

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

SESSION 2016

Série STI2D – Toutes spécialités

Série STL – Spécialité sciences physiques et chimiques en laboratoire

PHYSIQUE – CHIMIE

DURÉE : 3 HEURES

COEFFICIENT : 4

CALCULATRICE AUTORISÉE

L'emploi de toutes les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique est autorisé à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'elles ne soient pas connectables à un réseau.

Ce sujet comporte 15 pages numérotées de la page 1/15 à la page 15/15.

Avant de composer, assurez-vous que l'exemplaire qui vous a été remis est bien complet.

Les pages 14/15 et 15/15 où figurent les documents réponses sont à numéroté et à rendre avec la copie même non complétées.

Lors des applications numériques, les résultats seront donnés avec un nombre de chiffres significatifs cohérent avec ceux de l'énoncé et une attention particulière sera portée aux unités utilisées.

La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront dans l'appréciation des copies.

Les parties du sujet sont indépendantes et peuvent être traitées séparément dans l'ordre choisi par le candidat.

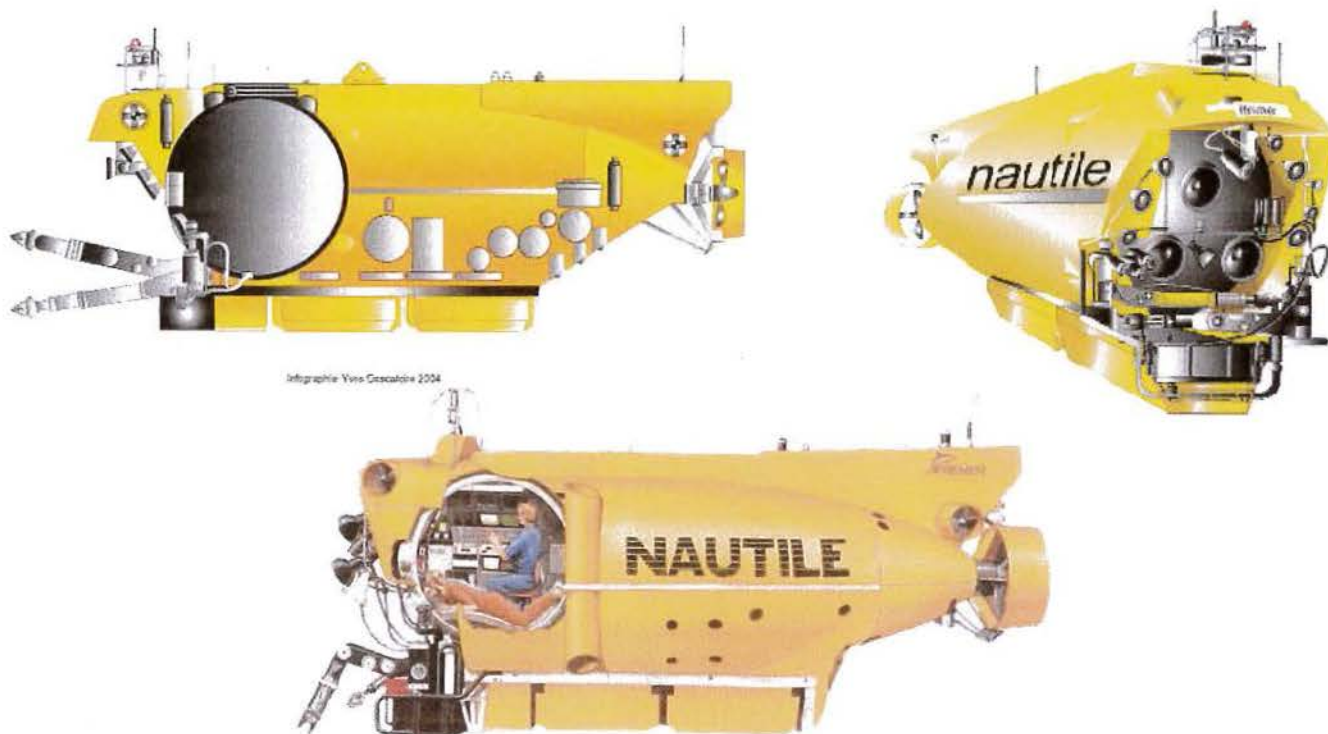
PRÉSENTATION DU SUBMERSIBLE LE NAUTILE

Les documents du sujet sont issus des sites suivants :

http://wwz.ifremer.fr/grands_fonds/Les-moyens/Les-engins

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Nautile_\(sous-marin_de_poche\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Nautile_(sous-marin_de_poche))

Le *Nautile* est un sous-marin habité, conçu par l'Ifremer, pour l'observation et l'intervention jusqu'à 6 000 mètres de profondeur. Il rend accessible 97 % de la superficie des fonds marins.



Caractéristiques techniques :

Profondeur d'intervention : 6 000 m

Masse (pour une plongée à 6 000 m) :
19 500 kg

Équipage : 3 personnes

Réglage d'assiette par transfert de mercure :
 $\pm 10^\circ$

Propulsion principale : 1 propulseur axial orientable

Autonomie (travail sur le fond) à 6 000 m : 5 h

Télémanipulation :

1 bras de préhension à 4 degrés de liberté
(+ ouverture et fermeture de la pince)

1 bras de manipulation à 6 degrés de liberté
(+ ouverture et fermeture de la pince)

PARTIE A – PLONGÉE ET EXPLORATION

PARTIE B – STOCKAGE DE L'ÉNERGIE

PARTIE C – PROTECTION DES BIENS ET DES PERSONNES

PARTIE A – PLONGÉE ET EXPLORATION

Cette partie fait appel aux documents D1 à D8 pages 10 et 11.

A.1 L'habitacle qui accueille l'équipage est une sphère. Un panneau cylindrique de **45 centimètres de diamètre** permet d'y accéder, par l'intermédiaire d'un sas. Sachant que plus de 97 % de la surface des océans est à moins de 6 000 mètres de profondeur, les concepteurs retiennent cette référence. Par sécurité toutefois, la sphère a été conçue pour résister à une **pression relative** pouvant aller jusqu'à $P_{\max} = 900 \text{ bar}$.

A.1.1 Le manomètre extérieur du *Nautilus* indique une pression absolue $P_0 = 1,00 \text{ bar}$ avant l'immersion. Lors de la plongée, le manomètre indique une pression absolue $P_1 = 600 \text{ bar}$. Quelles auraient été les indications du manomètre s'il avait mesuré les pressions relatives ? Justifier votre réponse.

A.1.2 À l'aide des **documents page 10** et en appliquant le principe fondamental de l'hydrostatique (loi de la statique des fluides), indiquer si le *Nautilus* se trouve sous le seuil des 6,00 km lors de la mesure $P_1 = 600 \text{ bar}$.

A.1.3 Une pression est le quotient d'une force par une surface. Calculer la force pressante, $F_{\max}$, en méganewton (MN), qui s'applique sur le sas de la sphère à la pression maximale.

A.1.4 Calculer la masse, $m_{\max}$, en tonne (t), à appliquer sur le sas si un test de sécurité devait être fait à l'air libre.

A.2 Le *Nautilus* se stabilise à une profondeur constante lors de la plongée. Le poids, $\vec{P}$, du sous-mmersible est compensé par la poussée d'Archimède $\vec{F}_A$:

$$\vec{P} + \vec{F}_A = \vec{0}$$

Le *Nautilus* navigue à vitesse constante $v = 2,00 \text{ nœud}$. La force motrice, $\vec{F}$, a une intensité $F = 300 \text{ daN}$.

A.2.1 Le sous-mmersible est soumis à une force de frottements, $\vec{f}$, de la part de l'eau de mer. L'intensité f est-elle égale, inférieure ou supérieure à l'intensité F ?

Tracer le vecteur, $\vec{f}$, sur le **document réponse DR1 page 14**.

A.2.2 « La sphère offre, pour une pression donnée, le meilleur rapport masse/volume disponible, suivie de l'ellipsoïde, puis du cylindre. Mais le choix ne repose pas que sur cet unique critère. En matière d'hydrodynamisme, l'ordre est différent : ellipsoïde, cylindre, sphère. [...] Le choix s'est finalement porté sur une sphère [...], elle-même enchâssée dans une coque ellipsoïdale. [...] Cette coque extérieure bien profilée aide à donner à notre sous-marin un faible coefficient de traînée (C_x) suivant l'axe horizontal [...]. » (source : <http://wwz.ifremer.fr>)

À l'aide des **documents page 10**, pour une surface frontale valant $S = 14 \text{ m}^2$, calculer le coefficient de traînée, C_x , du *Nautilus* si $f = 300 \text{ daN}$.

Le choix d'une forme profilée, lors de la conception du *Nautilus*, a-t-il permis d'améliorer le coefficient de traînée ?

A.2.3 Le pilote arrête le moteur.

On rappelle le principe fondamental de la dynamique :

$$\vec{P} + \vec{F}_A + \vec{F} + \vec{f} = m \cdot \vec{a}$$

Choisir et recopier sur votre copie la proposition correspondante à cette situation :

Proposition 1 :	F diminue	f augmente	v diminue.
Proposition 2 :	F augmente	f augmente	v diminue.
Proposition 3 :	F est nulle	f augmente	v diminue.
Proposition 4 :	F est nulle	f diminue	v diminue.

A.3 Le *Nautil* est à l'arrêt pour récolter un échantillon de roche à l'aide de son bras télémanipulateur. En extension maximale, le bras peut encore exercer une force $F_1 = 80,0 \text{ daN}$.

Le mouvement du bras et la prise d'objet peuvent déclencher une rotation du submersible qui risque de le déstabiliser.

« Il est intéressant de disposer d'un moyen simple pour faire varier l'assiette de plus ou moins dix degrés. [...] Sur le *Nautil*, la solution retenue repose sur un circuit [...] de mercure, qui sous pression d'huile peut être déplacé rapidement de l'extrême avant à l'extrême arrière. »

Source : <http://wwz.ifremer.fr>

Voir les documents D7 et D8 page 11

A.3.1 Placer sur le **document réponse DR2 page 14** la distance, d_1 , correspondant au « bras de levier » de la force $\vec{F}_1$ lorsque le *Nautil* prélève un échantillon de roche.

A.3.2 Calculer le moment de force $M_{\vec{F}_1}$ créé par la force, F_1 , exercée par l'échantillon récolté sachant que $M_{\vec{F}_1} = F_1 \times d_1$ et que le bras de levier, d_1 , vaut **4,00 m**.

A.3.3 Il va falloir compenser le moment de force $M_{\vec{F}_1}$ par un autre moment de force $M_{\vec{F}_2}$ pour garder la même assiette. Le mouvement du mercure assure cette stabilité en jouant sur les moments de force qui agissent sur le sous-marin : $M_{\vec{F}_1} - M_{\vec{F}_2} = 0$.

Calculer alors le volume, V_2 , du mercure nécessaire pour garder l'assiette nulle, sachant que le bras de levier correspondant à $\vec{F}_2$ vaut $d_2 = 3,00 \text{ m}$. Donner le résultat final en litres (L).

A.3.4 À l'aide du **document D8 page 11**, indiquer l'inconvénient d'avoir du mercure à bord du *Nautil*.

A.3.5 « En terrain accidenté ou pour certaines observations, il est intéressant de disposer d'un moyen simple pour faire varier l'assiette de plus ou moins dix degrés. [Une autre option] serait [...] de déplacer la batterie principale par vérin à vis. » (source : <http://wwz.ifremer.fr>)

Argumenter, en vous aidant du **document D8 page 11**, le choix d'un circuit de mercure à bord du *Nautil*.

PARTIE B – STOCKAGE DE L'ÉNERGIE

Cette partie fait appel aux documents D9 à D10 page 12.

- B.1** La batterie principale du sous-marin alimente le moteur de propulsion principal, les moteurs verticaux, latéraux et les auxiliaires de puissance tels que les stations d'huile et les projecteurs.

La batterie auxiliaire alimente les équipements et les instruments.

Enfin, une batterie de secours, située à l'intérieur de la sphère, alimente le téléphone sous-marin et les systèmes de sécurité.

Données :

La batterie principale ($U_1 = 220 \text{ V}$) possède une énergie $E_1 = 40,0 \text{ kW.h}$.

La batterie auxiliaire ($U_2 = 28 \text{ V}$) possède une énergie $E_2 = 6,50 \text{ kW.h}$.

- B.1.1** En vous appuyant sur une analyse dimensionnelle, calculer la capacité, Q_1 , de la batterie principale, en **A.h**.
- B.1.2** Après chaque plongée la batterie principale est rechargée avec un courant d'intensité $I_1 = 15,0 \text{ A}$. Calculer la durée de charge Δt nécessaire avant la préparation de la prochaine mission, en supposant que $Q_1 = 180 \text{ A.h}$.
- B.1.3** Afin d'alimenter la sphère habitée, le submersible est également équipé d'onduleurs (entrée : 220 V DC / sortie : 115 V AC ; 60 Hz). Quelle est la fonction d'un onduleur ?
- B.1.4** L'autonomie (travail sur le fond à $6\,000 \text{ m}$) du *Nautil* est de cinq heures. Supposons que le *Nautil* reste à sa vitesse maximale $v_{\max} = 2,00 \text{ nœud}$ avec une force horizontale de propulsion $F = 300 \text{ daN}$.

Calculer la puissance mécanique $P_{\text{méca}} = F \times v$ fournie par le *Nautil* lors de cette croisière.

Calculer l'énergie mécanique, $E_{\text{méca}}$ (en W.h), dépensée.

- B.1.5** Calculer alors le pourcentage d'énergie restant dans la batterie principale pour la remontée en surface et assurer la sécurité de l'équipage.

B.2 Le *Nautilus* est équipé de batteries en technologie plomb – oxyde de plomb :

Les demi-équations aux électrodes d'une batterie au plomb sont :

À l'anode : $\text{Pb} = \text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^-$.

À la cathode : $\text{PbO}_2 + 2\text{e}^- + 4\text{H}^+ = \text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$.

B.2.1 Compléter le schéma du **document réponse DR3 page 15** avec les trois termes suivants :

Oxyde de plomb (PbO_2) – Plomb (Pb) – Sens des électrons e^- .

B.2.2 Recopier sur votre copie la (les) bonne(s) affirmation(s) :

- La réaction à la cathode consomme des ions H^+ .
- La réaction à la cathode produit des ions H^+ .
- La réaction à la cathode va abaisser le pH à l'intérieur de la batterie.
- La réaction à la cathode va augmenter le pH à l'intérieur de la batterie.

B.3 D'autres types de batteries combinent d'autres couples que celui plomb – oxyde de plomb. Les plus usuelles utilisent les couples oxyde d'argent – zinc (submersible japonais) ou nickel – cadmium (submersible russe).

B.3.1 La batterie nickel – cadmium fait intervenir les couples oxydant / réducteur suivants : Ni^{2+}/Ni et Cd^{2+}/Cd . Le métal cadmium (Cd) est oxydé tandis que l'ion Ni^{2+} est réduit lorsque la batterie se décharge.

Écrire la demi-équation d'oxydation puis la demi-équation de réduction.

Écrire l'équation globale d'oxydoréduction.

B.3.2 Un autre submersible japonais *Shinkai 6500* a, pour sa part, été équipé avec une batterie lithium – ion en 2004. À l'aide des **documents D9 et D10 page 12**, justifier ce choix.

B.4 Le *Nautilus* est équipé d'un moteur lié à une hélice. Ce moteur électrique peut développer jusqu'à $P_u = 5,00 \text{ kW}$ de puissance mécanique. Un variateur de vitesse permet de régler la vitesse de rotation du moteur.

Compléter la chaîne de puissance du **document réponse DR4 page 15** avec les valeurs, en kilowatt (kW), des cinq puissances manquantes lorsque le moteur fournit la puissance maximale.

Cette partie fait appel aux documents D11 à D13 page 13.

- C.1** Témoignage d'un membre de l'équipage lors de la descente : « La température de l'eau, elle, diminue avec la profondeur, et se stabilise autour de deux degrés à partir de 4 000 mètres. La surface de la sphère va peu à peu devenir glaciale. À l'intérieur, la température ne va toutefois pas descendre en dessous de **10 degrés** (pas de chauffage pour économiser l'énergie). C'est le moment d'enfiler bonnet et pull. Des vestes polaires sont également disponibles. La vapeur d'eau va **condenser** sur les parois de la sphère jusqu'au ruissellement. » (source : <http://wwz.ifremer.fr>)

« La peau intérieure de la sphère est une surface de condensation pour la vapeur d'eau renouvelée par la respiration de l'équipage. C'est en fait un conditionneur d'air presque trop efficace qui maintient l'hygrométrie aux environs de 45 %. »
(source : <http://wwz.ifremer.fr>)

- C.1.1** « La vapeur d'eau va condenser [...] jusqu'au ruissellement ». Le mot « condensation » n'est pas exact pour décrire le phénomène observé lors de la descente. Quel terme aurait dû être employé pour ce changement d'état ?

- C.1.2** À $\theta = 30\text{ °C}$, lorsque l'humidité relative de l'air vaut $HR = 100\%$, la masse d'eau par m^3 d'air vaut 30 g/m^3 . À partir du diagramme de Mollier du point de rosée, **document D11 page 13**, relever la valeur de la masse d'eau α par m^3 d'air pour chaque situation décrite ci-dessous :

- Si $\theta_1 = 30\text{ °C}$, lorsque l'humidité relative de l'air vaut $HR_1 = 50\%$.
- Si $\theta_2 = 10\text{ °C}$, lorsque l'humidité relative de l'air vaut $HR_2 = 45\%$.

- C.1.3** La sphère habitable du *Nautilus* offre un volume de $4,0\text{ m}^3$ pour trois personnes.

Imaginons que de l'air à 30 °C ayant une humidité relative de 50% soit enfermé dans la sphère du *Nautilus*. À la fin de la plongée, l'air à l'intérieur de la sphère est à 10 °C avec une humidité relative de 45% . Calculer la masse d'eau, m_{eau} , qui est passée de l'état gazeux à l'état liquide à l'intérieur de la sphère.

C.2 L'ouïe et la voix du *Nautilus* sont matérialisées par des antennes émettrices et réceptrices. Elles permettent de communiquer en surface par radio VHF et en plongée par téléphone sous-marin acoustique.

C.2.1 « [Le copilote] veille aux liaisons avec la surface. Compte tenu de la vitesse de propagation des ondes acoustiques, la voix met 2,0 secondes pour parvenir [sous la coque] du navire support. La conversation doit être courte et claire. » (source : <http://wwz.ifremer.fr>)

À partir du **document D12 page 13**, déterminer à quelle profondeur était le *Nautilus* lors de ce témoignage d'un membre de l'équipage.



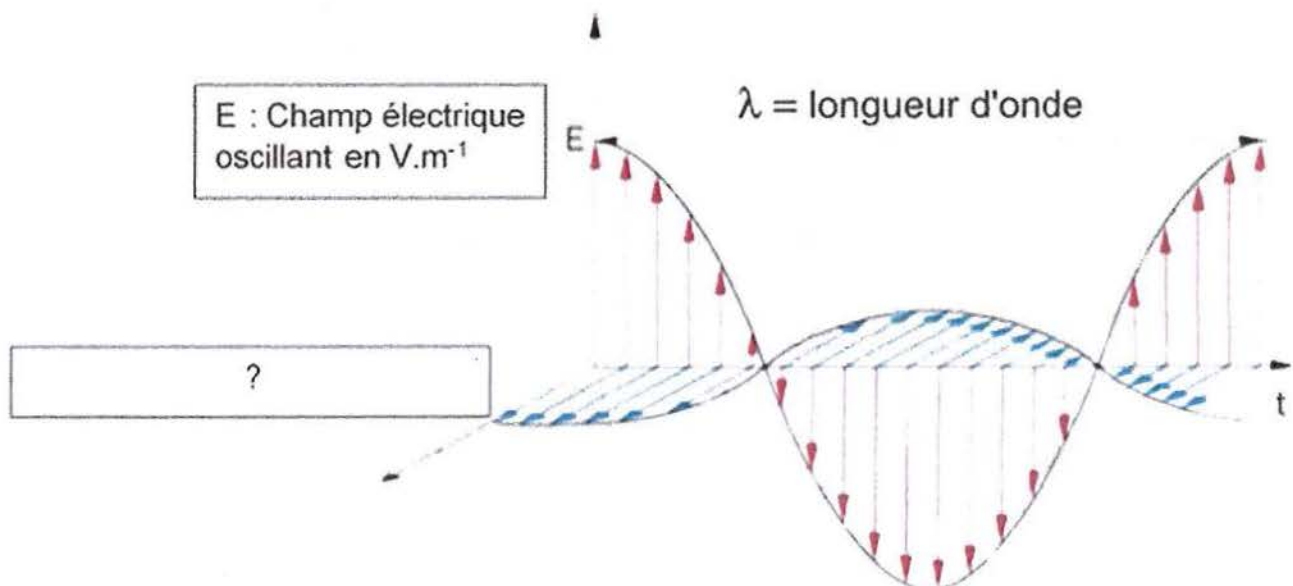
C.2.2 À partir des **documents D12 et D13 page 13**, calculer les fréquences limites, $f_{\min}$ et $f_{\max}$, pour le domaine de la VHF sachant que $c = \lambda \times f$.

c : célérité de l'onde (m.s^{-1}) λ : longueur d'onde (m) f : fréquence (Hz)

Vous exprimerez les résultats en mégahertz (MHz).

C.2.3 Les ondes VHF sont constituées de deux champs oscillants.

Préciser, sur votre copie, le nom et l'unité de la grandeur manquante du document ci-dessous.



C.3 « [Le copilote] a aussi la responsabilité de veiller à la composition de l'air respiré [comme par exemple] la teneur en gaz carbonique (CO₂). De la chaux sodée est utilisée pour absorber le gaz carbonique. Fournie en granulés, elle peut être disposée dans un cylindre fermé de fines grilles. Un petit ventilateur y force l'air de la sphère. Le granulé est périodiquement renouvelé. » (source : <http://wwz.ifremer.fr>)

« Quatre mètres cubes d'air : ce faible volume ne restera pas respirable longtemps. [...] La teneur en dioxyde de carbone ne doit pas dépasser 1 %. »

C.3.1 La concentration de CO₂ dans l'air ambiant naturel s'élève à environ 0,04 % ou 400 ppm (parties par million). Exprimer, en **ppm**, le seuil limite de CO₂ à ne pas dépasser dans l'enceinte habitable du *Nautil*.

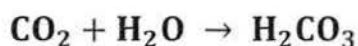
C.3.2 Un appareil de mesure pour la concentration en dioxyde de carbone indique : C = **9700 ppm**. La notice de l'appareil précise :

La grandeur mesurée est comprise dans l'intervalle valeur lue $\pm$ (50 ppm + 3 % de la valeur lue)

Y-a-t-il danger pour l'équipage ?

C.3.3 Le *Nautil* embarque au minimum 4,00 kg de chaux sodée par plongée. L'absorption du dioxyde de carbone par la chaux Ca(OH)₂ va se faire en deux étapes :

1^{ère} étape : Le dioxyde de carbone présent dans l'air réagit avec l'humidité.



2^{ème} étape : $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$

Masses molaires :

$$M(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 74,1 \text{ g.mol}^{-1}$$

$$M(\text{CO}_2) = 44,0 \text{ g.mol}^{-1}$$

Volume molaire d'un gaz :

$V_{\text{molaire}} = 23,0 \text{ L.mol}^{-1}$, (1 mol de gaz occupe un volume de 23,0 L dans les conditions de fonctionnement du *Nautil*).

Calculer le nombre de moles, n_{chaux} , de chaux présentes dans le *Nautil*.

Calculer le volume maximal de dioxyde de carbone pouvant être absorbé.

Estimer la capacité (en L/kg) d'absorption du dioxyde de carbone par la chaux sodée.

C.3.4 La chaux sodée du commerce se présente sous forme de grains composés de 80 % de chaux, Ca(OH)₂, de 4 % de soude, NaOH, 1 % de potasse, KOH, et de 15 % d'eau. La capacité d'absorption de la chaux sodée est d'environ 150 à 200 L de CO₂ par kg de chaux sodée.

Comparer la capacité d'absorption du dioxyde de carbone calculée à la question **C.3.3** avec la valeur du commerce. Proposer une explication de l'écart observé.

DOCUMENTS POUR LA PARTIE A

Document D1 : Conversions d'unités

Pression : 1,00 bar = 10^5 Pa

Vitesse : 1 nœud = $0,514 \text{ m.s}^{-1}$

Document D2 : Multiples

Méga (M)	kilo (k)	déca (da)	unité
10^6	10^3	10	1

Document D3 : Données physiques

Masse volumique moyenne de l'eau de mer : $\rho_{\text{eau}} = 1\,030 \text{ kg.m}^{-3}$

L'intensité de la pesanteur terrestre : $g = 9,83 \text{ N.kg}^{-1}$

Pression atmosphérique : $P_{\text{atm}} = 1,00 \text{ bar}$

Document D4 : Coefficient de trainée C_x

L'intensité de la force de frottements f exercée par l'eau est donnée par la relation :

$$f = \frac{1}{2} \times \rho_{\text{eau}} \times S \times C_x \times V^2$$

ρ_{eau} : masse volumique de l'eau en kg.m^{-3} .

S : surface frontale du *Nautilus* en m^2 .

C_x : coefficient de trainée sans unité

V : vitesse en m.s^{-1}

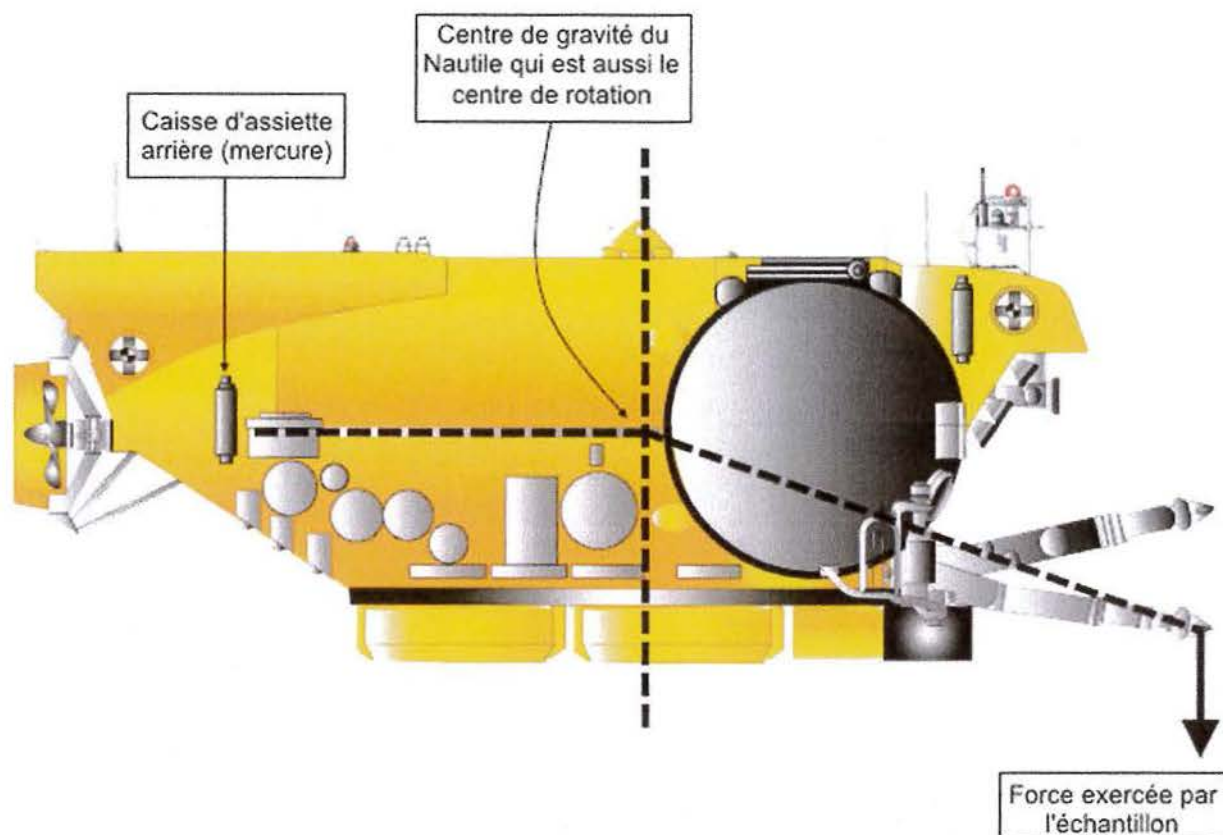
Document D5 : Coefficient de trainée C_x

Forme		Coefficient de trainée
Sphère	→ 	0.47
Demi-sphère	→ 	0.42
Cube	→ 	1.05
Corps profilé	→ 	0.04
Semi-corps profilé	→ 	0.09
Mesures des coefficients de trainée		

Document D6 : L'assiette

L'assiette désigne la position de l'axe d'un aéronef, d'un navire ou d'un sous-marin par rapport au plan horizontal.

Document D7 : La récolte d'échantillons



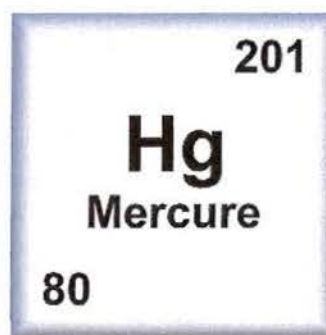
Document D8 : Le mercure

Symbole : Hg

Couleur : argenté, blanc

Masse volumique : 13 600 kg.m⁻³

État ordinaire : liquide



SGH :



Danger

DOCUMENTS POUR LA PARTIE B

Document D9 :

Il n'est guère possible aujourd'hui de disposer d'un moyen de fabriquer de l'énergie sur un petit sous-marin. La taille exclut le nucléaire, l'immersion exclut le rejet de gaz de combustion. **Ce sera donc une alimentation par batteries. Mais le poids du kW.h stocké est élevé dans l'eau, et la flottabilité chère et encombrante.** Ce critère est très important. En effet, plus un équipement est lourd plus il faudra compenser à l'aide de matériaux (mousses) moins denses que l'eau.

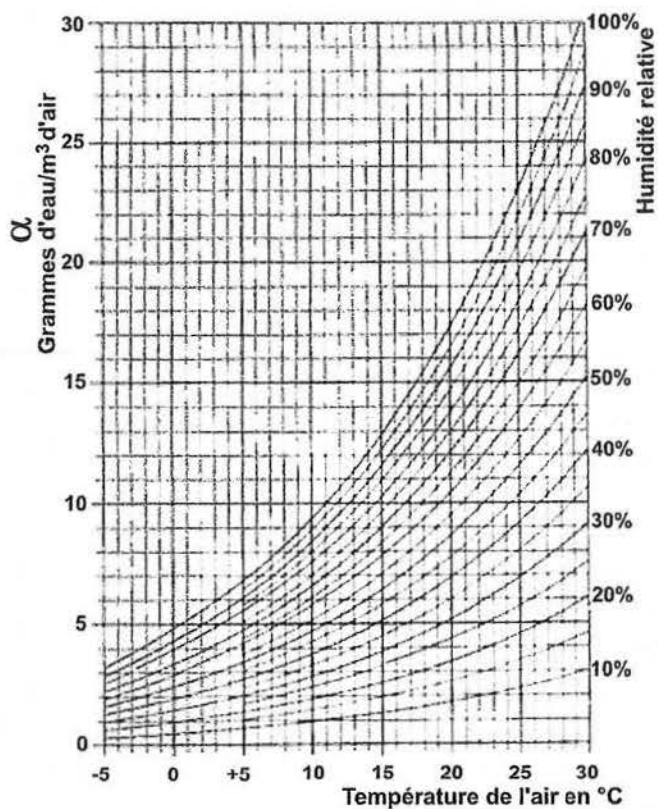
Document D10 : Comparatif de différentes technologies de batteries.

Type	Densité massique en W.h/kg	Densité volumique en W.h/L	Tension d'un élément	Durée de vie (nombre de recharges)	Auto- décharge par mois
Plomb	30-50	75-120	2 V	400-1200	5%
Ni-Cd	45-80	80-150	1,2 V	2000	> 20%
Li-ion	150-190	220-330	3,6 V	500-1000	10%
Oxyde d'argent-Zn	80-140	300-510	1,6 V	20-25	< 1%

DOCUMENTS POUR LA PARTIE C

Document D11 :

Diagramme de Mollier du point de rosée



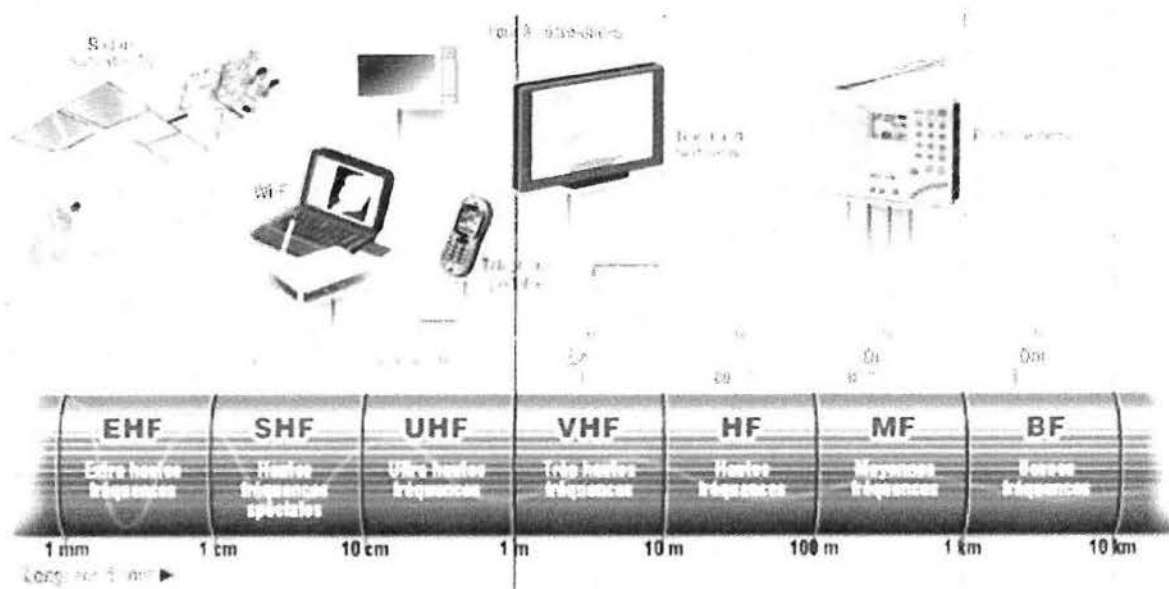
Document D12 : célérités

Célérité d'une onde sonore dans l'air : $c_1 = 340 \text{ m.s}^{-1}$

Célérité d'une onde sonore dans l'eau : $c_2 = 1480 \text{ m.s}^{-1}$

Célérité d'une onde électromagnétique dans l'air : $c_3 = 3,00.10^8 \text{ m.s}^{-1}$

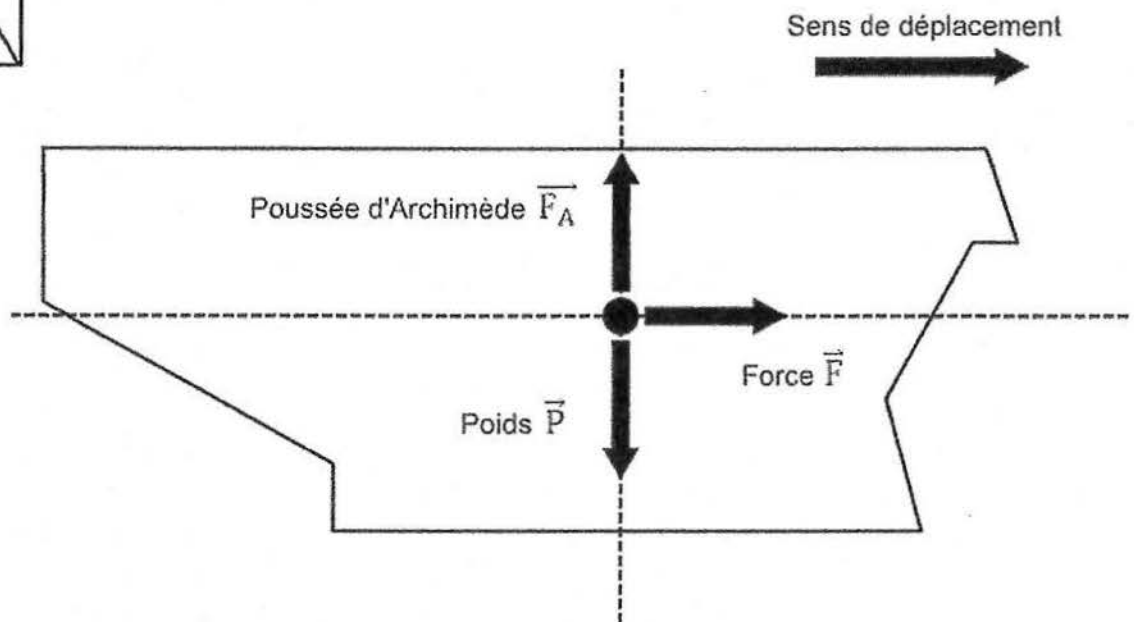
Document D13 : domaines des longueurs d'onde



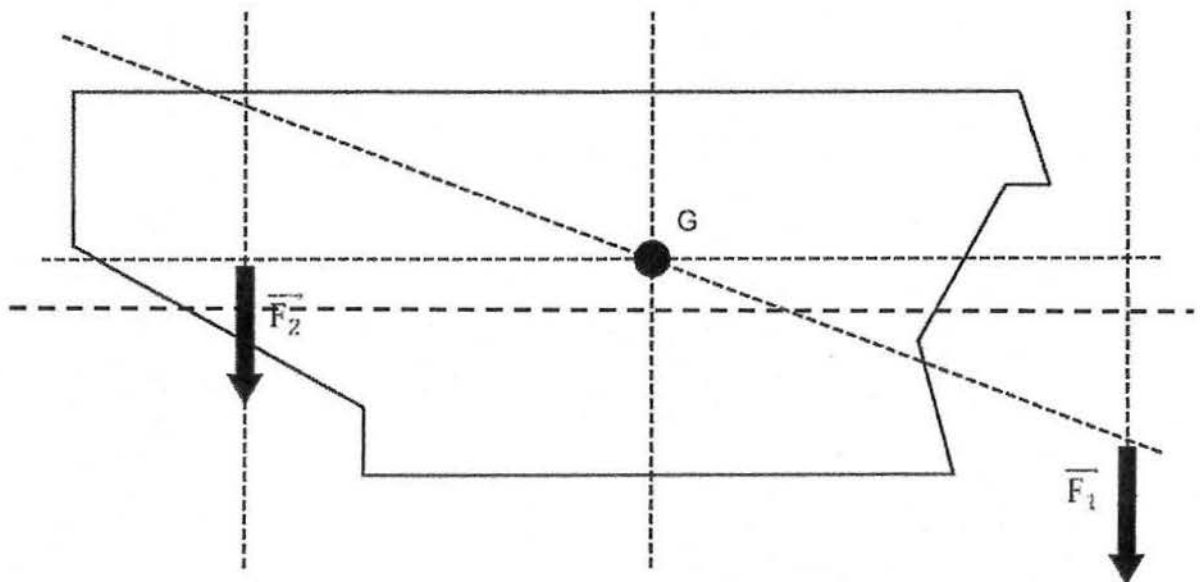
Annexe à numéroté et à remettre avec la copie à la fin de
l'épreuve même non complétée

(placer à l'intérieur de la copie pour agrafage)

DR1 (Question A.2.1) : Vecteurs $\vec{F}$ et $\vec{f}$



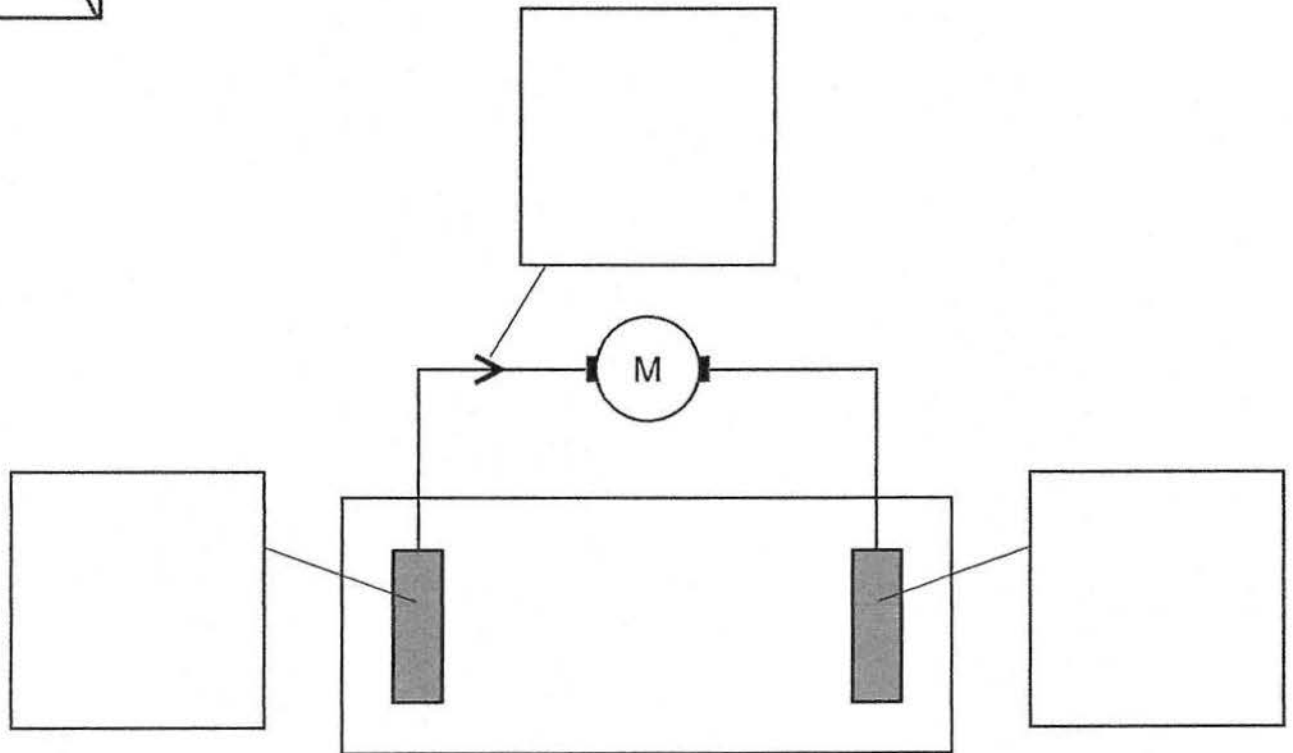
DR2 (Question A.3.1) : Bras de levier d_1



Annexe à numéroté et à remettre avec la copie à la fin de l'épreuve même non complétée

(placer à l'intérieur de la copie pour agrafage)

DR3 (Question B.2.1) : Batterie au plomb



DR4 (Question B.4) : Bilan de puissances

