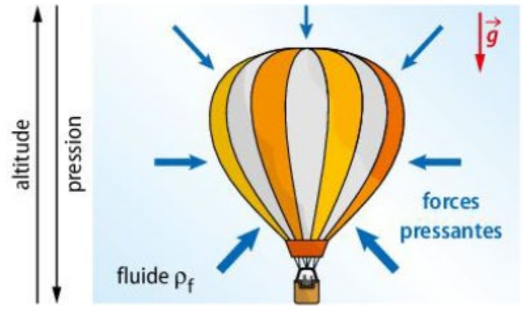
1 La poussée d'Archimède

Origine | **Modélisation** | **Expression**



poussée d'Archimède de valeur π (**N**)

volume du fluide déplacé (**m³**)

$$\vec{\pi} = -\rho_f \cdot V \cdot \vec{g}$$

champ de pesanteur terrestre d'intensité g (**N · kg⁻¹** ou **m · s⁻²**)

masse volumique du fluide (**kg · m⁻³**)

2 Écoulement d'un fluide incompressible

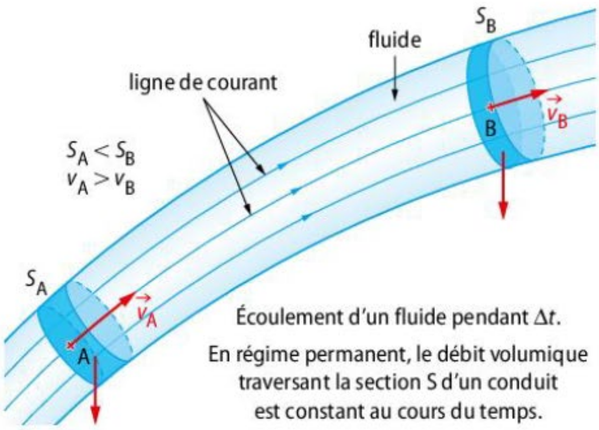
Le **débit volumique** d'un fluide dépend de la vitesse du fluide et de la section du conduit :

$$Q = \frac{V}{\Delta t} = v \cdot S$$

- débit volumique (**m³ · s⁻¹**) : Q
- volume de fluide écoulé (**m³**) : V
- vitesse du fluide (**m · s⁻¹**) : v
- aire de la section du conduit (**m²**) : S
- durée de l'écoulement (**s**) : Δt

Conservation du débit volumique

$Q_{(A)} = Q_{(B)}$ (en régime permanent, le long d'une ligne de courant)



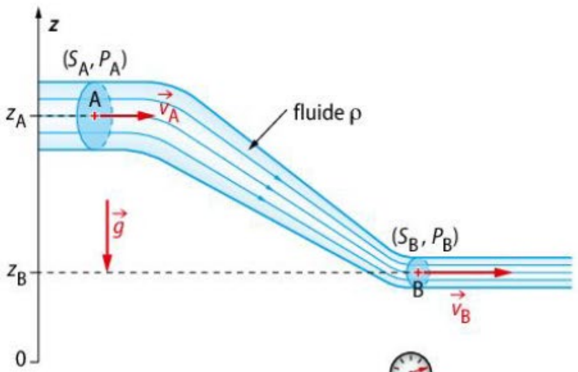
Écoulement d'un fluide pendant Δt.
En régime permanent, le débit volumique traversant la section S d'un conduit est constant au cours du temps.

3 Relation de Bernoulli et conséquences

Lors de l'écoulement d'un fluide incompressible en régime permanent les évolutions de la pression, de la vitesse et de l'altitude le long d'une ligne de courant sont modélisées par la **relation de Bernoulli** :

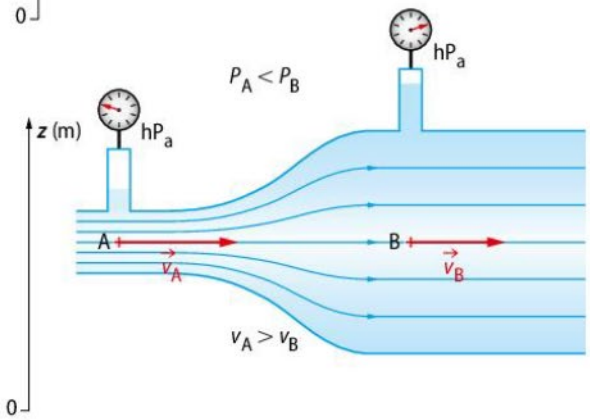
$$P + \frac{1}{2}\rho\, v^2 + \rho \cdot g \cdot z = \text{constante}$$

- pression du fluide (**Pa**) : P
- masse volumique du fluide (**kg · m⁻³**) : ρ
- vitesse du fluide (**m · s⁻¹**) : v
- intensité de pesanteur (**N · kg⁻¹**) : g
- altitude (**m**) : z



Effet Venturi

En régime permanent, la pression P d'un fluide diminue lorsque sa vitesse v augmente.

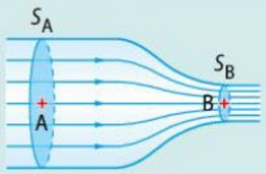


QCM

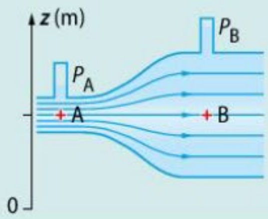
1 La poussée d'Archimède

	A	B	C
1 La poussée d'Archimède a pour origine :	l'attraction exercée par la Terre.	les variations de la pression au sein d'un fluide.	les frottements exercés par un fluide.
2 La poussée d'Archimède est une force :	toujours verticale et dirigée vers le bas.	de valeur égale à celle du poids du volume de fluide déplacé.	dont la valeur dépend de la masse volumique du corps immergé.
3 Pour un corps de volume V et de masse volumique ρ plongé dans un fluide de masse volumique ρ_f, l'expression vectorielle de la poussée d'Archimède $\vec{\pi}$ est :	$\vec{\pi} = -\rho \cdot V \cdot \vec{g}$	$\vec{\pi} = \rho_f \cdot V \cdot \vec{g}$	$\vec{\pi} = -\rho_f \cdot V \cdot \vec{g}$

2 Écoulement d'un fluide incompressible

	A	B	C
4 Le débit volumique d'un fluide traversant la section d'un conduit est proportionnel :	au volume V écoulé et à la durée d'écoulement Δt.	à la vitesse v du fluide qui s'écoule.	à l'aire S de la section du conduit.
5 En régime permanent, l'écoulement d'un fluide traversant la section d'un conduit est caractérisé par :	un débit volumique et une vitesse du fluide constants.	un débit volumique constant mais une vitesse du fluide pouvant varier.	un débit volumique et une vitesse du fluide pouvant varier.
6 Dans l'écoulement suivant : 	$Q_{(A)} > Q_{(B)}$ et $v_A < v_B$	$Q_{(A)} = Q_{(B)}$ et $v_A = v_B$	$Q_{(A)} = Q_{(B)}$ et $v_A < v_B$

3 Relation de Bernoulli et conséquences

	A	B	C
7 Pour l'écoulement d'un fluide incompressible en régime permanent, la relation de Bernoulli pour tout point d'une ligne de courant :	relie la pression au volume et à l'altitude.	relie la pression à la vitesse et à l'altitude.	relie le poids à la vitesse et à l'altitude.
8 À altitude constante, la relation de Bernoulli :	permet de modéliser l'effet Venturi.	s'écrit $P + \frac{1}{2}\rho\, v^2$ = constante.	s'écrit $(P_A - P_B) = \frac{1}{2}\rho \cdot (v_A^2 - v_B^2)$.
9 Dans l'écoulement suivant, l'effet Venturi se traduit par : 	$v_A > v_B$ et $P_A > P_B$	$v_A = v_B$ et $P_A = P_B$	$v_A > v_B$ et $P_A < P_B$

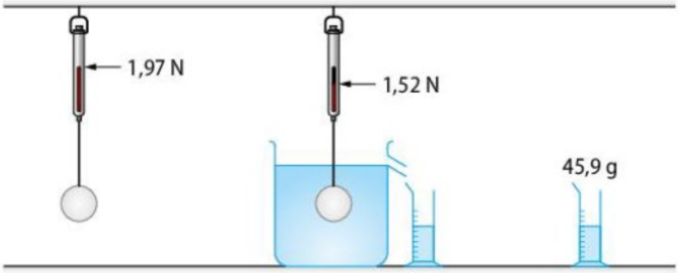
DONNÉES

- $g = 9{,}81\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$; $\rho_{\text{eau de mer}} = 1\,025\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$;
$\rho_{\text{eau}} = 1{,}0 \times 10^3\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3} = 1{,}0\ \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$;
$\rho_{\text{ethanol}} = 0{,}79\ \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$

11 Valeur de la poussée d'Archimède

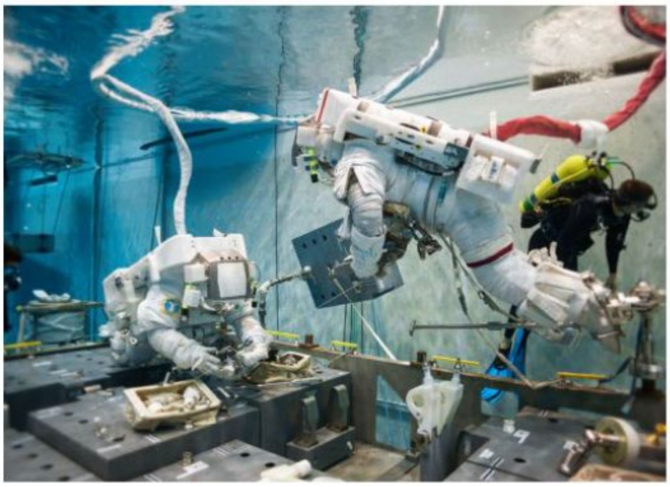
1. Qu'appelle-t-on poussée d'Archimède $\vec{\pi}$? En donner les caractéristiques (direction, sens et valeur)

2. À partir des expériences suivantes, déterminer de deux manières différentes la valeur π de la poussée d'Archimède qui modélise l'action du fluide sur le corps immergé.



12 Entraînement des spationautes

Afin de simuler l'état d'impesanteur, les spationautes équipés de leur combinaison s'entraînent aux exercices dans l'espace dans une piscine.



1. Calculer la valeur P_1 du poids et π de la poussée d'Archimède exercée sur un spationaute ($V = 0{,}19\ \text{m}^3$, $m = 200\ \text{kg}$) entièrement immergé.

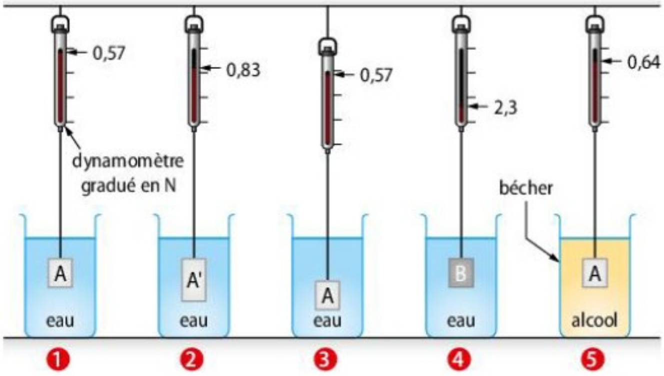
2. Représenter ces forces sur un schéma en choisissant une échelle adaptée.

3. En déduire le poids apparent P_2 ressenti par le spationaute. À quelle masse cela correspondrait-il hors de l'eau ?

13 Paramètres d'influence de la poussée d'Archimède

1. Écrire l'expression vectorielle de la poussée d'Archimède. Préciser le nom et l'unité de chaque grandeur.

Pour tester cette expression, on réalise la série d'expériences suivantes.



	A'	A	B
Matériau	Aluminium		Acier
Volume	$V_2 = 50$ mL	$V_1 = 34$ mL	
Masse	$m_{A'} = 135$ g	$m_A = 91{,}8$ g	$m_B = 267$ g

2. Calculer la valeur du poids P de chaque cylindre A, A' et B.

3. a. Identifier les paramètres mis en jeu au cours des différentes expériences.

b. Indiquer en justifiant ceux qui ont une influence sur la valeur de la poussée d'Archimède.

c. Ces résultats valident-ils l'expression de la poussée d'Archimède ?

14 À la station-service

1. a. Estimer la durée nécessaire pour faire le plein en carburant d'un véhicule dont le volume du réservoir est de 50 L.

b. Définir le débit volumique Q d'un fluide et calculer la valeur de celui produit par la pompe à carburant.

c. Comparer le résultat obtenu à la valeur du débit moyen d'une pompe standard : $Q = 4{,}0 \times 10^{-4}\ \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

2. Le diamètre intérieur du tuyau de refoulement est de 16 mm.

a. Calculer l'aire S d'une section droite du tuyau.

b. Écrire l'expression littérale permettant de déterminer la vitesse v du carburant dans le tuyau. En déduire sa valeur.

15 Circulation sanguine

Le sang a un débit volumique moyen d'environ $5\ \text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ chez l'adulte.

1. a. Définir le débit volumique d'un fluide en régime permanent.

b. Exprimer la valeur du débit volumique sanguin dans l'unité du système international.

2. a. Quel volume de sang traverse chaque seconde une section de l'artère aorte de $2{,}5\ \text{cm}^2$?

b. À quelle vitesse le sang s'y écoule-t-il ?

3. Une artériosclérose (maladie liée à une accumulation de lipides et tissus fibreux) conduit à une diminution locale du diamètre de l'artère.

a. Le débit volumique sanguin en est-il modifié ?

b. La vitesse du sang y est-elle identique, plus importante, plus faible que dans une artère saine ? Justifier la réponse.

17 Nettoyeur haute pression

On considère le nettoyeur haute pression suivant :

1. Quelle doit être l'aire S_A de la section de la buse pour que la vitesse v_A de l'eau en sortie soit de 125 m · s^{-1} ?

2. a. Traduire la conservation du débit volumique par une relation liant S_A, v_A, S_B (l'aire de la section du flexible) et v_B (la vitesse de l'eau dans le flexible).

b. En déduire la vitesse v_B.

DONNÉES

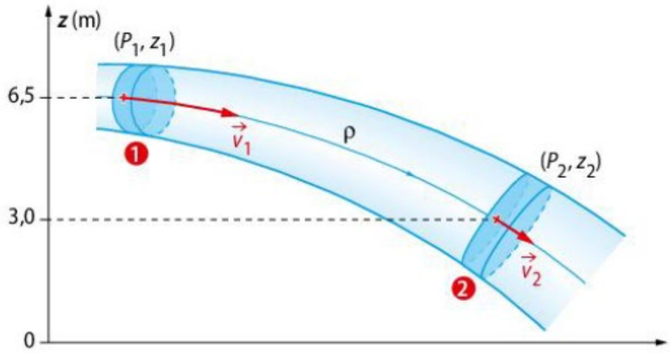
- Relation de Bernoulli :

$P + \frac{1}{2}\rho\, v^2 + \rho \cdot g \cdot z = \text{constant}$;

$\rho_{eau} = 1{,}0 \times 10^3$ kg · m^{-3} ; $g = 9{,}81$ N · kg^{-1}

19 Écoulement sans frottement

On considère une quantité d'eau en écoulement entre les deux positions 1 et 2 situées sur une même ligne de courant et présentées sur la figure ci-dessous.



Les données sont les suivantes :

$P_1 = 1{,}0 \times 10^5$ Pa, $v_1 = 1{,}0$ m · s^{-1}, $v_2 = 4{,}5 \times 10^{-1}$ m · s^{-1}.

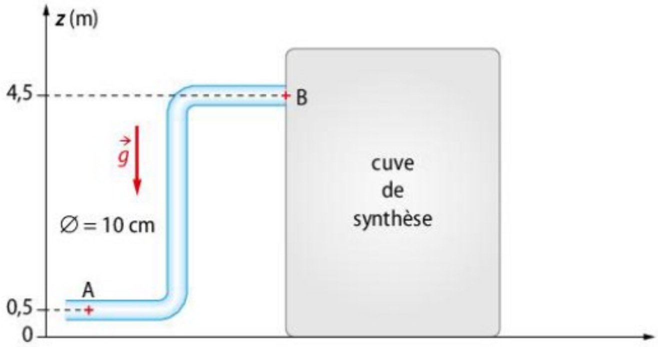
1. Appliquer la relation de Bernoulli à l'écoulement du fluide entre les positions 1 et 2.

2. En déduire l'expression littérale donnant la pression P_2 du fluide puis calculer sa valeur.

21 Chimie industrielle de synthèse

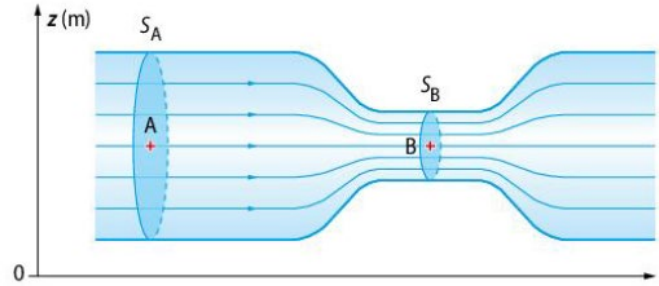
De l'acétone ($\rho = 784$ kg · m^{-3}) s'écoule du point A au point B d'une canalisation industrielle de diamètre constant avec un débit volumique de 0,75 L · s^{-1} dont l'écoulement est modélisé par le schéma ci-dessous. La pression en A vaut 3,5 bar.

Calculer la pression de l'acétone en B en appliquant la relation de Bernoulli et en détaillant les étapes du raisonnement (expressions littérales et applications numériques).



22 Rétrécissement d'un écoulement

Un fluide incompressible de masse volumique $\rho = 825$ kg · m^{-3} s'écoule dans le tube de courant suivant.



Les données sont les suivantes :

$v_A = 4{,}5$ m · s^{-1}, $P_A = 1\,002$ hPa et $P_B = 987$ hPa.

1. À travers quelle section (S_A ou S_B) la vitesse du fluide est-elle la plus élevée ? Justifier la réponse.

2. a. Appliquer la relation de Bernoulli entre les deux sections S_A et S_B en considérant les points A et B qui se trouvent sur la même ligne de courant.

b. En déduire la valeur de la vitesse v_B du fluide traversant la section S_B. Le résultat valide-t-il la réponse en 1 ?

Faire le point avant d'aller plus loin

PRÉPA BAC

Pour vérifier ses connaissances, répondre aux questions suivantes (sans regarder le cours !)

- Expliquer qualitativement l'origine de la poussée d'Archimède.
- Écrire l'expression de la poussée d'Archimède en explicitant chaque grandeur et son unité.
- Définir le débit volumique d'un fluide en régime permanent.
- Nommer chaque grandeur de la relation de Bernoulli et donner son unité : $P + \frac{1}{2}\rho\, v^2 + \rho \cdot g \cdot z = \text{constante}$.
- Écrire la relation liant le débit volumique d'un fluide et sa vitesse d'écoulement en explicitant chaque grandeur et son unité.
- Effectuer le bilan des actions mécaniques qui agissent sur un corps immobile immergé dans un fluide.
- Expliquer comment déterminer la vitesse d'un fluide à partir de la conservation du débit volumique en régime permanent.
- Expliquer pourquoi lors de l'écoulement d'un fluide incompressible en régime permanent si $S_B < S_A$ alors $v_B > v_A$.

26 Ascension de Félix Baumgartner

En 2012, Félix Baumgartner s'est élevé à près de 40 km d'altitude grâce à un ballon déformable gigantesque.

Données :

- *Volume d'hélium utilisé au sol : 5 100 m³ (soit près du double du volume nécessaire pour la sustentation(1)).*
- *Masse totale (équipage, ballon et hélium) : environ 3 tonnes.*

$\rho_{troposphère} = 1{,}2\ kg \cdot m^{-3}$ $g = 9{,}81\ N \cdot kg^{-1}$ *au niveau du sol.*

(1) Sustentation : état d'un corps maintenu au-dessus d'une surface, sans contact avec celle-ci.

1. a. Expliquer qualitativement l'origine de l'action responsable de l'ascension du ballon.

b. Illustrer par un schéma, sans souci d'échelle mais cohérent avec la situation, les forces modélisant les actions qui s'exercent sur le système (ballon + équipage) juste après le décollage, en négligeant les frottements.

2. Vérifier par un calcul que :

a. le ballon peut décoller ;

b. un volume initial d'hélium de 5 100 m³ correspond bien au « double du nécessaire pour la sustentation ».

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- Les données indiquent la masse totale du système à prendre en compte.
- L'énoncé définit l'état de sustentation.

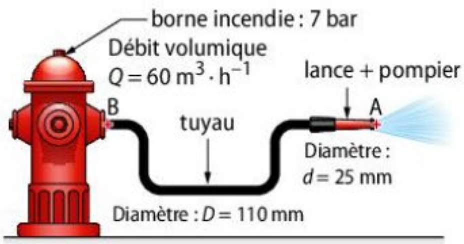
LES VERBES D'ACTION

- **Expliquer qualitativement :** donner une justification à une observation ou une affirmation sans faire de calcul.
- **Illustrer :** dessiner symboliquement des notions.
- **Vérifier :** Effectuer un raisonnement logique pour confirmer un résultat.

28 Lance à incendie

On considère la situation représentée par le schéma ci-contre.

Données : *P_{atm} = 1 013 hPa ; ρ_{eau} = 1 000 kg · m⁻³ ; relation de Bernoulli :* $P + \frac{1}{2}\rho\, v^2 + \rho \cdot g \cdot z = \text{constante}$.



1. a. Calculer, à partir du débit volumique, la valeur de la vitesse v_B de l'eau à la sortie de la borne incendie.

b. Appliquer la conservation du débit volumique à l'écoulement pour la vitesse v_A de l'eau éjectée en sortie de lance.

2. a. Appliquer la relation de Bernoulli entre les points A et B situés sur une même ligne de courant.

b. En déduire la valeur de la pression P_B de l'eau à la sortie de la borne et la **comparer** à celle de l'énoncé.

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- La valeur du débit volumique est précisée dans l'énoncé.
- Les données fournissent la relation de Bernoulli dans le cas général d'un écoulement permanent.

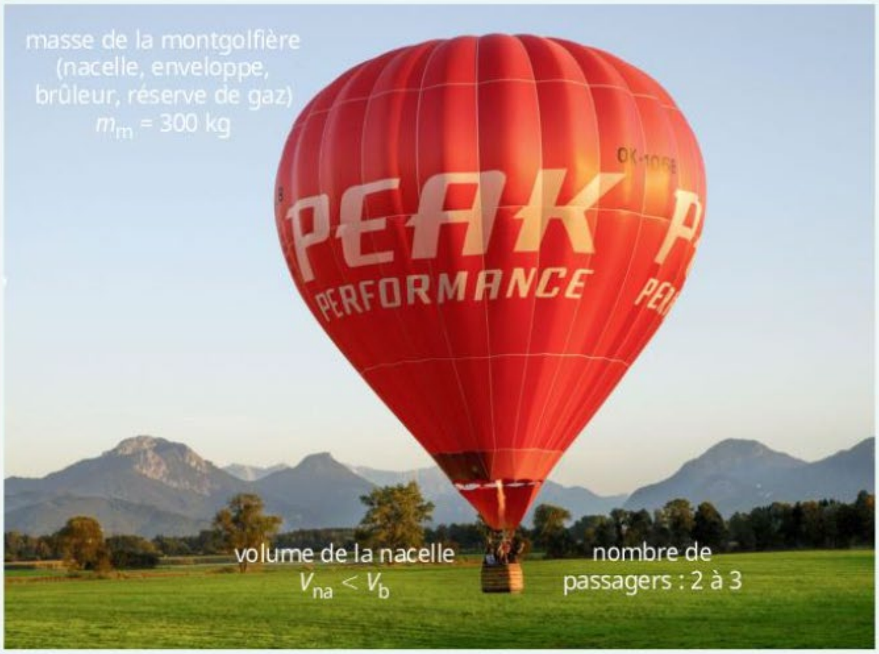
38 Décollage d'une montgolfière RÉSOLUTION DE PROBLÈME

50 min

AN/RAI Proposer une stratégie de résolution

Les déplacements verticaux d'une montgolfière sont assurés par le chauffage de l'air qu'elle renferme au moyen d'un brûleur et de réserves en carburant.

DOC 1 Les caractéristiques de la montgolfière



DOC 3 Météo du jour

DOC 2 Masse volumique de l'air et température

DONNÉES

- Intensité du champ de pesanteur : $g = 9{,}81\ N \cdot kg^{-1}$
- $T(\text{en K}) = T(\text{en °C}) + 273{,}15$
- Volume d'une sphère de rayon R : $V = \frac{4}{3}\pi R^3$
- Expression vectorielle de la poussée d'Archimède : $\vec{\pi} = -\rho_f \cdot V \cdot \vec{g}$

QUESTIONS PRÉLIMINAIRES

1. Donner une estimation cohérente du volume du ballon de la montgolfière photographiée sur le doc. 1.
2. Modéliser sur un schéma, sans souci d'échelle mais avec cohérence, les actions mécaniques qui agissent sur le ballon lors du décollage.
3. Quelle est la valeur de la masse volumique de l'air extérieur au ballon ?

LE PROBLÈME À RÉSOUDRE

Quelle doit être la valeur minimale de la température de l'air contenu dans le ballon d'une montgolfière pour permettre son décollage ?

Il est attendu une prise d'initiatives et une présentation de la démarche suivie même s'il elle n'a pas abouti.

Écoulement d'un fluide-Correction

QCM

1 La proposition A n'est pas une bonne réponse car la poussée d'Archimède est une force qui modélise la résultante des actions exercées par un fluide sur un objet immergé. Le poids d'un corps modélise l'action attractive de la Terre qu'il subit.
La proposition B est une bonne réponse car la poussée d'Archimède modélise la résultante des actions exercées par un fluide sur un objet immergé. Elle a pour origine les variations de la pression selon la profondeur au sein d'un fluide.
La proposition C n'est pas une bonne réponse car les frottements d'un fluide sur un corps existent lorsque celui-ci est en mouvement. Tout corps immergé, même au repos, subit la poussée d'Archimède.

2 La proposition A n'est pas une bonne réponse car d'après son expression vectorielle ($\vec{\pi} = -\rho_f \cdot V \cdot \vec{g}$), cette force est toujours verticale mais dirigée vers le haut.
La proposition B est une bonne réponse car son expression vectorielle s'écrit $\vec{\pi} = -\rho_f \cdot V \cdot \vec{g}$. Elle est de sens opposé à $\vec{g}$ et de même direction.
La proposition C n'est pas une bonne réponse car la valeur de cette force dépend de la masse volumique du fluide, et non pas de celle du corps immergé.

3 La proposition A n'est pas une bonne réponse car la valeur de la poussée d'Archimède dépend de la masse volumique du fluide, et non pas de celle du corps immergé.
La proposition B n'est pas une bonne réponse car la poussée d'Archimède est toujours verticale mais dirigée vers le haut donc de sens opposé à $\vec{g}$.
La proposition C est une bonne réponse car la poussée d'Archimède est une force verticale orientée vers le haut, donc de sens opposé à celui du champ de pesanteur $\vec{g}$ et dont la valeur dépend de la masse volumique du fluide déplacé.

4 La proposition A n'est pas une bonne réponse car le débit volumique Q est inversement proportionnel à la durée Δt de l'écoulement : $Q = \dfrac{V}{\Delta t}$.
La proposition B est une bonne réponse car le débit volumique Q est proportionnel à la vitesse v de l'écoulement : $Q = v \cdot S$.
La proposition C est une bonne réponse car le débit volumique Q est proportionnel à l'aire S de la section du conduit : $Q = v \cdot S$.

5 La proposition A n'est pas une bonne réponse car, par définition, en régime permanent, le débit volumique Q d'un fluide traversant la section S d'un conduit est constant au cours du temps. Néanmoins, si l'aire S de la section est amenée à varier, alors c'est la valeur de la vitesse d'écoulement qui sera modifiée pour que la valeur de Q reste constante : $Q = v \cdot S$.
La proposition B est une bonne réponse car, par définition, en régime permanent, le débit volumique Q d'un fluide traversant la section S d'un conduit est constant au cours du temps. Si l'aire S de la section est amenée à varier, alors la vitesse d'écoulement sera modifiée pour que la valeur de Q reste constante : $Q = v \cdot S$.
La proposition C n'est pas une bonne réponse car, par définition, en régime permanent, le débit volumique Q d'un fluide traversant la section S d'un conduit est constant au cours du temps.

6 La proposition A n'est pas une bonne réponse car, en régime permanent, le débit volumique Q d'un fluide est constant au cours du temps : $Q_{(A)} = Q_{(B)}$.
La proposition B n'est pas une bonne réponse car, en régime permanent, la conservation du débit volumique Q d'un fluide s'écrit : $Q_{(A)} = Q_{(B)}$ soit $v_A \cdot S_A = v_B \cdot S_B$. Si l'aire S de la section est amenée à varier, alors c'est la valeur de la vitesse d'écoulement qui sera modifiée : si $S_A \neq S_B$, alors $v_A \neq v_B$.
La proposition C est une bonne réponse car, en régime permanent, la vitesse v du fluide et l'aire S de la section traversée sont deux grandeurs inversement proportionnelles : si $S_A > S_B$, alors $v_A < v_B$.

7 La proposition A n'est pas une bonne réponse car, dans la relation de Bernoulli $P + \frac{1}{2}\rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot z =$ constante, v désigne la vitesse du fluide en écoulement et non son volume.
La proposition B est une bonne réponse car dans la relation de Bernoulli :
$P + \frac{1}{2}\rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot z =$ constante, P désigne la pression du fluide, v la vitesse de son écoulement et z l'altitude.
La proposition C n'est pas une bonne réponse car dans la relation de Bernoulli :
$P + \frac{1}{2}\rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot z =$ constante, P désigne la pression du fluide en écoulement et non son poids.

8 La proposition A est une bonne réponse car, dans le cas d'un conduit horizontal, l'altitude z est constante et la relation de Bernoulli s'écrit :

$P + \frac{1}{2}\rho \cdot v^2 = \text{constante}$. Ainsi, si v augmente, alors P diminue de manière à ce que la relation précédente reste vérifiée. Ainsi, pour deux points A et B situés sur la même ligne de courant, si $v_A < v_B$ alors $P_A > P_B$: il s'agit de l'effet Venturi.

La proposition B est une bonne réponse car, dans le cas d'un conduit horizontal, l'altitude z est constante et la relation de Bernoulli s'écrit :

$P + \frac{1}{2}\rho \cdot v^2 = \text{constante}$.

La proposition C n'est pas une bonne réponse car, dans le cas d'un conduit horizontal, $z_A = z_B$ et la relation de Bernoulli s'écrit :

$P_A + \frac{1}{2}\rho \cdot {v_A}^2 = P_B + \frac{1}{2}\rho \cdot {v_B}^2$. Il vient alors :

$(P_A - P_B) = \frac{1}{2}\rho \cdot (v_B^2 - v_A^2)$.

9 La proposition A n'est pas une bonne réponse car, d'après le principe de Venturi pour deux points A et B situés sur la même ligne de courant, si $v_A > v_B$ alors $P_A < P_B$.

La proposition B n'est pas une bonne réponse car, d'après la conservation du débit volumique Q d'un fluide : $Q_{(A)} = Q_{(B)}$, soit $v_A \cdot S_A = v_B \cdot S_B$. Ainsi, si $S_A \neq S_B$ alors $v_A \neq v_B$.

La proposition C est une bonne réponse car, pour un écoulement en régime permanent, la pression P d'un fluide diminue lorsque sa vitesse v augmente (et inversement).

11 **1.** La poussée d'Archimède $\vec{\pi}$ est la résultante des forces pressantes $\vec{F}$ qui modélisent les actions mécaniques du fluide sur la surface d'un objet immergé. Ses caractéristiques sont sa direction verticale, son sens dirigé vers le haut et sa valeur π égale au poids du volume de fluide déplacé : $\pi = \rho_f \cdot V \cdot g$, où ρ_f désigne la masse volumique du fluide, V le volume de fluide déplacé (c'est-à-dire le volume du corps immergé) et g la valeur du champ de pesanteur terrestre.

2. Première manière : on utilise la relation $\pi = \rho_f \cdot V \cdot g$.

AN : $\pi = 45{,}9 \times 10^{-3} \times 9{,}81 = 4{,}50 \times 10^{-1}$ N.

Seconde manière : à l'équilibre, lorsque le corps est immergé, il vient la relation :

$\vec{P}_1 + \vec{\pi} + \vec{T} = \vec{0}$

où $\vec{P}_1$, $\vec{T}$ et $\vec{P}_2$ désignent respectivement le poids du corps non immergé, la tension du dynamomètre lorsque le corps est immergé et le poids apparent du corps immergé.

Or $\vec{T} = -\vec{P}_2$ donc $\vec{P}_1 + \vec{\pi} = \vec{P}_2$.

Par projection sur un axe (Oz) vertical orienté vers le haut :

$-P_1 + \pi = -P_2$ soit $\pi = P_1 - P_2$.

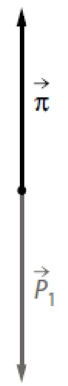
AN : $\pi = 1{,}97 - 1{,}52 = 4{,}50 \times 10^{-1}$ N

12 **1.** $P_1 = m \cdot g$ et $\pi = \rho_f \cdot g \cdot V$.

AN : $P_1 = 200 \times 9{,}81 = 1{,}96 \times 10^3$ N

$\pi = 1{,}0 \times 10^3 \times 9{,}81 \times 0{,}19 = 1{,}9 \times 10^3$ N

2. Échelle de représentation : 1 cm pour 10^3 N.



3. $P_2 = P_1 - \pi$.

AN : $P_2 = 1{,}96 \times 10^3 - 1{,}9 \times 10^3 = 9{,}8 \times 10^2$ N.

$m = \frac{P_2}{g}$

AN : $m = 10$ kg

13 **1.** $\vec{\pi} = -\rho_f \cdot V \cdot \vec{g}$

π : valeur de la poussée d'Archimède en N ;

ρ_f : masse volumique du fluide en kg · m^{-3} ;

V : volume du fluide déplacé en m^3 ;

g : intensité du champ de pesanteur terrestre en N · kg^{-1} ou m · s^{-2}.

2. $P_A = 91{,}8 \times 10^{-3} \times 9{,}81 = 9{,}01 \times 10^{-1}$ N

$P_{A'} = 135 \times 10^{-3} \times 9{,}81 = 1{,}32$ N

$P_B = 267 \times 10^{-3} \times 9{,}81 = 2{,}62$ N

3. • Expériences 1 et 2 :

a. Paramètre mis en jeu : volume du corps immergé.

b. Influence : $\pi_1 = 0{,}901 - 0{,}57 = 0{,}33$ N

$\pi_2 = 1{,}32 - 0{,}83 = 0{,}49$ N

Lorsque le volume du corps immergé augmente, la valeur de la poussée d'Archimède augmente.

• Expériences 1 et 3 :

a. Paramètre mis en jeu : profondeur d'immersion.

b. Influence : $\pi_1 = \pi_3 = 0{,}901 - 0{,}57 = 0{,}33$ N
La profondeur d'immersion n'a pas d'influence sur la valeur de la poussée d'Archimède.

• Expériences 1 et 4 :
a. Paramètre mis en jeu : masse volumique du corps immergé.
b. Influence :
$\pi_1 = 0{,}901 - 0{,}57 = 0{,}33$ N
$\pi_4 = 2{,}62 - 2{,}3 = 0{,}32$ N
La masse volumique du corps immergé n'a pas d'influence sur la valeur de la poussée d'Archimède.

• Expériences 1 et 5 :
a. Paramètre mis en jeu : masse volumique du fluide.
b. Influence :
$\pi_1 = 0{,}901 - 0{,}57 = 0{,}33$ N
$\pi_5 = 0{,}91 - 0{,}64 = 0{,}27$ N
Lorsque la masse volumique du fluide déplacé diminue, la valeur de la poussée d'Archimède diminue.
c. Ces résultats valident l'expression de la poussée d'Archimède. π dépend du volume de fluide déplacé et de sa masse volumique : $\pi = \rho_f \cdot V \cdot g$.

14 **1. a.** Pour faire un plein de 50 L, la durée est $\Delta t \approx 5$ min.

b. Débit volumique : $Q = \dfrac{V}{\Delta t}$.

AN : $Q = \dfrac{50}{5} = 10 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$

c. $Q = 10 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} = 1{,}7 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Le résultat obtenu est cohérent. L'estimation faite en **1. a.** est correcte.

2. a. $S = \pi \dfrac{D^2}{4}$.

AN : $S = 2{,}0 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

b. $Q = v \cdot S$ soit $v = \dfrac{Q}{S}$.

AN : $v = \dfrac{4{,}0 \times 10^{-4}}{2{,}0 \times 10^{-4}} = 2{,}0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

15 **1. a.** Le débit volumique Q d'un fluide représente le volume de fluide qui traverse une section S du conduit par unité de temps : $Q = \dfrac{V}{\Delta t}$.

b. $Q = 5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} = 8{,}3 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

2. a. $Q = \dfrac{V}{\Delta t}$ donc $V = Q \cdot \Delta t$.

AN : $V = 8{,}3 \times 10^{-5} \times 1{,}0 = 8{,}3 \times 10^{-5} \text{ m}^3 = 83$ mL de sang chaque seconde.

b. $Q = v \cdot S$ donc $v = \dfrac{Q}{S}$.

AN : $v = \dfrac{8{,}3 \times 10^{-5}}{2{,}5 \times 10^{-4}} = 3{,}3 \times 10^{-1} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

3. a. Lorsque l'aire de la section traversée diminue, le débit volumique sanguin conserve la même valeur : 5 L · min⁻¹.
b. La vitesse du sang est alors plus importante que dans une artère saine. Si S diminue, alors v augmente pour conserver Q constant ($Q = v \cdot S$).

17 **1.** $Q = v_A \cdot S_A$ donc $S_A = \dfrac{Q}{v_A}$.

AN : $S_A = \dfrac{900}{3\,600 \times 10^3 \times 125} = 2{,}0 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

2. a. $Q = v_A \cdot S_A = v_B \cdot S_B$

b. $v_B = \dfrac{v_A \cdot S_A}{S_B}$

AN : $v_B = \dfrac{125 \times 2{,}0 \times 10^{-6}}{\pi \times \dfrac{(13 \times 10^{-3})^2}{4}} = 1{,}9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

19 **1.** Les deux points situés sur la même ligne de courant sont notés 1 et 2. La relation de Bernoulli s'écrit donc :

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot z_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot z_2$$

2. À partir de l'égalité précédente, il vient :

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot z_1 - \frac{1}{2}\rho \cdot v_2^2 - \rho \cdot g \cdot z_2 = P_2,$$

soit : $P_2 = P_1 + \dfrac{1}{2}\rho(v_1^2 - v_2^2) + \rho \cdot g(z_1 - z_2)$

Les données P_1, ρ_{eau}, v_1, v_2, z_1 et z_2 sont fournies en données ou lues sur la figure.

AN :

$$P_2 = 1{,}0 \times 10^5 + \frac{1}{2} \times 1{,}0 \times 10^3 \times (1{,}0^2 - (4{,}5 \times 10^{-1})^2)$$
$$+ 1{,}0 \times 10^3 \times 9{,}81 \times (6{,}5 - 3{,}0)$$
$$= 1{,}3 \times 10^5 \text{ Pa}$$

21 $v = \dfrac{Q}{S}$. Si Q et S sont constants, alors v est constant. Ainsi, ici, $v_A = v_B$.

$$P_B = P_A + \frac{1}{2}\rho({v_A}^2 - {v_B}^2) + \rho \cdot g(z_A - z_B)$$
$$= P_A + \rho \cdot g(z_A - z_B)$$

$$P_B = 3{,}5 \times 10^5 + 784 \times 9{,}81 \times (0{,}5 - 4{,}5)$$
$$= 3{,}2 \times 10^5 \text{ Pa} = 3{,}2 \text{ bar}$$

22 **1.** D'après le principe de Venturi, pour un écoulement en régime permanent, la pression P d'un fluide diminue lorsque sa vitesse v augmente : puisque $P_B < P_A$ (d'après les valeurs fournies dans l'énoncé), on en déduit que $v_B > v_A$. C'est donc à travers la section S_B que la vitesse est la plus élevée.

2. a. Les deux points notés A et B sont situés sur la même ligne de courant et possèdent la même altitude $z_A = z_B$. La relation de Bernoulli :

$$P_A + \frac{1}{2}\rho \cdot v_A^2 + \rho \cdot g \cdot z_A = P_B + \frac{1}{2}\rho \cdot v_B^2 + \rho \cdot g \cdot z_B$$

s'écrit donc :

$$P_A + \frac{1}{2}\rho \cdot v_A^2 = P_B + \frac{1}{2}\rho \cdot v_B^2.$$

b. D'après la relation précédente,

$$v_B = \sqrt{\frac{2(P_A - P_B)}{\rho} + v_A^2}.$$

AN :

$$v_B = \sqrt{\frac{2 \times (1\,002 \times 10^2 - 987 \times 10^2)}{825} + 4{,}5^2}$$
$$= 4{,}9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Ce résultat valide la réponse à la question **1** : $v_B > v_A$.

Faire le point avant d'aller plus loin

▸ *Expliquer qualitativement l'origine de la poussée d'Archimède.*

Les forces pressantes qui modélisent les actions mécaniques d'un fluide sur la surface d'un objet immergé ne se compensent pas parfaitement : elles sont plus intenses sur le bas de l'objet que sur le haut. Il en résulte une action mécanique modélisée par une force verticale et orientée vers le haut : la poussée d'Archimède $\vec{\pi}$.

▸ *Écrire l'expression de la poussée d'Archimède en explicitant chaque grandeur et son unité.*

$$\vec{\pi} = -\rho_f \cdot V \cdot \vec{g}$$

- $\vec{\pi}$: poussée d'Archimède de valeur π (N)
- V : volume du fluide déplacé (m³)
- ρ_f : masse volumique du fluide (kg · m⁻³)
- $\vec{g}$: champ de pesanteur terrestre d'intensité g (N · kg⁻¹ ou m · s⁻²)

▸ *Définir le débit volumique d'un fluide en régime permanent.*

$$Q = \frac{V}{\Delta t}$$

- Q : débit volumique (m³ · s⁻¹)
- V : volume de fluide écoulé (m³)
- Δt : durée de l'écoulement (s)

▸ *Nommer chaque grandeur de la relation de Bernoulli $P + \frac{1}{2}\rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot z = constante$ et donner son unité.*

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

- P : pression du fluide (Pa)
- ρ : masse volumique du fluide (kg · m⁻³)
- z : altitude (m)
- v : vitesse du fluide (m · s⁻¹)
- g : intensité de pesanteur (N · kg⁻¹)

▸ *Écrire la relation liant le débit volumique d'un fluide et sa vitesse d'écoulement en explicitant chaque grandeur et son unité.*

$$Q = v \cdot S$$

- Q : débit volumique (m³ · s⁻¹)
- S : aire de la section du conduit (m²)
- v : vitesse du fluide (m · s⁻¹)

▸ *Effectuer le bilan des actions mécaniques qui agissent sur un corps immobile immergé dans un fluide.*

Un corps immergé dans un fluide est soumis à l'action de la Terre et celle du fluide modélisées respectivement par le poids $\vec{P}$ du corps et la poussée d'Archimède $\vec{\pi}$ du fluide. $\vec{P}$ est vertical et dirigé vers la Terre ; la poussée d'Archimède $\vec{\pi}$ est verticale orientée vers le haut.

▸ *Expliquer comment déterminer la vitesse d'un fluide à partir de la conservation du débit volumique en régime permanent.*

En régime permanent, il y a conservation du débit volumique Q d'un fluide incompressible le long d'un écoulement donc, en tous points A et B d'un écoulement, on a $Q_{(A)} = Q_{(B)}$ soit :

$$v_A \cdot S_A = v_B \cdot S_B \quad \text{et} \quad v_B = \frac{S_A}{S_B} \cdot v_A$$

▸ *Expliquer pourquoi, lors de l'écoulement d'un fluide en régime permanent, si $S_B < S_A$, alors $v_B > v_A$.*

Il y a conservation du débit volumique Q d'un fluide incompressible le long d'un écoulement donc, en tous points A et B d'un écoulement, on a $Q_{(A)} = Q_{(B)}$ soit $v_A \cdot S_A = v_B \cdot S_B$.

La vitesse v du fluide et l'aire S de la section traversée sont deux grandeurs inversement proportionnelles : $\frac{v_B}{v_A} = \frac{S_A}{S_B}$.

Si $S_A > S_B$, alors $v_B > v_A$. La vitesse du fluide augmente lorsque la section du conduit rétrécit.

26 Ascension de Félix Baumgartner

1. a. La densité de l'air diminuant avec l'altitude, l'action de l'air sur le ballon est plus intense sur le bas de l'enveloppe que sur le haut. Il en résulte une **action mécanique modélisée par une force verticale et dirigée vers le haut** : la poussée d'Archimède $\vec{\pi}$.

b.

2. a. Le ballon peut décoller si la poussée d'Archimède prédomine sur la force poids : $P = m_{\text{système}} \cdot g$ et $\pi = \rho_{\text{air}} \cdot V_{\text{ballon}} \cdot g$

AN : $\boldsymbol{P} = 3 \times 10^3 \times 9{,}81 = 2{,}94 \times 10^4 \text{ N} \approx \mathbf{3 \times 10^4\ N}$

et $\pi = 1{,}2 \times 5\,100 \times 9{,}81 = \mathbf{6{,}1 \times 10^4\ N}$.

On constate que $\pi > P$, ainsi **le ballon peut décoller**.

b. En sustentation, le ballon est immobile et les actions se compensent :

$$\pi = P \text{ donc } \rho_{\text{air}} \cdot V_{\text{ballon}} \cdot g = m_{\text{système}} \cdot g \text{ soit } \boldsymbol{V_{\text{ballon}}} = \frac{\boldsymbol{m_{\text{système}}}}{\boldsymbol{\rho_{\text{air}}}}.$$

AN : $\boldsymbol{V_{\text{ballon}}} = \dfrac{3 \times 10^3}{1{,}2} = \mathbf{2\,500\ m^3}$, valeur près de deux fois plus faible que 5 100 m^3.

> **QUELQUES CONSEILS**
>
> **1. b.** Penser que la nature d'un mouvement informe sur les forces exercées.
>
> **2. a.** La masse du système est donnée en tonnes et avec un seul chiffre significatif.
>
> **b.** Simplifier l'expression littérale du volume V_{ballon} du ballon donne accès à un calcul simple.

28 Lance à incendie

1. a. $Q = 60 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} = 1{,}7 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et $S_B = \pi \cdot \dfrac{0{,}110^2}{4} = 9{,}5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$.

$Q = v_B \cdot S_B$ soit $v_B = \dfrac{Q}{S_B}$. **AN** : $v_B = \dfrac{1{,}7 \times 10^{-2}}{9{,}5 \times 10^{-3}} = \mathbf{1{,}8\ m \cdot s^{-1}}$.

b. $v_A \cdot S_A = v_B \cdot S_B$ soit $v_A = v_B \cdot \dfrac{S_B}{S_A}$. **AN** : $v_A = 1{,}8 \times \dfrac{9{,}5 \times 10^{-3}}{\pi \cdot \dfrac{0{,}025^2}{4}} = \mathbf{35\ m \cdot s^{-1}}$.

2. a. $P_B + \dfrac{1}{2} \rho \cdot v_B^2 + \rho \cdot g \cdot z_B = P_A + \dfrac{1}{2} \rho \cdot v_A^2 + \rho \cdot g \cdot z_A$.

$P_A = P_{\text{atm}}$ et $z_B = z_A$ donc la relation de Bernoulli s'écrit :

$$\boldsymbol{P_B + \frac{1}{2}\rho_{\text{eau}} \cdot v_B^2 = P_{\text{atm}} + \frac{1}{2}\rho_{\text{eau}} \cdot v_A^2}$$

b. $P_B = P_{\text{atm}} + \dfrac{1}{2}\rho_{\text{eau}} \cdot (v_A^2 - v_B^2)$

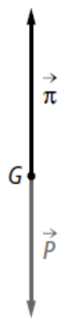
AN : $P_B = 1{,}013 \times 10^5 + \dfrac{1}{2} \times 1000 \times (35^2 - 1{,}8^2) = \mathbf{7{,}1 \times 10^5\ Pa \approx 7\ bar}$

38 › Questions préliminaires

1. D'après le doc. 1, le rayon moyen de la montgolfière peut être estimé à 8 m (d'après la taille d'une personne dans la nacelle estimée à 1,8 m) :

$$V_{\text{montgolfière}} = \frac{4}{3} \times \pi \times 8^3 = 2{,}1 \times 10^3 \text{ m}^3$$

2.



3. D'après le doc. 2, par lecture graphique, à 15 °C (soit 288 K), $\rho_{\text{air}} = 1{,}21 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

› Le problème à résoudre

Une montgolfière aura un mouvement vertical dirigé vers le haut dès lors que l'action mécanique de l'air atmosphérique modélisée par la poussée d'Archimède $\vec{\pi}$ devient supérieure à l'action mécanique de la Terre modélisée par le poids $\vec{P}$ de la montgolfière.

À l'équilibre : $\vec{\pi} + \vec{P} = \vec{0}$.

Sur un axe vertical dirigé vers le haut : $\pi - P = 0$.

$$\rho_{\text{air atmosphérique}} \cdot V_b \cdot g - (m_m + m_{\text{passagers}} + \rho_{\text{air chaud}} \cdot V_b) \cdot g = 0$$

$$\rho_{\text{air chaud}} = \rho_{\text{air atmosphérique}} - \frac{m_m + m_{\text{passagers}}}{V_b}$$

$$\rho_{\text{air chaud}} = 1{,}21 - \frac{300 + 3 \times 75}{2\,100} = 0{,}96 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Par lecture graphique : $\rho_{\text{air chaud}} = 0{,}96 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ à une température $\theta \approx 360$ K, soit $T \approx 87$ °C ;

27 CORRIGÉ 60 min

Une plongée technique

Mobiliser et organiser ses connaissances ; effectuer des calculs ; rédiger une argumentation.

Les parties I et II sont indépendantes.

Partie I La stabilité est de rigueur

Au cours d'une plongée, un plongeur cherche à se stabiliser afin de rester à une profondeur constante. Pour cela, il dispose d'un gilet de stabilisation et d'un ordinateur de plongée.

A Le gilet de stabilisation

Le gilet de stabilisation est un dispositif dont on peut faire varier le volume en injectant ou en évacuant de l'air. La valeur de la poussée d'Archimède exercée par l'eau est alors modifiée, de façon à ce qu'elle compense exactement le poids du plongeur équipé.

L'air injecté provient de la bouteille d'air comprimé qui fait partie de l'équipement du plongeur ; cette injection d'air n'a donc aucune incidence sur la masse m du système {plongeur équipé}.

Lors de l'évacuation de l'air, on considère que la masse d'air expulsé est négligeable devant celle du système.

Le plongeur équipé, situé à une profondeur de 20 m en Méditerranée occupe un volume $V = 0{,}088\ \text{m}^3$. On suppose qu'il ne fait aucun geste.

1. Calculer la valeur de la poussée d'Archimède exercée par l'eau sur le plongeur équipé.

2. Qu'arrive-t-il au plongeur équipé à la profondeur de 20 m s'il n'agit pas sur le gilet stabilisateur ?

3. Pour répondre à la question **2**, il suffit de comparer les masses volumiques du plongeur équipé et de l'eau salée. Justifier cette affirmation.

4. Quel volume d'air le plongeur doit-il injecter dans son gilet ou évacuer afin d'être stabilisé ?

Partie II Les courants sous-marins et les ordinateurs de plongée

Le plongeur équipé entre dans une cavité modélisable par un cylindre de diamètre $d_1 = 6{,}0$ m, dans laquelle l'eau se déplace à une vitesse de valeur $v_1 = 0{,}30\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. La cavité est prolongée par un passage également cylindrique de diamètre $d_2 = 3{,}0$ m. La situation est schématisée ci-dessous :

On suppose que le volume du plongeur est négligeable devant celui de la cavité. L'eau est considérée comme un fluide incompressible qui s'écoule en régime permanent indépendant du temps.

1. Quelle est la valeur v_2 de la vitesse de l'eau dans le passage de diamètre d_2 ?

2. Calculer la différence de pression $\Delta P = P_2 - P_1$ entre les deux passages cylindriques de la cavité.

3. L'ordinateur de plongée indique notamment la profondeur à laquelle se trouve le plongeur. Il la calcule en fonction de la pression locale qu'il mesure, en appliquant la relation fondamentale de la statique des fluides selon laquelle la pression dans l'eau augmente de 1 bar lorsque la profondeur augmente de 10 m.

Quelle différence de profondeur, entre les deux passages cylindriques de la cavité, l'ordinateur va-t-il indiquer alors que le plongeur se déplace horizontalement ?

Données

- On considère que la relation de Bernoulli peut s'appliquer le long d'une ligne de courant d'un fluide incompressible en écoulement permanent indépendant du temps.
Elle s'écrit :
$$\frac{1}{2}\rho \times v^2 + \rho \times g \times z + P = \text{constante}$$
- Masse volumique de l'eau en mer Méditerranée : $\rho_{\text{eau salée}} = 1{,}03 \times 10^3\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.
- Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}8\ \text{N}\cdot\text{kg}^{-1}$.
- Pression atmosphérique : $P_{\text{atm}} = 1{,}013 \times 10^5$ Pa.
- 1 bar $= 1 \times 10^5$ Pa.
- Masse du plongeur équipé : $m = 92$ kg.