Thème 2 : Mouvements et interactions

Partie 3. Modéliser l'écoulement d'un fluide

CHAP 15-EXOS mécanique des fluides

Exercices en autonomie: EC p403 n°3*-6*-7*/QCM p.413 n°9 à 16/ER p414 n°17-18-19-20/EC p418 n°22*-24*-26*-28*-30*-31*

Exercices p.418 et suiv: n°23-27-29-30*-33-35-38-42

23 La pierre ponce est une roche volcanique poreuse dont la masse volumique moyenne peut être inférieure à celle de l'eau. Un cube de pierre ponce de côté $c = 3{,}1$ cm a pour masse $m = 27$ g.

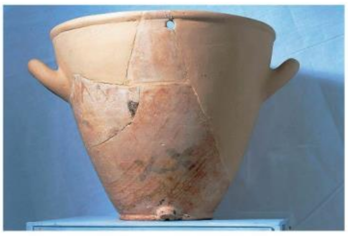
1. Calculer le volume V du cube et en déduire la masse volumique ρ_{pp} de la pierre ponce.

2. On plonge entièrement le cube dans l'eau douce.

a. Déterminer le poids $\vec{P}$ et la poussée d'Archimède $\vec{A}$ subies par le cube.

b. On lâche le cube. Va-t-il remonter à la surface ou couler ?

27 Une clepsydre est un récipient qu'on emplit d'eau et possédant un petit orifice à sa base. La différence d'altitude entre un point A à la surface de l'eau et l'orifice B de sortie est $z_A - z_B = H = 12$ cm. La pression qui règne en ces deux points est égale à P_0, la pression atmosphérique. La vitesse v_A de descente de la surface de l'eau dans la clepsydre est négligeable devant la vitesse v_B de l'eau à la sortie de l'orifice.



- Par application de la relation de Bernoulli entre A et B, calculer la vitesse v_B de sortie de l'eau.

29 Un liquide incompressible et parfait de masse volumique $\rho = 850$ kg·m^{-3} s'écoule dans une canalisation horizontale, avec un débit $D_V = 1{,}5$ L·s^{-1}.
La section de la canalisation passe de $S_A = 12$ cm^2 au point A à $S_B = 3{,}0$ cm^2 au point B.
On note P_A et P_B les pressions et v_A et v_B les vitesses en ces deux points.
La pression en A vaut $P_A = 1{,}0 \times 10^5$ Pa.

a. Calculer les vitesses v_A et v_B.

b. Par application de la relation de Bernoulli entre A et B, calculer la pression P_B.

c. Nommer l'effet mis en évidence.

30 Scaphandrier

Exploiter un énoncé

Pour marcher au fond de l'eau, un scaphandrier utilise des semelles de plomb. On assimile une de ces semelles à un parallélépipède rectangle dont la masse volumique est $\rho_{Pb} = 11{,}3 \times 10^3$ kg·m^{-3}.

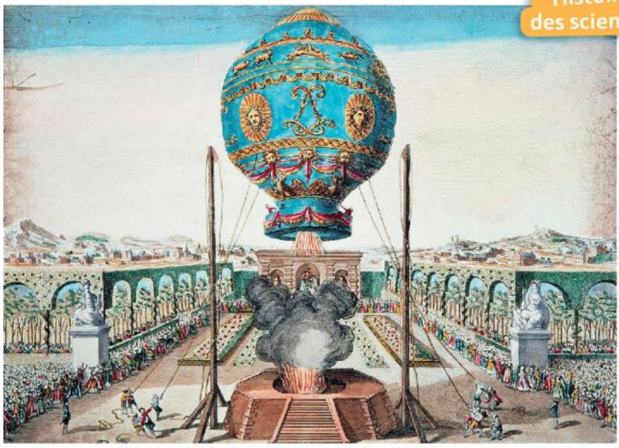
- Pourquoi cette semelle coule-t-elle quand on l'immerge dans l'eau ?

33 Premier vol habité en montgolfière BAC

Effectuer un calcul

Le 19 octobre 1793, dans le quartier du faubourg Saint-Antoine à Paris, eut lieu le premier vol habité (captif) à bord d'une montgolfière, réalisation des frères Montgolfier, formée d'une enveloppe de toile de coton et de papier, gonflée à l'air chaud.

Histoire des sciences



Le volume de la montgolfière est estimé à $V = 2\,200$ m^3, la masse de l'enveloppe, de la nacelle et de son passager (Jean-François Pilâtre de Rozier), à $m = 500$ kg. On note m_{ac} la masse de l'air chaud qu'elle contient. La montgolfière s'est élevée dans l'air de masse volumique $\rho_a = 1{,}23$ kg·m^{-3}.

a. Préciser la direction et le sens, et calculer la norme de la poussée d'Archimède $\vec{A}$ exercée sur le système formé de la montgolfière, de l'air chaud qu'il contient et de son passager.

b. En supposant que ce système est resté quelques instants en équilibre mécanique à son altitude maximale de 81 m, exprimer son poids.

En déduire la masse totale du système.

c. Calculer la masse m_{ac} de l'air chaud et en déduire sa masse volumique ρ_{ac}.

d. L'équation d'état du gaz parfait (Chapitre 15) permet de calculer la température de l'air chaud : $T = \dfrac{PM}{\rho_{ac}R}$

Calculer la valeur de la température T avec :

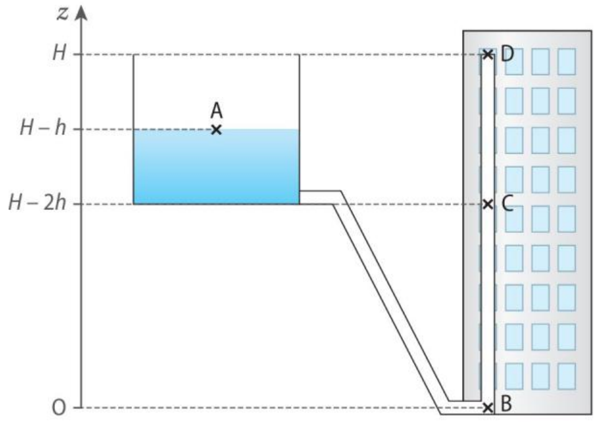
$M = 29$ g·mol^{-1}, $P = 1{,}0 \times 10^5$ Pa et R $= 8{,}3$ J·K^{-1}·mol^{-1}.

35 Alimentation en eau d'un gratte-ciel

Exploiter un énoncé

Simulateur
Mécanique des fluides
hatier-clic.fr/pct420

La figure ci-dessous schématise un gratte-ciel de hauteur $H = 150$ m. L'axe (Oz) est vertical, dirigé vers le haut, et le point O est au pied de l'immeuble.



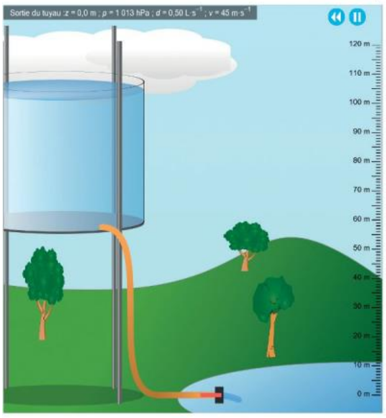
Un réservoir d'eau contient une hauteur d'eau h, A est un point de la surface de l'eau, à l'altitude $H - h$. La hauteur d'eau h restant constante, la vitesse v_A de l'eau en ce point est nulle. B, C et D désignent trois robinets, dont la section de sortie a pour aire $s = 11$ mm^2, aux altitudes respectives $z_B = 0$ m, $z_C = H - 2h$ et $z_D = H$.

L'eau est assimilée à un fluide incompressible et non visqueux. La pression atmosphérique $P_0 = 1{,}0 \times 10^5$ Pa est supposée uniforme dans l'air.

Lors de l'écoulement de l'eau par un robinet, on se place en régime permanent.

1. On ouvre le robinet B. C et D restent fermés.

a. Par application de la relation de Bernoulli entre A et B, exprimer la vitesse de sortie v_B de l'eau par ce robinet en fonction de H, h et g. En déduire le débit $D_{V,B}$ sortant du robinet B en fonction de H, h, g et s.



b. On voudrait remplir un seau de volume $V = 5{,}0$ L en une durée $\Delta t_B = 10$ s.
Calculer la valeur de h.

c. Vérifier cette valeur en utilisant le simulateur disponible à l'adresse hatier-clic.fr/pct420.

2. On ouvre le robinet C et on ferme B et D.

a. Grâce au simulateur, déterminer le débit $D_{V,C}$ de l'eau sortant du robinet C.

b. En déduire la durée de remplissage Δt_C du seau de volume $V = 5{,}0$ L.

3. On ouvre le robinet D et on ferme B et C.
On suppose que l'eau s'écoule en D.

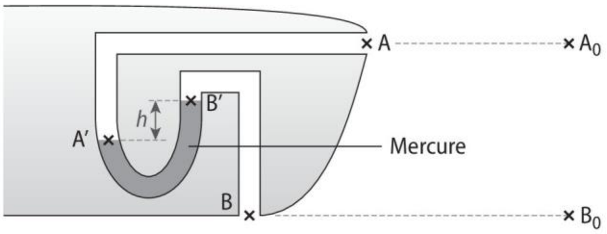
a. Par application de la relation de Bernoulli, exprimer $v_D{}^2$ en fonction de ρ, h et g.

b. Que peut-on en conclure ?

38 Mesure de la vitesse d'un avion par tube de Pitot

Utiliser ses connaissances

Un avion se déplace à la vitesse constante $\vec{v}$ par rapport à l'air qui l'entoure. Dans le référentiel de l'avion, tout se passe comme si l'avion était immobile et l'air se déplaçait à la vitesse $-\vec{v}$ par rapport à l'avion.
Cet avion est muni d'une « sonde à tube de Pitot » : un premier tuyau débouche à l'avant de la sonde et un second sur son flanc.
Le dispositif est décrit dans le schéma ci-dessous.



On travaille dans le référentiel de l'avion.
L'air est assimilé à un fluide incompressible, de masse volumique $\rho_{air} = 1{,}2\ \text{kg·m}^{-3}$, et non visqueux.
Le point A, sur le nez de l'appareil, forme un point d'arrêt car l'air ne peut pas aller plus loin dans le tube : la vitesse de l'air vaut $\vec{v}_A = \vec{0}$.
Au niveau du point B, l'air glisse le long de la carlingue à la vitesse $\vec{v}_B = -\vec{v}$.

a. On considère la ligne de courant horizontale qui joint un point A_0 très loin de l'avion et le point A. La pression en A_0 est égale à la pression atmosphérique P_0.
Par application de la relation de Bernoulli le long de cette ligne, déterminer la pression P_A au point A.

b. On considère la ligne de courant horizontale qui joint un point B_0 très loin de l'avion et le point B. La pression en B_0 est égale à la pression atmosphérique P_0.
Par application de la relation de Bernoulli le long de cette ligne, déterminer la pression P_B au point B.

c. Pour permettre la mesure de la différence de pression entre les points A et B, le dispositif comporte un tube en U relié aux deux tuyaux et dans lequel on place du mercure de masse volumique $\rho_{Hg} = 13{,}5 \times 10^3\ \text{kg·m}^{-3}$.
On admet que les pressions de part et d'autre de la colonne de mercure valent $P_{A'} = P_A$ et $P_{B'} = P_B$.
En plein vol, on observe une différence d'altitude $h = z_{B'} - z_{A'}$ entre les points A′ et B′.
On travaille dans le référentiel de l'avion. Les points A′ et B′ sont immobiles et, dans ce cas, la relation de Bernoulli s'apparente à la loi de la statique des fluides.
En déduire la relation entre $P_{A'}$, $P_{B'}$, ρ_{Hg}, g et h.

d. On mesure une différence d'altitude $h = 7{,}8$ cm.
Calculer la vitesse v de l'avion.

Pour info

Le tube de Pitot n'est pas adapté à la mesure de vitesse des avions supersoniques (dont la vitesse est supérieure ou égale à Mach 1) car l'hypothèse d'incompressibilité de l'air n'est plus valable dans ce cas.

42 L'accident et le naufrage du Titanic

Le 14 avril 1912, le navire Titanic a été éventré par un éperon de glace d'un iceberg.

1. Flottaison de l'iceberg

Un iceberg, modélisé par un cylindre de glace, d'axe vertical, de hauteur H_g et de section d'aire S_g, est à l'équilibre à la surface de la mer. La hauteur immergée vaut h_g.

1.1. Exprimer le poids $\vec{P}$ du cylindre et la poussée d'Archimède $\vec{A}$ exercée sur lui par l'eau de mer.

1.2. Calculer la valeur du quotient $\frac{h_g}{H_g}$.

1.3. Le volume total de l'iceberg est noté V_g, son volume immergé, V_i. Calculer le quotient $\frac{V_i}{V_g}$.

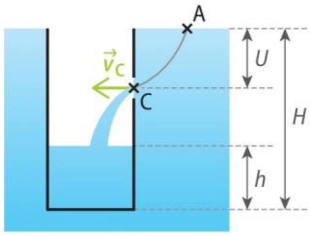
1.4. Le dessin ci-contre, publié en 1912, donne la forme présumée de l'iceberg que le commandant du Titanic a pensé contourner.

Proposer une explication à l'imprudence du capitaine et à l'éventration de la coque.

2. Flottaison du navire

Le Titanic est modélisé par une coque cylindrique de masse $M = 52 \times 10^3$ t, de hauteur $H = 25$ m, fermée à sa base et ouverte en haut, de base d'aire $S = 4{,}0 \times 10^3$ m^2.

Il présente une voie d'eau modélisée par un orifice de centre C et d'aire $s = 1{,}8$ m^2 par lequel l'eau entre et s'accumule dans la coque. On note h la hauteur d'eau dans la coque et on se place à la limite de flottaison, la coque étant presque totalement immergée.



2.1. Exprimer le poids $\vec{P}$ du système {coque ; eau}.

2.2. Exprimer la poussée d'Archimède $\vec{A}$ exercée sur ce système.

2.3. En déduire la hauteur d'eau maximale dans la coque h_{max} pour laquelle le navire ne coule pas.

3. Estimation de la durée du naufrage

La date t est mesurée depuis la création de la voie d'eau. Malgré l'enfoncement progressif du navire, on suppose pour simplifier que la profondeur de la voie d'eau est constante, soit $U = 10$ m.

3.1. En considérant la ligne de courant (AC), calculer la vitesse v_C de l'eau en C.

3.2. En déduire le débit volumique D_V de l'eau entrant dans la coque.

3.3. En déduire le volume $V(t)$ et la hauteur $h(t)$ d'eau dans la coque à la date t.

3.4. Calculer la date t à laquelle le navire coule.

DES CLÉS POUR RÉUSSIR

1.4. Il faut utiliser les résultats des questions précédentes, le schéma donné, et s'appuyer sur ceux-ci pour expliquer les deux points évoqués.

3.4. Cette question nécessite la synthèse des résultats des questions précédentes de l'exercice.