restaient inertes comme des bouées dans la mer agitée et par gros temps ils devenaient intenable ; le commandant ne pouvait même plus ouvrir le capot supérieur de son kiosque et, réduit à la seule vision périscopique, il ne voyait pas grand chose au milieu des paquets de mer et des embruns.

De ces critiques bien connues, à formuler le programme des qualités que devrait avoir le sous-marin pour être une arme vraiment efficace, il n'y avait qu'un pas. Ce pas fut franchi par l'amiral Baudry Lacantinerie, un officier dont la carrière n'a pas été particulièrement brillante, mais qui,

doué d'un sens marin très aigu, a eu, dans une étude consacrée à la navigation sous-marine, comme un éclair de prescience.

Dans le travail auquel nous faisons allusion, l'amiral Baudry Lacantinerie pose nettement, en quelques lignes, le problème du sous-marin.

« Un sous-marin ne sera pas perpétuellement en plongée ; pour se rendre au loin, attaquer les rades ennemies, il devra pouvoir naviguer en surface. » Et l'amiral précise : « Il devra tenir la mer aussi bien que nos torpilleurs et avoir la même distance franchissable. » C'est à l'ingénieur Laubeuf, avons-nous dit, que revient le mérite d'avoir résolu le premier ce problème difficile, par le projet du sous-marin Narval, qui en fournissait une solution tout à fait originale.

Dans cette création du sous-marin, deux idées essentielles dominent : l'une relative aux moteurs, l'autre à la coque, les deux étant d'ailleurs étroitement connexes.

Les accumulateurs électriques étant trop lourds pour donner au bâtiment le rayon d'action voulu, il fallait recourir, pour la propulsion en surface, à un moteur léger et économique. Laubeuf mit à la suite, sur l'arbre porte-hélice, un moteur électrique et un moteur à vapeur.

Le moteur à vapeur, du type léger de torpilleurs, était alimenté par une chaudière chauffée au pétrole. Grâce à l'emploi du combustible liquide, on pouvait mettre bas les feux instantanément, par la simple manœuvre d'un robinet, et plonger sans retard.

Du coup, le Narval, malgré son très faible déplacement (un peu plus d'une centaine de tonnes en surface) était doté d'un rayon d'action dix fois plus grand que celui du Gustave-Zédé. Mais, en outre, le moteur à vapeur pouvait être employé en surface pour faire tourner le moteur électrique, qui fonctionnait alors en dynamo génératrice d'électricité, en vertu du principe de la réversibilité des moteurs électriques. Le sous-marin pouvait donc recharger lui-même ses accumulateurs ; il était ainsi affranchi de la nécessité de retourner à sa base de chargement, ou de la tutelle du navire ravitailleur ; en d'autres termes, il était devenu autonome : avantage précieux qui faisait plus que doubler la valeur militaire de l'engin.

L'idée coque de Laubeuf n'était pas moins séduisante. Le but à atteindre était de doter le sous-marin des mêmes qualités nautiques que les bâtiments de surface, ou tout au moins de qualités approchantes. Jusqu'alors on avait construit uniquement les coques de sous-marins en forme de cigare, c'est-à-dire à sections circulaires, le cercle étant la courbe qui permet le plus aisément de résister à l'écrasement sous l'effet des pressions hydrostatiques de l'eau à grande profondeur. Mais ces formes rondes, facilement balayées par les lames, étaient les plus mauvaises possibles pour la tenue à la mer ; elles n'étaient pas favorables non plus à la vitesse en surface. Bref, les sous-marins construits jusqu'à ce jour étaient des instruments sur lesquels on avait tout sacrifié à

la plongée, et qui étaient par suite les plus déplorables bâtiments de surface qu'on puisse imaginer.

Pour qu'un sous-marin devienne capable de tenir la mer en surface, il ne suffisait pas d'augmenter sa flottabilité, c'est-à-dire le volume de coque qui émerge, il était indispensable de lui donner des formes de bâtiments de surface, avant droit en coin, arrière traînant.

Mais si, brutalement, on avait appliqué ce tracé à une coque de sous-marin, le bâtiment n'aurait pas manqué de s'écraser dès qu'il aurait plongé à plus de 15 ou 20 mètres ; car ces formes de bâtiments de surface, très éloignées de la forme circulaire, résistent aussi mal que possible à la pression extérieure.

Comment concilier ces deux nécessités opposées ? par l'emploi de la double coque. C'est l'inspiration de génie qu'a eue Laubeuf. Il a pris une coque de torpilleur ordinaire (1) et à l'intérieur de cette coque il en a placé une seconde très résistante, à sections circulaires, enfin une coque de sous-marin. Et cette solution résolvait du même coup une autre face du problème, celle des water-ballast. On sait que le volume de ces ballasts, qu'on remplit d'eau pour la plongée, est en vertu du principe d'Archimède, exactement égal au volume de la coque émergeant en surface, c'est à dire à la flottabilité. Comme il s'agissait de donner au sous-marin une grande flottabilité, il était nécessaire de trouver la place de volumineux ballasts ; l'intervalle compris entre la coque intérieure et la coque extérieure fournissait les ballasts voulus, sans créer aucun encombrement à l'intérieur du bâtiment lui même. Tel était le principe du nouveau bâtiment qui reçut le nom de *Narval*, et dont l'apparition ouvrait une ère nouvelle dans l'évolution de la construction sous-marine.

Pour le réaliser, bien des problèmes accessoires durent être résolus ; notamment le remplissage rapide des ballasts, dont dépendait la rapidité avec laquelle le bâtiment pouvait prendre la plongée et disparaître se présentait dans des conditions particulièrement ardues en raison du grand volume d'eau. Sur le *Narval* Laubeuf admit une durée de vingt minutes, qui paraît tout à fait excessive à l'heure actuelle, où le temps qui s'écoule, entre l'ordre de plonger du bâtiment et sa disparition sous les flots, se compte non plus en minutes, mais en secondes.

Disons tout de suite, d'ailleurs, qu'à l'essai, la durée de remplissage des ballasts fut bien inférieure à un quart d'heure, et les progrès réalisés, par la suite, ont été tels qu'on est arrivé à la réduire successivement à cinq minutes, puis à trois et même à moins de deux minutes, bien que le volume des ballasts à remplir soit devenu plus de quatre fois plus grand que celui du *Narval*.

Un simple chiffre montrera, mieux que toute explication, l'importance de ces mouvements d'eau, sur les grands submersibles.

(1) *il a même eu soin parmi les torpilleurs, de choisir ceux dont les lignes dues au grand constructeur havrais, Augustin Normand étaient les plus heureuses.*

Sur des bâtiments des derniers types, la capacité des ballasts dépasse 400.000 litres, et on arrive à les remplir complètement en deux minutes, ce qui fait un torrent d'eau, s'introduisant dans les flancs du navire à raison de 200.000 litres par minute, ou près de 3.400 litres à la seconde : c'est le débit d'une petite rivière. Si l'on additionne, d'ailleurs, les sections de toutes les vannes de remplissage des ballasts, on trouve une section totale d'orifice de plusieurs mètres carrés. C'est une vraie trombe d'eau, divisée en plusieurs canaux, qui se précipite entre les deux coques. Pour en revenir au Narval, ce premier submersible avait des dimensions modestes : il déplaçait à peu près 106 tonneaux en surface seulement et 200 en plongée, et n'avait que 36 mètres de longueur.

Il portait, malgré sa petitesse, quatre torpilles prêtes à être lancées, ce qui constituait, par comparaison avec les sous-marins contemporains, un armement formidable.

Il était mû en surface par une machine à vapeur alimentée par une chaudière à pétrole ; il filait ainsi 10 nœuds. En plongée, sa vitesse ne dépassait pas sensiblement 6 nœuds.

Dès les premiers essais du Narval, les qualités du nouveau type de bâtiment s'affirmèrent ; les marins notamment, qui n'aimaient pas beaucoup les sous-marins construits jusqu'alors et leur reprochaient, tout bas, d'être des « mécaniques d'ingénieurs », s'accordèrent pour reconnaître que le Narval faisait une heureuse exception, qu'il possédait ce « je ne sais quoi » indéfinissable, comme on chante dans la Mascotte, qui fait qu'un bateau est marin.

Le Narval allait d'ailleurs montrer ses qualités dans des épreuves décisives. Dès que le bâtiment fut parfaitement au point et son armement terminé, on décida de l'envoyer de Cherbourg, où il avait été construit, à Saint-Malo, d'abord, et retour, et ensuite à Brest.

Pour cette expédition mémorable, qui causa en son temps dans le monde maritime la même sensation, qui excita la même curiosité que le premier vol d'aéroplane hors d'un aérodrome, de ville à ville, on prit la précaution de faire convoier le Narval par un torpilleur de haute mer. Les parages à l'ouest du Cotentin sont en effet semés d'îles et de récifs nombreux, sur lesquels la mer se brise avec furie ; les courants dus à la marée sont particulièrement violents et rendent la navigation difficile.

Le Narval partit, en compagnie de son convoyeur, dans une saison où la Manche est généralement mauvaise. Peu après le départ, le temps se gâta ; la houle se fit plus creuse ; ce n'était pas à proprement parler une tempête, les marins n'emploient guère ce mot-là, mais c'était franchement du mauvais temps, c'était une mer très dure selon leur appréciation. Le contre-torpilleur, ballotté sur les lames, embarquait des paquets d'eau, et, plein de commisération pour le frère inférieur, le Narval, lui demande s'il ne désire pas virer de bord et rentrer au port. « Tout va bien à bord, je continue ma route », tel fut le message que le Narval signala en réponse à la question posée.

Chose remarquable, malgré ses petites dimensions, le Narval dansait beaucoup moins sur la mer que le contre-torpilleur. Etant hermétiquement clos, à part le panneau du ventilateur et celui de la cheminée, il supportait aisément les paquets de mer ; bref, contrairement à ce que l'on aurait pu penser, le petit sous-marin était beaucoup moins gêné par cette forte mer que le gros torpilleur. Cette constatation, bien des fois renouvelée depuis, fut à cette époque une vraie révélation. Le Narval arriva ainsi sans encombre à Saint-Malo, où sa venue fut fêtée comme elle le méritait. La fierté de l'exploit accompli, l'amour-propre aidant, l'équipage du sous-marin, en débarquant, se trouvait beaucoup plus dispos, moins fatigué que les hommes du contre-torpilleur. Ceux-ci avouaient, en effet, dans leur rude langage, qu'ils avaient « salement bourlingué durant la traversée ».

Enhardi par le succès de cette première traversée, le Narval, après son retour à Cherbourg, fut envoyé à Brest, voyage beaucoup plus long.

La navigation se fit rigoureusement en tenue de combat, c'est-à-dire avec toutes les torpilles à bord.

De plus, on avait fixé à cette mission un programme militaire : arrivé devant le goulet de Brest, le Narval devait plonger et franchir en plongée la passe, absolument comme s'il s'était agi de la forcer en temps de guerre ; enfin, une fois entré dans la rade de Brest, il devait lancer ses torpilles, pour vérifier si les chocs de la mer pendant le voyage n'avaient faussé aucun mécanisme et ne les avaient pas dérégées. Ce programme fut rempli en tous points par le Narval.

Cette dernière épreuve, qu'aucun des sous-marins de l'époque n'aurait pu même tenter, démontrait la haute valeur du nouveau type de bâtiment créé par Laubeuf.

A ce moment la France, qui avait toujours tenu la tête dans la construction des sous-marins, possédait une avance considérable sur toutes les autres puissances maritimes. Pour maintenir cette avance et l'accroître encore, il lui suffisait de consacrer avec méthode des crédits suffisants à la construction des sous-marins, tout en gardant jalousement le secret des dispositions intérieures de ces bâtiments. La seconde condition était peut-être, plus encore que la première, difficile à réaliser, et l'on verra par la suite comment des fuites ont pu se produire et ont permis à cette nation, que nous avons le droit d'appeler notre ennemie héréditaire, de nous dérober le fruit des travaux de nos ingénieurs et de nos officiers.

Les sous-marins mis en chantier en France après le Narval ont été, pour la plupart, des sous-marins, c'est-à-dire des bâtiments dérivés du Narval, et dont les dimensions étaient progressivement augmentées, de manière à accroître, soit leur armement, soit leur vitesse, soit leur rayon d'action, bref leur valeur militaire.

Ce sont les quatre submersibles Sirène, Triton, Silure, Espadon de 150 tonneaux, puis l'Aigrette et la Cigogne de 175 tonneaux.

Avec ces deux derniers bâtiments apparaît un nouveau progrès important, la substitution de moteurs à pétrole lourd, du système Diesel, aux appareils à vapeur.

Ce changement constituait une amélioration sérieuse à plusieurs égards : accroissement du rayon d'action, grâce à l'économie du combustible ; diminution de la visibilité du sous-marin en surface par suite de la suppression de la fumée ; possibilité de remise en marche presque instantanée après la plongée, alors que les chaudières demandaient plusieurs quarts d'heure pour être remises en pression.

Pendant cette période, la France a continué à construire, en même temps que ces submersibles, un certain nombre de sous-marins ; mais ces sous-marins, à leur tour, avaient dû se modifier afin d'acquiescer au moins une partie des avantages des submersibles.

Les Naïade, petits bâtiments de 70 tonneaux, les sous-marins X, Y, Z, les sous-marins type Emeraude, ont tous été pourvus d'un double moteur, électrique en plongée, à pétrole en surface, ce qui leur donnait, à défaut des qualités nautiques des submersibles, du moins la même distance franchissable. Néanmoins, cette dualité de types n'était pas avantageuse ; vers 1906, on se rendit compte de la nécessité d'unifier la construction en faisant un choix définitif. On procéda alors à des expériences comparatives entre deux bâtiments appartenant chacun à l'une des deux catégories : Aigrette pour les submersibles et le Z pour les sous-marins. Ces expériences furent très nettement en faveur du submersible ; elles démontrèrent victorieusement que le submersible, malgré le volume énorme de ses ballasts, pouvait les remplir d'eau assez rapidement pour plonger et disparaître aussi vite que le sous-marin à faible flottabilité ; et d'autre part, si, en plongée, le submersible n'était inférieur en rien au sous-marin, en surface il avait une supériorité très marquée qui le rendait seul apte aux longues croisières.

La question si longtemps controversée était enfin nettement tranchée. A partir de ce moment on ne mettra plus en chantier, en France, de sous-marins proprement dits (1), et l'on entreprend résolument la construction de submersibles en série.

Ce sont les dix-huit submersibles type Pluviôse, à vapeur, suivis bientôt des seize submersibles, type Brumaire, identiques aux précédents à l'exception des moteurs de surface qui étaient à pétrole. Cette série de trente-quatre bâtiments à peu près homogènes était encore due aux plans de l'ingénieur Laubeuf. Ce sont des bâtiments robustes, de 400 tonneaux en surface, environ, à

(1) A l'exception d'un bâtiment d'expériences, le Afariotte, qui s'est perdu dans les Dardanelles.

deux hélices. Ils ont un peu plus de 50 mètres de longueur, un très puissant armement de sept torpilles, une vitesse en surface de 12 à 13 nœuds, et, en plongée, ils filent 8 nœuds ; leur équipage, officiers compris, est de 26 hommes.

Si l'achèvement des derniers submersibles de cette série n'avait pas été retardé par des difficultés de mise au point des moteurs à pétrole, la France aurait eu, il y a quelques années, une superbe flottille sous-marine, lui donnant une supériorité très marquée sur toutes les autres puissances.

Cette supériorité, dans les années qui ont suivi 1906, a du reste été incontestée, et il est évident que ce sont les brillants résultats obtenus par la France, entrant la première dans la voie de l'utilisation pratique et à grande échelle des sous-marins, qui ont attiré l'attention des autres pays, sur l'importance de la nouvelle arme et stimulé leurs efforts. La France, en cette matière comme en bien d'autres, aura été l'initiatrice.

C'est en effet seulement à partir de 1908 ou 1910 que l'on voit, dans les budgets navals de l'Angleterre et de l'Allemagne, apparaître des crédits notables à la rubrique : construction de sous-marins ; et bientôt ces sommes vont s'enfler progressivement.

Mais l'effet de cet accroissement des dépenses consacrées aux sous-marins ne s'est pas fait sentir immédiatement. Il a fallu plusieurs années à l'étranger pour rattraper l'avance que nous avons prise. La question du matériel, en effet, n'est pas la seule à envisager ; sans doute, une nation dont l'industrie est très développée peut arriver à construire de toutes pièces un grand sous-marin en moins d'un an ; mais il faut beaucoup plus de temps pour former de bons équipages et plus encore pour obtenir de bons commandants de sous-marins.

Ce qui exige le plus de temps, enfin, c'est d'apprendre à se servir convenablement de la nouvelle arme, d'établir un corps de doctrine pour l'utilisation du sous-marin ; cette pratique nouvelle ne s'improvise pas dans les bureaux d'une académie navale : elle ne peut être que le fruit des manœuvres, des exercices répétés.

Voilà ce que la France avait acquis patiemment, d'abord, avec les petits submersibles Narval, Sirène, Triton, Silure, Espadon, Aigrette, Cigogne, groupés dans le port de Cherbourg et soumis à un entraînement intensif, prenant la mer chaque jour, puis avec les premiers submersibles type Pluviôse.

Et ce que la marine française avait acquis ainsi d'expérience pratique, on ne pouvait pas le lui dérober comme le secret de la construction d'une coque ou d'une machine. Pour l'obtenir, il fallait que l'étranger construisît d'abord des sous-marins en nombre suffisant pour pouvoir les faire manœuvrer par groupes et refit toutes les écoles que nous avons faites.

C'est pour cela que notre avance a pu être conservée pendant quelques années.

Dans les années qui ont suivi, la marine française, tout en construisant des sous-marins identiques en série, les dix sous-marins type Clorinde notamment, ne se berçait pas de l'illusion qu'elle possédait le type définitif du bâtiment sous-marin ; elle laissait la porte ouverte à de nouveaux progrès, en instituant des concours pour l'établissement des plans de bâtiments hors série qui étaient construits en petit nombre, dans un but d'expérience. C'est de ces concours que sont sortis l'Archimède, de 580 tonneaux en surface et 800 en plongée, qui a filé plus de 15 nœuds en surface, le Mariotte et l'Amiral-Bourgeois, variantes à moteurs à pétrole du programme de l'Archimède ; le Charles- Brun, bâtiment très spécial, qui n'employait pas l'électricité en plongée, mais utilisait une chaudière accumulatrice inventée par l'ingénieur général Maurice.

Plus récemment, on a essayé la construction de sous-marins beaucoup plus grands, comme le Gustave-Zédé, la Néréide, le Dupuy-de-Lôme et le Sané, qui dépassent 800 tonneaux de déplacement en surface.

L'accroissement de tonnage permettait à la fois de renforcer l'armement en torpilles, d'augmenter l'approvisionnement de combustible, et par suite le rayon d'action, et en même temps de doter ces bâtiments d'aménagements relativement confortables, bien nécessaires à l'équipage, puisque le sous-marin devait tenir la mer pendant plusieurs semaines.

Sur ces nouveaux bâtiments, chaque officier a sa chambre, fort exigüe à la vérité, mais où l'on a trouvé néanmoins la place de loger, en plus de la couchette, une armoire à vêtements, un lavabo, type de la Compagnie des Wagons-Lits, et même une minuscule table-bureau surmontée d'une étagère à livres décorée pompeusement du nom de bibliothèque de bord, Il y a une cuisine, munie de fourneaux électriques, qui permettent de préparer des repas chauds même pendant les plongées de longue durée.

Il y a un carré, ou salle à manger pour les officiers ; les simples matelots n'ont qu'un poste aménagé de couchettes et de hamacs, avec des lavabos et des tables rabattables.

En même temps, les progrès réalisés dans la construction des appareils moteurs, tant électriques qu'à pétrole, rendaient possibles des vitesses plus considérables et permettaient d'envisager des parcours sous l'eau beaucoup plus longs.

Les gros sous-marins ont reçu le nom de sous-marins de haute mer. Les plus rapides d'entre eux ont filé en surface jusqu'à 19 nœuds ; en plongée, ils ont dépassé 11 nœuds. A petite vitesse, sous l'eau, ils peuvent marcher plus de quarante-huit heures sans qu'il soit besoin de recharger leurs batteries d'accumulateurs, et parcourir 300 à 400 kilomètres, sans être obligés de remonter à la surface. Ils portent jusqu'à dix appareils lance-torpilles.



Tels sont, en France, les types Dupuy-de-Lôme, Lagrange, Joëssel, dont les derniers sont encore en construction au moment où nous mettons sous presse.

Sans doute, les années qui suivront verront-elles l'apparition de sous-marins plus grands encore, plus rapides et plus puissants ; mais dès maintenant on peut considérer que les sous-marins des types les plus récents ont atteint un haut degré de perfection et constituent une arme de la plus grande valeur.

Ces bâtiments, grâce à leur déplacement de 800 à 900 tonneaux et aussi à leurs formes bien étudiées, tiennent remarquablement bien la mer ; ils peuvent affronter tous les temps et méritent bien leur nom de sous-marins de haute mer. Ils emportent des vivres et du combustible pour plus de trente jours ; les installations intérieures pour le personnel, leur habitabilité, pour employer l'expression technique consacrée, est largement suffisante pour que l'équipage supporte ces longues croisières sans éprouver une fatigue excessive, en tout cas sans dépasser les limites de l'endurance et des forces humaines.

Ils seraient tous capables de traverser l'Atlantique, et plusieurs d'entre eux l'ont fait effectivement. Malgré ces grandes dimensions, on a su conserver à ces sous-marins toutes les qualités des plus petits : souplesse de manœuvre et rapidité de prise de la plongée.

A l'étranger, l'évolution de la construction sous-marine a été la même qu'en France ; sauf les petites nations qui étaient obligées, par la modicité de leur budget, de se contenter de petits sous-marins défensifs, toutes les autres puissances, en ces dernières années, se sont orientées vers la construction du gros sous-marin, plus ou moins rapide, mais toujours très robuste, très marin, fortement armé et doué d'un rayon d'action considérable.

En Allemagne et en Italie, on a réalisé ce programme par les mêmes moyens que nous, c'est-à-dire en construisant des submersibles, bâtiments à forte flottabilité et à double coque, qui dérivent tous plus ou moins directement de leur ancêtre commun le Narval. Ailleurs, en Angleterre notamment et aux Etats-Unis, on est resté, à quelques exceptions près, fidèle au type sous-marin proprement dit (1), mais c'est le même programme qu'on a cherché à réaliser par des moyens différents.

Ainsi qu'on pouvait s'y attendre, pour rendre les sous-marins proprement dits capables de remplir le même programme que les submersibles, on a dû les modifier assez profondément. Pour donner de la tenue à la mer à ces bâtiments, on a dû relever sensiblement le taux de leur flottabilité

*(1) Les Américains ont, en effet, un type de submersible particulier, le type Symon-Lake, et les Anglais ont fait dans ces dernières années des achats de submersibles Lanbel1f à MM. Schneider et Cie et de submersibles Laurellí à la Société Fiat San Giorgio.*

sensiblement le taux de leur flottabilité qui est passé de 5 ou 7 %- à 12 ou 13 % et même quelquefois à 15 % (1). Le sous-marin s'est donc rapproché sensiblement du submersible. Arrivé à ce point, la barrière qui les séparait encore, nous voulons dire le système de construction, de la coque, ne pouvait pas résister bien longtemps. En effet, la grande Société l' « Electric Boat CY », qui exploite les brevets Holland et n'avait jusqu'alors construit que des sous-marins proprement dits, vient dans son type le plus récent d'adopter le principe des ballasts extérieurs et la double coque. Ceci montre bien que la fusion est près de se faire et que, à l'avenir, sous-marins et submersibles convergeront vers un type unique.

**-- C'était il y a un peu plus de cent ans et nos anciens n'étaient pas si bêtes que ça.**

**-- En 1964 à Toulon sur l'Eurydice, nous avions un quartier maître DSM Alsacien qui nous avait raconté que dans son village en Alsace, il connaissait un vieux monsieur qui avait fait les sous-marins, juste avant la guerre de 14. Un jour le grand père demande à notre camarade « ton sous-marin, il plonge à quelle profondeur ? " réponse du collègue 300 mètres. Et la réplique du « vieux"**

**Tu de fout de moi un sous-marin ça plonge à 30 mètres.**

*(1) On appelle taux ou coefficient de flottabilité d'un navire sous-marin le rapport du volume émergeant en flottaison légère au volume total en plongée. Ce rapport varie, sur les submersibles, de 20 à 35 %,*