Devoir maison 1

Plongée sous-marine

Si la plongée sous-marine apporte des joies multiples, elle présente aussi des dangers, liés aux aspects physiologiques et anatomiques du corps humain.

L'eau où le plongeur évolue est considérée comme un liquide homogène et incompressible, de masse volumique $\mu = 1,0.10^3 kg.m^{-3}$, en équilibre dans le champ de pesanteur g uniforme, avec $g = 10 m.s^{-2}$. La surface libre de l'eau (côte z = 0) est en contact avec l'atmosphère, de pression constante $P_{atm} = 1,0 \times 10^5\ Pa$.

1) On s'intéresse à un volume élémentaire $dV = dxdydz$ d'eau de mer à l'équilibre (Fig. 1). On notera $P(x,y,z)$ la pression de l'eau en un point de coordonnées (x,y,z).

Citer les forces s'exerçant sur ce volume élémentaire.

En traduisant l'équilibre de ce volume dV, montrer que la pression ne dépend pas des coordonnées x et y.

Donner alors l'expression de la résultante des forces s'exerçant sur dV en fonction de g, $\mu(z)$, $P\left(z-\frac{dz}{2}\right)$, $P\left(z+\frac{dz}{2}\right)$, dx, dy, dz et $\overrightarrow{u_z}$ vecteur unitaire de l'axe (Oz) ascendant. En déduire la relation fondamentale de la statique des fluides $\frac{dP}{dz} = -\mu g$.

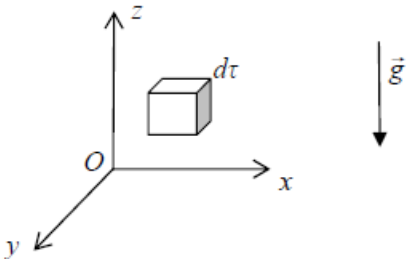

Figure 1 : Equilibre d'un volume élémentaire

2) Déterminer, littéralement et numériquement, la pression $P(z)$ de l'eau en un point de cote z ; tracer le graphe de $P(z)$.

3) On assimile l'air contenu dans les poumons du plongeur à un gaz parfait ; cet air est caractérisé par une pression $P(z)$ identique à celle de l'eau à la cote z, un volume $V(z)$ (capacité pulmonaire) variable (la cage thoracique se déforme sous l'effet de la pression), et enfin par une température T_i, constante et indépendante de la profondeur. Calculer la capacité pulmonaire (volume des poumons) du plongeur à une cote z sachant que celui-ci, avant de plonger, gonfle ses poumons à leur capacité maximale V_M puis bloque sa respiration.

Application numérique pour : $z = -10m$ et $V_M = 7,0.10^{-3} m^3$.

4) On définit le poids apparent du plongeur (et l'on nomme flottabilité) comme la résultante de la poussée d'Archimède et des forces de pesanteur. Comment varie la flottabilité lorsque la profondeur augmente ? diminue-t-elle ou augmente-t-elle ?

On appelle m la masse du plongeur, $V^*(z)$ le volume de son corps et V_0 le volume de son corps hors celui de la cage thoracique, de sorte que $V^*(z) = V_0 + V(z)$.

5) Afin de faciliter leur descente lors des premiers mètres, les plongeurs utilisent souvent un lest, plaque de plomb de volume négligeable, accrochée à une ceinture et facilement largable. Ce lest ne doit pas être trop lourd car un surlestage peut inciter à descendre à une profondeur excessive.
Quelle masse m_1 de lest choisir si l'on adopte comme règle de sécurité le fait que le plongeur doit avoir une flottabilité nulle à la profondeur de 10 mètres ?

Application numérique : $V_0 = 0,077 m^3$ et $m = 80 kg$.

La composition molaire de l'air est $x_{O_2} = 20\%$ et $x_{N_2} = 80\%$. Le plongeur respire un mélange gazeux dont la pression totale est égale à la pression de l'eau à la profondeur z. On rappelle que la pression partielle d'un gaz est la pression de ce gaz s'il était seul dans le volume qui lui est offert. La pression totale d'un mélange de gaz est la somme des pressions partielles de tous les gaz constituant ce mélange.

6) L'oxygène inhalé devient toxique si sa pression partielle augmente ; il existe même un risque d'œdème pulmonaire quand P_{O_2} atteint 1,5 bar. En déduire la profondeur maximum pouvant être atteinte sans danger par le plongeur, s'il respire de l'air.

7) Lorsque la pression partielle de l'azote atteint 4 bars, le plongeur est victime de « l'ivresse des profondeurs ». En déduire la nouvelle profondeur maximum.

8) On équipe le plongeur de bouteilles contenant de l'héliox, mélange d'oxygène et d'hélium. On donne : $x_{O_2} = 15\%$ et $x_{He} = 85\%$. Muni de ces bouteilles, le plongeur pourra-t-il atteindre sans risques le fond d'un lac de profondeur 50 m?