Exercice 1 :

Un plongeur souhaite renflouer, c'est-à-dire remonter à la surface, un oblet archéologique en granite de volume $V_{objet} = 120{,}0\ L$ à l'aide d'un parachute de levage de masse négligeable devant celle de l'objet.

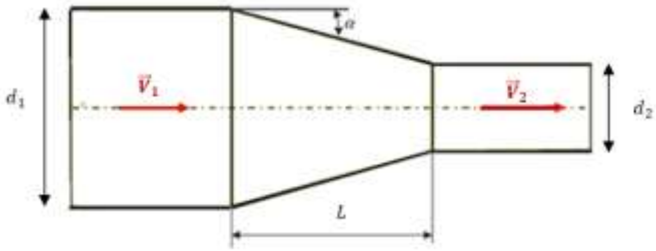
1- Calculer la valeur du poids de cet objet.
2- Justifier que l'objet reposait sur le fond marin.
3- Déterminer le volume minimal d'air à injecter dans le parachute de levage pour renflouer l'objet.

Données

Masses volumiques : $\rho_{eau-mer} = 1{,}03.10^3\ kg/m^3$; $\rho_{granite} = 2{,}60.10^3\ kg/m^3$

Exercice 2 :

Pour accélérer un écoulement d'eau horizontal de vitesse initiale V_1, afin qu'il sorte à l'air libre avec une vitesse d'écoulement de l'eau $V_2 = 2V_1$, on place un « convergent » qui fait un angle α avec l'horizontale.



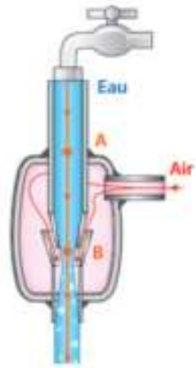
Données :

$\alpha = 20{,}0°$, $\rho_{eau} = 1{,}00.10^3\ kg.m^{-3}$
Débit volumique de l'eau $D_V = 100\ L/s$
Diamètre de la section droite à l'entrée du conduit
$d_1 = 200\ mm$
Pression de l'eau à la sortie du conduit
$P_2 = P_{atm} = 1{,}013.10^5\ Pa$

1- Déterminer le rayon R_2
2- Calculer la longueur L du « convergent »
3- Exprimer puis calculer la pression P1 à l'entrée du « convergent »

Exercice 3:

Une trompe à eau est dispositif qui permet d'obtenir une dépression par effet Venturi. Elle est souvent utilisée en chimie afin de réaliser des filtrations. La trompe se branche sur un robinet afin de faire circuler de l'eau dans une canalisation dont le diamètre diminue

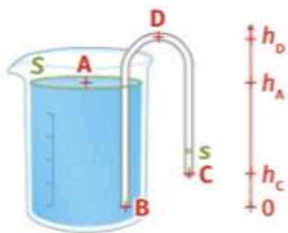


Extrait de la notice d'une trompe à eau en laiton chromé
Consommation d'eau : $330\ L/h$
Rayons intérieurs en A et B : $r_A = 1{,}0\ cm$; $r_B = 1{,}5\ mm$
Distance entre A et B : $10\ cm$

1- Montrer qu'en régime permanent indépendant du temps, le débit volumique D, de la trompe à eau est $9{,}17.10^{-5}\ m^3.s^{-1}$
2- Calculer la valeur v_A de la vitesse d'écoulement de l'eau en A
3- Calculer la valeur v_B de la vitesse d'écoulement de l'eau en B
4- Calculer la différence depression $\Delta P = P_B - P_A$ entre A et B
5- Justifier le sens de circulation de l'air dans la trompe à eau

Exercice 4:

On veut vider un verre d'eau de section S avec une paille de section s comme le schéma.



1- En écrivant la conservation du débit volumique, puis la relation de Bernouilli, exprimer le débit volumique sortant de la paille.
2- Donner une condition sur h_C pour que le verre puisse se vider.
3- Déterminer la condition sur les hauteurs h_D et h_C pour la pression en D soit nulle

EXERCICE 3. Cargo dirigeable (5 points)

Pour transporter des charges lourdes certaines startups travaillent sur des projets de ballons cargos dirigeables.

Ces « grues volantes » permettraient d'embarquer ou de livrer des charges dans des zones peu accessibles.

Grâce à un gaz porteur moins dense que l'air, un dirigeable peut voler de manière beaucoup plus économe en carburant qu'un hélicoptère ou un avion.

L'objectif de cet exercice est de vérifier la charge maximale embarquable dans un dirigeable et d'étudier un système permettant d'effectuer un chargement en vol stationnaire.

Dirigeable
www.flying-whales.com

Caractéristiques du dirigeable étudié :
- volume du dirigeable : $V = 180\,000\ \text{m}^3$;
- masse du dirigeable avant remplissage en gaz porteur : $m_\text{d} = 65\ \text{tonnes}$.

Partie 1. Étude de la charge maximale embarquée

Données :
- masse molaire de l'hélium : $M_\text{He} = 4{,}0\ \text{g·mol}^{-1}$;
- constante des gaz parfaits : $R = 8{,}314\ \text{J·K}^{-1}\text{·mol}^{-1}$;
- conversion entre les échelles de température : $T(\text{K}) = \theta(°\text{C}) + 273$;
- $1{,}0\ \text{bar} = 1{,}0 \times 10^5\ \text{Pa}$;
- intensité de la pesanteur : $g = 9{,}8\ \text{m·s}^{-2}$.

On fait l'hypothèse que le dirigeable a été entièrement rempli d'hélium, se comportant comme un gaz parfait, sous une pression de $P = 1{,}1\ \text{bar}$ et à la température $\theta = 25\ °\text{C}$.

Q1. Montrer que la valeur de la masse d'hélium embarqué dans le dirigeable est proche de $m_\text{He} = 32\ \text{tonnes}$.

Q2. Parmi les relations suivantes, choisir, en justifiant, celle donnant l'expression vectorielle de la poussée d'Archimède $\overrightarrow{P_a}$ exercée par l'air sur le dirigeable.

$\overrightarrow{P_a} = \rho_\text{air} \cdot V \cdot \vec{g}$ $\qquad$ $\overrightarrow{P_a} = m_\text{air} \cdot V \cdot \vec{g}$ $\qquad$ $\overrightarrow{P_a} = -\rho_\text{air} \cdot V \cdot \vec{g}$

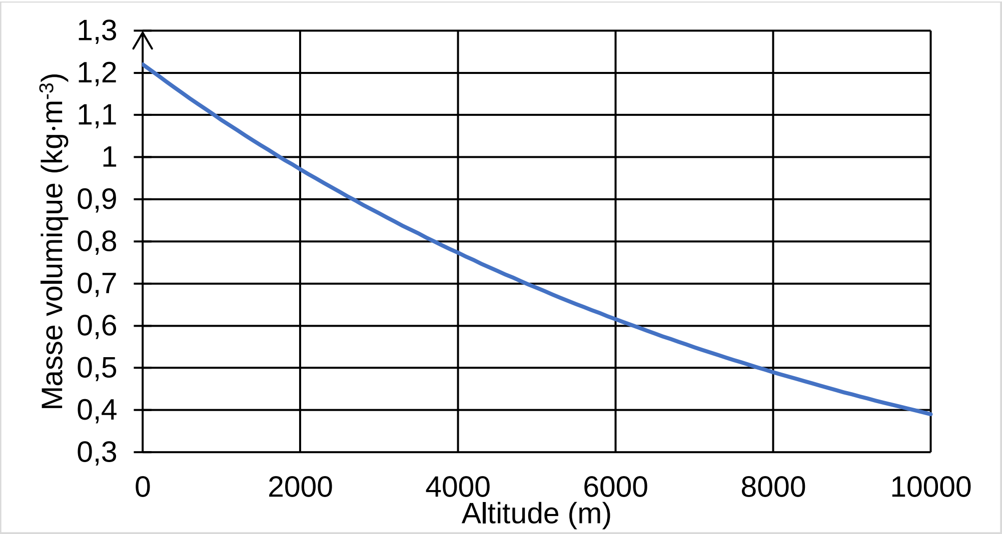


Figure 1. Représentation de l'évolution de la masse volumique de l'air en fonction de l'altitude

Q3. Calculer la valeur de la poussée d'Archimède exercée par l'air sur le dirigeable à une altitude de $3000\ \mathrm{m}$.

Q4. Préciser comment l'intensité de cette force évolue en fonction de l'altitude.

On étudie le système {dirigeable} dans le référentiel terrestre supposé Galiléen.

Q5. À l'aide d'une des lois de Newton que l'on citera, déterminer la relation entre le poids $\vec{P}$ du système et la poussée d'Archimède $\overrightarrow{P_a}$ qu'il subit lorsqu'il vole en ligne droite, à altitude et vitesse constante.

Q6. Vérifier que la charge maximale transportable par ce dirigeable à $3000\ \mathrm{m}$ d'altitude est proche de $60\ \mathrm{tonnes}$.

Partie 2. Chargement d'un tronc d'arbre

Un des défis à résoudre pour le transport de charge lourde est de pouvoir charger ou décharger le dirigeable en vol stationnaire, en quelques minutes.

Une des solutions technologiques envisagée est un transfert d'eau. À son départ, le dirigeable possède un réservoir rempli d'eau. Pour embarquer la charge en vol stationnaire, le dirigeable vide son réservoir d'une masse d'eau équivalente à la masse de la charge afin de rester fixe par rapport au sol.

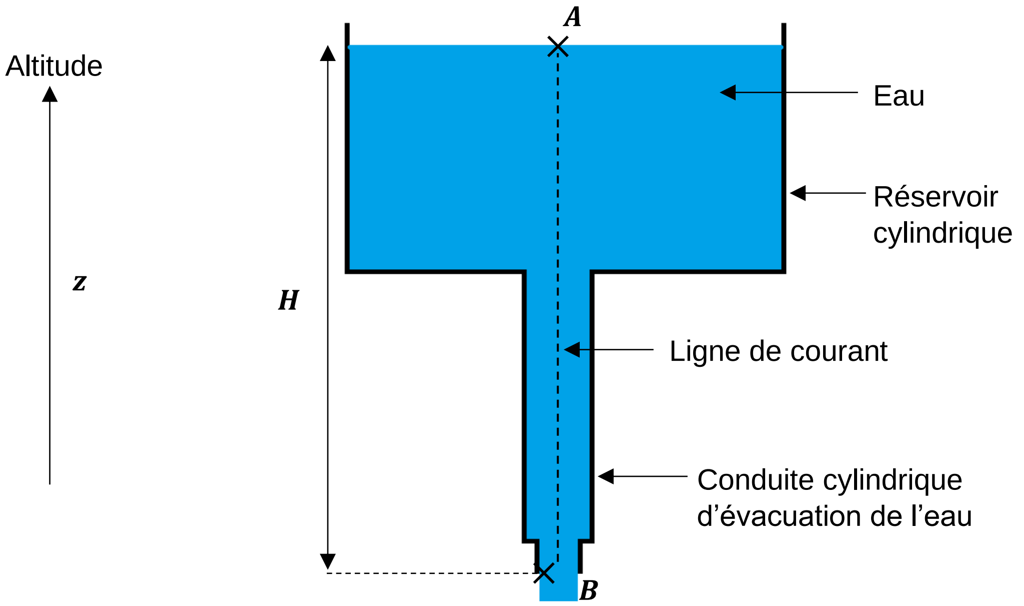


Figure 2. Schéma de principe du réservoir d'eau embarqué dans le dirigeable.

Données :

- diamètre du réservoir en A : $d_A = 3{,}0\ \mathrm{m}$;
- diamètre du conduit au niveau de la sortie d'eau en B : $d_B = 15\ \mathrm{cm}$;
- masse volumique de l'eau : $\rho_{\mathrm{eau}} = 1000\ \mathrm{kg{\cdot}m^{-3}}$;
- hauteur H entre les points A et B : $H = 30\ \mathrm{m}$;
- l'écoulement d'un fluide incompressible en régime permanent peut être modélisé par la relation de Bernoulli. Sur une ligne de courant :

$$P + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot z = \mathrm{constante}\,,$$

avec P la pression du fluide (en Pa), ρ la masse volumique du fluide (en $\mathrm{kg{\cdot}m^{-3}}$), v la vitesse d'écoulement du fluide (en $\mathrm{m{\cdot}s^{-1}}$) et z l'altitude (en m) ;

– dans une conduite, la relation entre le débit volumique D_V (en $\mathrm{m^3{\cdot}s^{-1}}$), la vitesse d'écoulement v (en $\mathrm{m{\cdot}s^{-1}}$) d'un fluide incompressible en régime permanent et S l'aire de la section du conduit (en $\mathrm{m^2}$) est donnée par :

$$D_V = v \cdot S.$$

L'eau sera considérée comme un fluide incompressible, son écoulement s'effectue en régime permanent.

Q7. En exploitant la conservation du débit volumique, montrer que la vitesse d'écoulement v_{A} au point A est négligeable par rapport à la vitesse d'écoulement v_{B} au point B.

Q8. En appliquant la relation de Bernoulli sur la ligne de courant entre les points A et B et sachant que les pressions du fluide en A et B sont égales à la pression atmosphérique, montrer que la vitesse d'écoulement v_{B} du fluide en B est donnée par l'expression :

$$v_{\mathrm{B}} = \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

On envisage la charge d'un morceau de bois de $m_{\mathrm{bois}} = 8\ \mathrm{tonnes}$.

Q9. Déterminer la durée minimale nécessaire pour la vidange de l'eau nécessaire au chargement de ce morceau de bois dans le dirigeable. Commenter le résultat obtenu.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et doit être correctement présentée.