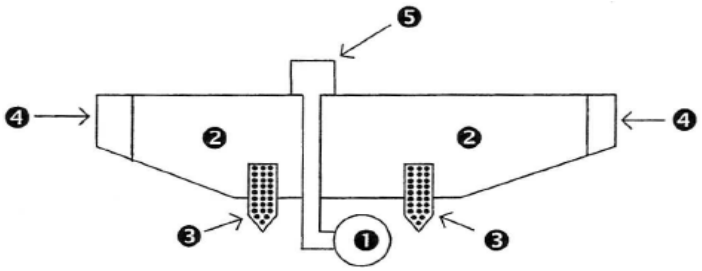
EXERCICE II. À PROPOS DES SOUS-MARINS (5,5 points)
Nouvelle Calédonie 11/2008

Les bathyscaphes sont des sous-marins d'exploration abyssale. En service de 1948 à 1982, ils ont été les seuls submersibles capables d'atteindre les profondeurs les plus grandes (10916 mètres dans la fosse des Mariannes, le 23 janvier 1960).
Un bathyscaphe est constitué d'une lourde cabine sphérique en acier, pouvant accueillir deux ou trois passagers, suspendue à un flotteur rempli d'un liquide noté « L » moins dense que l'eau qui compense le poids. Le bathyscaphe descend par gravitation et remonte en lâchant du lest.
À cause de leur poids, les bathyscaphes ne peuvent être embarqués et sont remorqués par leur navire.



❶ *cabine*
❷ *flotteurs remplis de liquide « L »*
❸ *lest*
❹ *ballasts*
❺ *puits d'accès pour l'équipage*

- Pour plonger le bathyscaphe remplit ses ballasts d'eau ou largue une partie du liquide « L » qu'il remplace par de l'eau de mer (dans notre étude on se placera dans la deuxième hypothèse).
- Il s'alourdit et descend verticalement s'il n'y a pas de courants marins.
- Il se pose ensuite sur le fond.
- Pour remonter, il largue une partie de son lest.

D'après un site Internet

Les parties 1 et 2 sont indépendantes.

1. Étude de la plongée d'un bathyscaphe

Les données fournies ci-dessous sont relatives au bathyscaphe Archimède qui a navigué entre les années 1961 et 1974. Il est maintenant exposé à la Cite de la mer à Cherbourg.
Dans tout l'exercice on supposera que l'on peut négliger les courants marins et donc que le bathyscaphe descend verticalement.
Les mouvements seront étudiés dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

Toutes les données suivantes ne sont pas utiles.
Données : *Masse totale du bathyscaphe : M = 200 t (tonnes) (liquide « L » compris)*
Volume total du bathyscaphe : V = 194 m^3
Volume de liquide « L » embarqué : V_L = 170 m^3
Masse volumique de l'eau de mer : $\rho_E = 1{,}03.10^3$ $kg.m^{-3}$
Masse volumique du liquide « L » : $\rho_L = 0{,}66.10^3$ $kg.m^{-3}$
Intensité de la pesanteur : g = 9,8 $m.s^{-2}$

1.1. *Le bathyscaphe est complètement immergé mais ne plonge pas encore.*
1.1.1. Donner l'expression littérale, en fonction des données, de la valeur F_A de la poussée d'Archimède exercée sur le bathyscaphe complètement immergé. Calculer sa valeur numérique.
1.1.2. Comparer les valeurs du poids du bathyscaphe et de la poussée d'Archimède qu'il subit. Que peut-on en conclure ?

1.2. *On admettra que, rapidement, le bathyscaphe remplace un volume V'_L du liquide « L » par un même volume $V'_E = V'_L$ d'eau de mer. Ceci est en fait un modèle simplifié.*
1.2.1. La valeur F_A de la poussée d'Archimède varie-t-elle ? Expliquez.
1.2.2. Déterminer l'expression littérale de la variation de masse du bathyscaphe (par la suite, elle sera notée ΔM et comptée positivement). Faire l'application numérique.

Donnée : $V'_E = V'_L = 2{,}0\ m^3$.

1.2.3. Expliquez pourquoi le bathyscaphe se met à descendre.

1.3. Plongée du bathyscaphe.

Dans cette partie, on considère que la masse totale du bathyscaphe est à présent M' = 200,74 t.

1.3.1. Faire le bilan des forces exercées sur le bathyscaphe quand il descend. Représenter, sans échelle, ces forces sur un schéma.

1.3.2. *On suppose que l'expression de la valeur de la force de frottement exercée par l'eau de mer est modélisée par la relation $f = k.v^2$ où k est un constante positive qui dépend de la nature du fluide et de la forme de l'objet.*

Établir l'équation différentielle du mouvement selon un axe vertical descendant (Oy).

1.3.3. *La vitesse limite atteinte par le bathyscaphe est $v_{lim} = 1,0\ m.s^{-1}$.*

1.3.3.a. Déterminer l'expression littérale de cette vitesse limite v_{lim}.

1.3.3.b. En déduire la valeur de *k*. Justifier l'unité de *k* par une analyse dimensionnelle.

2.La propulsion du sous-marin « Le Terrible »

D'abord propulsés par des moteurs Diesel rechargeant des batteries, les sous-marins ne pouvaient pas rester en plongée très longtemps car pour utiliser leur moteur, ils devaient obligatoirement faire surface pour évacuer les gaz d'échappement des moteurs. Tout changea avec la propulsion nucléaire : ce n'était plus la propulsion qui limitait la durée de plongée mais la résistance physique de l'équipage.

Dans cette partie, on se propose d'étudier le mode de propulsion du dernier sous-marin nucléaire français « Le Terrible » qui entrera bientôt en service.

Un tel sous-marin utilise comme combustible de l'uranium enrichi en isotope $^{235}_{92}U$ (cet isotope est fissile).

<u>Données :</u> *Masse d'un noyau $^{235}_{92}U$: m(U) = 235,0439 u*

Masse d'un noyau $^{94}_{38}Sr$: m(Sr) = 93,9154 u

Masse d'un noyau $^{140}_{54}Xe$: m(Xe) = 139,9252 u

Masse d'un neutron $^{1}_{0}n$: m(n) = 1,0087 u

Unité de masse atomique : $1\ u = 1,66 \times 10^{-27}\ kg$

Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^{8}\ m.s^{-1}$

Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02.10^{23} mol^{-1}$

Masse molaire de $^{235}_{92}U$: $M(U) = 235\ g.mol^{-1}$

2.1. Donner la structure du noyau noté $^{235}_{92}U$.

2.2. Les noyaux d'uranium $^{235}_{92}U$ peuvent subir différentes fissions. La plus fréquente est donnée par l'équation suivante :

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{94}_{38}Sr + ^{140}_{54}Xe + x\,^{1}_{0}n$$

2.2.1. Montrer que *x* = 2. Une justification soignée est demandée.

2.2.2. Montrer que l'énergie libérée par la fission, selon l'équation ci-dessus, d'un noyau d'uranium 235 vaut $E_{lib} = 2,91 \times 10^{-11}$ J.

2.2.3. *On suppose, pour simplifier, que les énergies libérées par toutes les réactions de fission sont approximativement égales à celle calculée au 2.2.2.*

Le réacteur fournit une puissance moyenne de 150 MW. On rappelle que $1W = 1\ J.s^{-1}$.

2.2.3.a. Montrer qu'il se produit $5,15 \times 10^{18}$ fissions par seconde.

2.2.3.b. En déduire que la masse d'uranium consommée en 1s vaut $2,01 \times 10^{-3}$ g.

2.2.4. *Un tel sous-marin est prévu pour naviguer pendant une durée de 2 mois.*

Quelle masse minimum d'uranium 235 devra-t-il embarquer pour assurer son approvisionnement en énergie pendant cette durée ?

<u>Donnée :</u> *1 mois = $2,6 \times 10^{6}$ secondes*