

## **Document enseignant**

### **« Mouvements et forces »**

Le sujet abordé dans ce questionnaire correspond au programme de Physique de 3<sup>e</sup> :  
« **Mouvements et forces** ».

Il peut être néanmoins exploité avec des publics variés, notamment en guise de rappel pour des classes de 1<sup>re</sup>.

La plupart des questions trouvent leurs réponses directement dans le Pavillon des Expositions Permanentes de La Cité de la Mer : aquariums, panneaux, bornes interactives, séquences vidéo, objets exposés... ou dans le sous-marin *Le Redoutable*. D'autres questions font appel à la logique de l'élève, ainsi qu'à sa capacité d'observation.

Six grandes notions relatives aux mouvements et forces ont été retenues :

- Qu'est-ce qu'une force ?
- La pression exercée par l'eau
- Le principe d'Archimède
- Forces, déplacement et vitesse
- Equilibre des forces
- Et chez les animaux marins ?

Chacune de ces six parties comporte une brève introduction permettant de présenter la notion abordée, avec éventuellement un rappel succinct de définitions. L'enseignant y trouvera également des exemples concrets qui lui permettront d'illustrer chacune des notions, mais aussi de développer des compétences transversales.

Une **exploitation pluridisciplinaire** de ce document est souhaitable, puisque certaines notions font appel à des connaissances de **chimie** (caractéristiques physico-chimiques

de l'eau de mer...), de **mathématiques** (calculs de vitesses, conversions...) ou de biologie (types de locomotion...).

Les activités scientifiques participant pleinement à l'apprentissage du langage, une collaboration avec l'enseignant de **français** est conseillée : lecture et production de textes courts, introduction d'un nouveau vocabulaire spécialisé (lexique en fin de livret), appréhension des liens entre textes et images... sont autant de points exploitables en français.

### **Notion 1 : Qu'est-ce qu'une force ?**

Cette première partie consiste principalement en un rappel de cours : en revoyant préalablement les **notions indispensables relatives aux forces**, l'élève sera mieux préparé pour aborder les notions suivantes.

Aucun support de l'exposition ne se rapporte directement aux questions de ce chapitre, mais il peut être utile d'effectuer ces rappels dans le hall d'entrée, le bathyscaphe *Archimède* constituant une introduction parfaitement adaptée, d'autant plus qu'il sera par la suite (notion 4) sujet de questionnements (à faire observer principalement : l'épaisseur de la sphère habitable de 15 cm, visible grâce aux hublots, par rapport à la coque fine de 0,5cm).

**1)** Le *poids* correspond à une *force exercée* par la Terre, qu'on appelle *attraction terrestre*, ou gravité. Son point d'application est appelé *centre de gravité*, sa direction est *verticale*, et elle est dirigée vers le bas. Le poids d'un objet est proportionnel à sa *masse* selon la formule  $P = m \times g$ . Dans cette formule, le poids  $P$  est exprimé en *Newton*, la masse  $m$  en *kilogramme* et l'intensité de la pesanteur  $g$  en *Newton par kilogramme*. La valeur de  $g$  est *variable* à la surface de la Terre, en fonction de l'altitude et de la *latitude* : même si notre masse ne varie pas lors d'un voyage, nous ne faisons pas toujours le même poids !

Cette question est l'occasion de rappeler la confusion quant au mot « poids » qui, dans le langage courant, est synonyme de « masse ».

**2)** Le poids est :

- Une force à distance
- Une force répartie
- Une valeur variable selon le lieu

3) Pour être le plus léger, il faut partir (dans l'ordre croissant de poids) :

- Sur la Lune
- Au sommet de l'Everest / Dans la jungle équatoriale du Brésil (pour les deux,  $g = 9,786 \text{ N.Kg}^{-1}$ )
- Dans les polders de Hollande
- Dans un igloo au milieu du Pôle Nord

4) Les plus fortes marées s'observent donc quand la Lune et le Soleil sont alignés (en conjoncture).

*Programme de SVT (rappels de 6<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup>)*: explication du phénomène des marées et répartition des espèces littorales.

## **Notion 2 : La pression exercée par l'eau**

Cette notion débute par des rappels des programmes de Physique de 5<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> : **masse volumique de l'eau, notion de pression, unités légales et usuelles...**

Il est intéressant de noter que la pression est le facteur général déterminant qui a freiné le développement de l'exploration sous-marine :

- D'une part, la pression exercée par l'eau : contrainte mécanique exercée sur les matériaux de construction des engins d'exploration...
- D'autre part, la pression de l'air : le développement de la plongée n'a pu avoir lieu qu'à partir du moment où l'homme a pu comprimer l'air, soit grâce à la pression de l'eau (cloche à plongée...), soit par un autre moyen (pompe pour scaphandre - voir niveau 2, compresseur...).

**Ci-dessous les différents supports d'exposition pouvant illustrer le thème général de la pression :**

**2<sup>e</sup> étage - Film 1.2 « Les pionniers »** : illustrations consacrées aux pionniers tels que Végèce, Léonard de Vinci, cloches de plongée, scaphandre du chevalier de Beauve, casque de Fréminet, scaphandre de Klingert...

**2<sup>e</sup> étage - Films 1.4 « La conquête des profondeurs »** : film « Bathysphères et bathyscaphes »

**2<sup>e</sup> étage - panneau Apnée 3.1** : photo d'un plongeur légendé avec les endroits du corps où se ressent le plus la pression de l'eau en plongée

**2<sup>e</sup> étage** : tonneau de Lethbridge (1.2 Premiers pas), matériel de plongée exposé dans les vitrines (3.2 Respiration assistée), scaphandres pied-lourd et scaphandres autonomes

**Rez-de-chaussée - pôle sous-marin** : Colonnes simulant la pression sur la coque d'un sous-marin en fonction de la profondeur, acier de la coque à haute élasticité pour supporter les variations de pression

5)

| Profondeur      | Pression  |
|-----------------|-----------|
| 0 mètre         | 1 bar     |
| - 10 mètres     | 2 bars    |
| - 10 000 mètres | 1000 bars |

6) Les engins de plongée profonde ont généralement des formes très arrondies, car c'est la forme arrondie qui résiste le mieux aux forces dues à la pression.

Les gravures d'anciennes inventions (**rez-de-chaussée**, « **Des machines fabuleuses** ») comme la *Tortue* de Bushnell ou le *Nautilus* de Fulton rappellent que l'homme a toujours su intuitivement que les formes arrondies étaient les plus adaptées.

**Nef d'accueil** : Sphère habitable de l'Archimède

**2<sup>e</sup> étage** : photo de la bathysphère (panneau 1.4 « Bathysphère, bathyscaphes... »)

**2<sup>e</sup> étage - Films 1.4 « La conquête des profondeurs »** : film « Bathysphères et bathyscaphes »

**1<sup>er</sup> étage** : Sphère suspendue du *Nautilé* - maquettes du *Rémora 2000* et du *Nautilé*

**1<sup>er</sup> étage** : formes sphériques du sismographe (6 Profondeur) et du courantomètre acoustique (panneau 7.1 Observer - Courants)

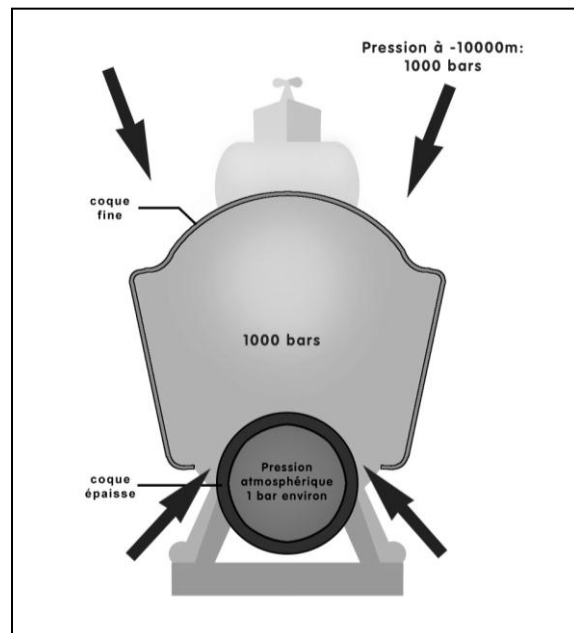
**Rez-de-chaussée** : base cylindrique de l'aquarium abyssal, supportant 350 000 litres d'eau de mer

**Rez-de-chaussée** : *Le Redoutable* (extérieur)

Par ailleurs, cette question est l'occasion de faire un lien direct avec un autre chapitre du programme : **les propriétés des matériaux**. On peut citer par exemple la nécessité d'avoir pour la coque du sous-marin un acier élastique : ainsi, le sous-marin se déforme sous la pression, mais récupère sa forme initiale en remontant à la surface. C'est également un acier résistant à la corrosion (**réactions d'oxydation**). Le film « Bathysphères et bathyscaphes » (2<sup>e</sup> étage, espace « La conquête des

profondeurs ») cite également les matériaux de construction de la bathysphère : acier, nickel et molybdène.

7) *Archimède*, dans sa partie inférieure, est ouvert sur l'eau de mer qui l'entoure : ainsi, la pression de l'eau reste identique de part et d'autre de la coque fine quelle que soit la profondeur à laquelle se trouve l'engin. La sphère habitable reste par contre à pression atmosphérique, la coque doit donc être beaucoup plus épaisse pour supporter la différence de pression lorsque l'*Archimède* est à 10 000 mètres de profondeur.



Ci-dessous les supports d'exposition pouvant illustrer cette question :

Nef d'accueil : *Archimède*

2<sup>e</sup> étage : épaisseur du hublot dans la vitrine du panneau 1.4 « Bathysphère, bathyscaphes... »

### Notion 3 : Le principe d'Archimède

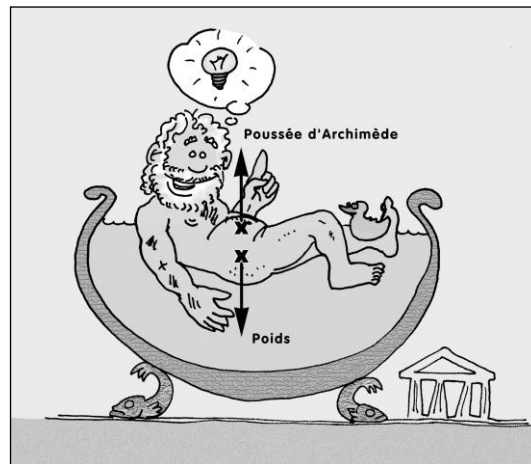
Cette notion débute par un énoncé du principe d'Archimède.

Une maquette du rez-de-chaussée (Galerie « Du rêve à la réalité ») a été conçue pour illustrer ce principe.

*Programme de SVT de 3<sup>e</sup>* : fonctionnement de l'organisme, relation à l'environnement... Le principe d'Archimède a de multiples conséquences physiques et physiologiques sur le plongeur autonome (voir pour ressource le site <http://hussonb.free.fr/plongee/archimede.htm>) : poids des objets immergés, principe du gilet stabilisateur et flottabilité du plongeur, technique du poumon ballast...

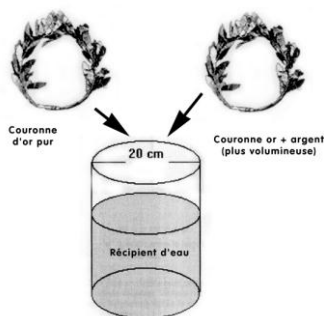
8) Archimède s'est écrié « J'ai trouvé ! ».

9)

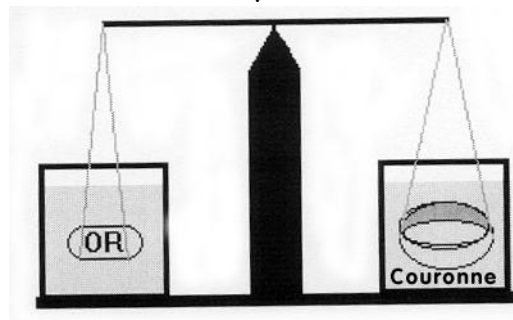


L'histoire d'Archimède peut constituer un exercice dans le cadre du chapitre du programme sur les **propriétés des matériaux**. Elle peut faire également l'objet d'un TP sur la critique des deux méthodes possibles ayant pu être utilisées par Archimède (la méthode 2 satisfait davantage les historiens scientifiques : la différence de hauteur d'eau dans le cas de l'expérience 1 devait être trop minime pour être perçue avec les moyens d'époque).

Expérience 1 :



Expérience 2 :



**Suggestion** : voir le site <http://www.eveil.asso.fr/journal/archives/archim1.htm> pour un exemple précis d'exercice sur ce modèle.

**10)** « En remplissant les ballasts du sous-marin avec de l'eau, on *augmente* son poids. Celui-ci devient alors *supérieur* à la poussée d'Archimède, et le sous-marin *coule*. »

**Rez-de-chaussée** : maquette explicative du principe d'Archimède et maquette du système des ballasts - commentaire du *Redoutable* - borne interactive « Pilotage » du Central

11) Les affirmations exactes sont les suivantes :

- Après le largage de la grenaille de fer, la poussée d'Archimède devient supérieure au poids du bathyscaphe
- Le poids du bathyscaphe diminue lorsqu'il largue la grenaille de fer
- La poussée d'Archimède est la même avant et après le largage de la grenaille de fer

## Notion 4 : Forces, déplacement et vitesse

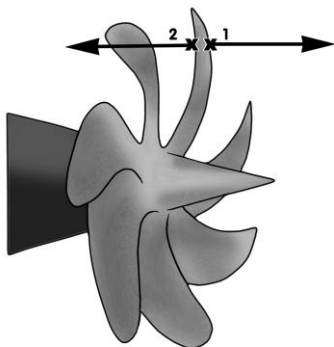
Cette notion permet à l'enseignant de rappeler les termes de **mouvement**, de **vitesse**, et de **référentiel**.

**Nef d'accueil** : bathyscaphe *Archimède* et panneaux explicatifs

- 12) Mouvement vertical : hélice n° 3  
Mouvement d'avant en arrière : hélice n°2  
Mouvement latéral : hélice n°1

Les bathyscaphes doivent à leur faible mobilité leur surnom « d'ascenseurs des mers » : ils ont été remplacés par des engins plus mobiles : les sous-marins d'exploration, comme le *Nautile*.

13)



- 1: Force exercée par l'hélice sur l'eau  
(le point d'application est sur la face  
extérieure de l'hélice)
- 2: Force exercée par l'hélice sur le bateau  
(le point d'application est sur la face  
intérieure de l'hélice)

On peut conclure que l'hélice, qui est animée d'un mouvement de *rotation*, permet au bateau d'acquies un mouvement de *translation*.

**Rez-de-chaussée** : hélice à 7 pales du *Redoutable* - borne « Pilotage » du Central

14) *Le Redoutable* pouvait naviguer à 22 nœuds, c'est-à-dire 22 milles par heure soit  $40,7 \text{ km.h}^{-1}$ .

Commentaire du *Redoutable* - Panneau extérieur « *Le Redoutable - Un seigneur des mers au repos à Cherbourg* »

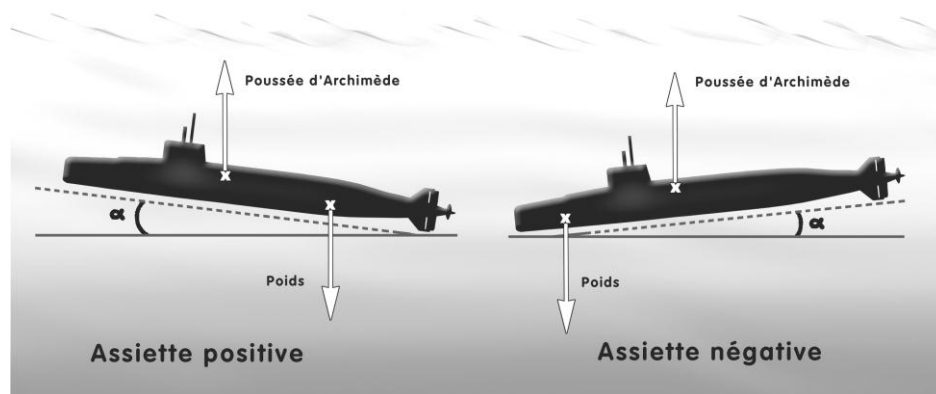
15) La vitesse du sous-marin est de 15 nœuds par rapport au fond de l'océan.

La vitesse du sous-marinier installé au poste de pilotage est de :

- 20 nœuds par rapport à l'eau
- 15 nœuds par rapport au fond
- 0 nœud par rapport au sous-marin

## Notion 5 : Equilibre des forces

16)



Rez-de-chaussée : borne interactive « Pilotage » du Central et simulateur de pilotage

17) Les affirmations exactes sont les suivantes :

- Le sous-marin prend de l'assiette parce que le centre de gravité se déplace
- Lorsque le sous-marin prend de l'assiette, la poussée d'Archimède demeure égale au poids
- Lorsque le sous-marin prend de l'assiette, la vie à bord est moins agréable

Rez-de-chaussée : borne interactive « Pilotage » du Central



**18)** Une séance de cinéma a lieu dans une salle située à l'avant du sous-marin. En se déplaçant pour gagner cette salle, l'équipage déplace le *centre de gravité* du sous-marin vers l'avant. Le sous-marin prend alors une assiette *négative*. Pour retrouver une assiette nulle, il faut faire passer de l'eau des caisses d'assiette *avant* vers les caisses d'assiette *arrière*.

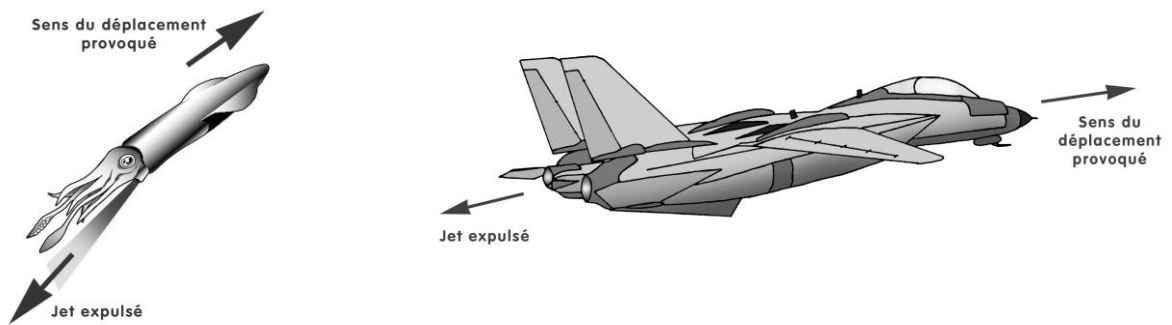
**Rez-de-chaussée :** borne interactive « Pilotage » du Central et simulateur de pilotage

**Notion 6 : Et chez les animaux marins?**

Cette notion est l'occasion de rappeler que les lois physiques s'appliquent également aux êtres vivants. Des exemples simples ont été choisis (mouvements unidirectionnels de la crevette), mais l'enseignant pourra s'il le désire s'inspirer du **panneau « Sacrés rameurs » du 2<sup>e</sup> étage** s'il souhaite illustrer les principes de forces avec la nage ondulante de certains poissons.

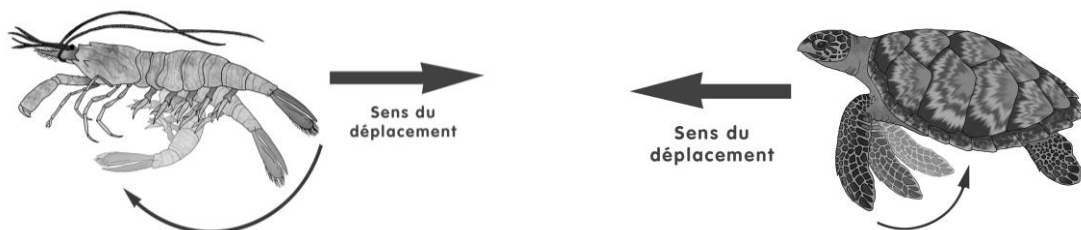
Le principe des ballasts pourra aussi trouver une « illustration vivante » au **2<sup>e</sup> étage**, avec **l'aquarium des nautilus** (voir aussi le **panneau « Ballasts, flotteurs et parachutes »**).

**19)**



**2<sup>e</sup> étage :** panneau 4.4 « Le Club des Inventeurs » - aquariums

**20)**



**2<sup>e</sup> étage :** panneaux 4.2 « Sacrés rameurs ! » et 4.4 « Le Club des Inventeurs » - aquariums

# Bibliographie

## Propulsion des sous-marins

- Tous ces documents sont disponibles à la Médiathèque -

### LIVRES

**L'encyclopédie des sous-marins français : l'apogée des classiques / Thierry Arbonneau - Paris : SPE Barthélémy, 2011. - 430 p.**

Le Tome 3 de cette encyclopédie des sous-marins français en 6 volumes va de 1943, année du début du reflux adverse, à 1972, départ en patrouille du *Redoutable*. Cette partie montre l'essor fantastique accompli pendant ces 30 années : participation à la victoire, décolonisation et guerre correspondantes, maîtrise de l'atome, propulsion nucléaire et arme atomique. Pendant cette période, les sous-marins classiques, *Narval*, *Aréthuse* et *Daphné* forment le cœur de la flotte sous-marine française, qui connaît là un des moments les plus hauts en couleur de son histoire.

**Hydrodynamique navale : le sous-marin / Alain Bovis - Paris : Les presses de l'ENSTA, 2010. - 199 p. - (Les Cours).**

Le sous-marin s'est développé, depuis un peu plus d'un siècle, sur une base scientifique. La maîtrise du mouvement dans un espace fluide à trois dimensions a, en particulier, conditionné ce développement. L'objectif de discrétion acoustique se rajoute aujourd'hui comme une contrainte dimensionnante de la conception et nécessite de prendre en compte la nature locale de l'écoulement sur la carène, ses appendices et son propulseur. Cet ouvrage présente, dans la perspective de la courte histoire du sous-marin, l'état de l'art actuel dans la conception hydrodynamique des engins modernes. Il décrit les concepts et les outils nécessaires au concepteur en matière d'équilibre et de dynamique de la plongée, de résistance à l'avancement, de propulseur, de bruits d'écoulement.

***Le plongeur* : premier sous-marin français lancé à Rochefort le 18 mai 1863 / Luc Fournier - Rochefort (Charente-Maritime) : Société de Géographie de Rochefort, 2005 ; Rochefort (Charente-Maritime) : Comité Rochefortais de Documentation Historique de la Marine - 47 p.**

Cet ouvrage traite du premier sous-marin français à propulsion mécanique, le *Plongeur*, conçu et testé en 1863 par Siméon Bourgeois et Charles Brun à l'arsenal de Rochefort (Charente-Maritime). L'auteur retrace également l'histoire des précurseurs du

*Plongeur* : la *Tortue* de David Bushnell (1775) et le *Nautilus* de Robert Fulton (1800). Il étudie aussi l'hypothèse que le *Plongeur* ait servi de modèle à Jules Verne pour imaginer le *Nautilus* du Capitaine Nemo.

**Sous-marin Beveziers / Ministère de la Défense (Auteur) - Cherbourg : DCAN, 1975. - 20 p.**

Cette plaquette présente les principales caractéristiques du sous-marin Beveziers construit par la DCN Cherbourg et lancé en 1975.

**Sous-marins nucléaires / Claude Huan - Marines et Forces navales, octobre 2000. - 81 p. - (Marines et Forces navales (Hors-série).**

Ce magazine sur les sous-marins nucléaires aborde différents sujets : l'US navy, les projets de la DCN, la Grande-Bretagne...

**Félix du temple, inventeur et industriel cherbourgeois / Association des Amis du Musée de la Marine. - Cherbourg (Manche) : Association des Amis du Musée de la Marine, 2004. - 16 p.**

Félix du Temple (1823-1890) était un industriel cherbourgeois. Il a inventé la chaudière à circulation accélérée qui équipa dans un premier temps les avions puis dans un deuxième temps les premiers torpilleurs et sous-marins.

**L'odyssée technique et humaine du sous-marin en France : Des *Clorinde* (1912-1916) aux *Diane* (1912-1917) (1<sup>re</sup> partie). 3 / Gérard Garier. - Nantes (Loire-Atlantique) : Marines, 2000. - 179 p.**

Ce troisième tome traite des sous-marins conçus entre 1910 et 1913 et achevés avant la fin de la guerre, à savoir la série des *Clorinde* aux *Diane* ainsi que les *Armides* et le *Roland Morillot* ex-UB 26.

**L'odyssée technique et humaine du sous-marin en France : des origines au programme de 1922, des *Joëssel* (1913-1919) au *Jean Corre* ex-UB 155 (1920-1937). 4 / Gérard Garier. - Rennes (Ille-et-Vilaine) : Marines Editions, 2004. - 344 p.**

Ce dernier volume de la saga "L'odyssée technique et humaine du sous-marin en France" s'achève en 1922. Il couvre les navires issus des programmes de la Grande Guerre, les étrangers achetés par la Marine nationale ainsi que tous les ex-allemands attribués à la France en 1918.

**L'encyclopédie des sous-marins : de 1776 à nos jours / Robert Hutchinson. - Saint-Sulpice (Suisse) : Airelles, 2003. - 223 p.**

Cet ouvrage retrace la dangereuse évolution du sous-marin comme arme de guerre, depuis ses débuts jusqu'à aujourd'hui et dans un futur proche. Les caractéristiques techniques, l'évolution et la construction ainsi que l'engagement au combat sont développés au travers de plus de 125 classes de sous-marins.

**Les bateaux sous-marins : Des origines à la Première Guerre mondiale / Jean Dessoly (AM communication, 2010. - 404 p. - (Les premiers pas de la navigation sous-marine).**

L'ouvrage " Les bateaux sous-marins - Des origines à la première guerre mondiale ", nous plonge dans l'univers étonnant des premiers pas de l'homme pour naviguer sous les eaux. L'auteur nous offre un panorama international complet comme rarement les ouvrages sur le sujet l'ont fait. Accompagnée d'une iconographie exceptionnelle, cette véritable encyclopédie historique visuelle présente des documents inédits et se veut exhaustive dans la mesure des possibilités sur la base d'une importante documentation datant des débuts du XIX<sup>e</sup> siècle. Pas moins de 500 dessins et 310 photos font de cet ouvrage un outil de référence indispensable pour découvrir cette formidable aventure de l'homme sous la mer.

**Le Redoutable : et l'histoire des techniques des sous-marins / André Laisney - Nersac (Charente) : Lecas-Sifac, 2000. - 176 p.**

En 1991, dans l'ouest de l'Atlantique, *Le Redoutable* effectue sa dernière patrouille et recueille un naufragé après un cyclone. Le narrateur est ce naufragé qui va découvrir peu à peu les spécificités actuelles et passées des sous-marins. Il décrit l'organisation à bord d'un sous-marin nucléaire lanceur d'engins, la structure de sa coque, la navigation en plongée, l'énergie, la propulsion, les systèmes d'armes et l'habitabilité.

## **SITES WEB**

**Le Portail des sous-marins** Site visité le 08/01/2013

Le portail des sous-marins est un site d'information sans aucun lien avec la Marine Nationale française est un site d'information sans aucun lien avec la Marine Nationale française

<http://www.corlobe.tk/>

**Marine nationale - Ministère de la Défense.** Site visité le 04/01/2013

Site officiel. Toutes les informations sur la Marine : organisation, missions, métiers, recrutement... En effectuant une recherche par mots-clés, on trouve des articles sur la propulsion des sous-marins.

<http://www.defense.gouv.fr/marine>

**Le Service historique de la défense.** Site visité le 09/01/2013

Le service historique de la défense est le centre d'archives du ministère de la défense. Il conserve les archives et la symbolique des armées et contribue aux travaux relatifs à l'histoire de la défense. En effectuant une recherche par mots-clés, on trouve des articles sur la propulsion des sous-marins.

<http://www.servicehistorique.sga.defense.gouv.fr/>

**La Médiathèque de la DCNS.** Site visité le 09/01/2013

DCNS expert naval : architecture, construction, ingénierie et nucléaire. En effectuant une recherche par mots-clés, on trouve des articles sur la propulsion des sous-marins.

<http://fr.dcnsgroup.com/mediatheque/>

**Net Marine.** Site visité le 12/02/2013

Net-Marine est une association ayant pour but le développement et la diffusion de l'information militaire maritime française. Actualités, présentation des troupes et du matériel. Une page est dédiée sur « Comment à marche un sous-marin ? ».

<http://www.netmarine.net/bat/smarins/triomphe/comment.htm>

**CEA / Direction des applications militaires.** Site visité le 12/02/2013

Acteur majeur de la recherche, du développement et de l'innovation, le CEA intervient dans quatre grands domaines : énergies bas carbone (nucléaire et renouvelables), défense et sécurité, technologies pour l'information et technologies pour la santé.

<http://www-dam.cea.fr/missions/propulsion-nucleaire.html>