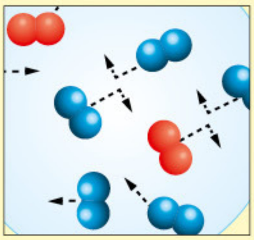
Avant d'aborder le chapitre EN AUTONOMIE

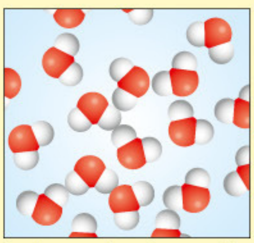
LES ACQUIS INDISPENSABLES

1re Enseignement de spécialité

- La **masse volumique** reflète l'état de dispersion des constituants microscopiques d'un fluide.



Particules dispersées dans un gaz



Particules proches dans un liquide

- La **force pressante** modélise l'action mécanique d'un fluide sur une surface. Sa valeur s'écrit :

valeur de la **force pressante** (en **N**) → $\boldsymbol{F = P \cdot S}$ ← aire de la surface (en $\mathbf{m^2}$)

↑ pression du fluide (en **Pa**)

- La **loi fondamentale de la statique des fluides** exprime la relation qui existe entre la différence de pression, la masse volumique, l'intensité de pesanteur et la différence d'altitude entre deux points A et B d'un fluide au repos :

différence de pression ($P_B - P_A$) (en **Pa**) ; différence d'altitude ($z_A - z_B$) (en **m**)

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta z$$

masse volumique du fluide (en $\mathbf{kg \cdot m^{-3}}$) ; intensité de pesanteur (9,8 $\mathbf{N \cdot kg^{-1}}$) à la surface de la Terre)

POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

bordas Flash PAGE corrigés détaillés

Pour chaque situation, rédiger une réponse qui explique en quelques lignes le raisonnement.

SITUATION 1

Attribuer une valeur de masse volumique (à 20 °C et 1 013 hPa) aux fluides suivants : eau liquide et gaz air.

Valeurs : $\rho_1 = 1{,}20\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, $\rho_2 = 9{,}98 \times 10^2\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

SITUATION 2

En choisissant une échelle adaptée, représenter la force pressante modélisant l'action de l'air (à la pression $P = 1\ 013$ hPa) sur 50 cm² de la surface extérieure d'un ballon.

SITUATION 3

Un plongeur prévoit de s'immerger à une profondeur de 15 m sous la surface de l'eau ($\rho = 1\ 000\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

Quelle est la variation maximale de pression qu'il subira lors de sa plongée ?

Écoulement d'un fluide

CHAPITRE
14
PHYSIQUE

Dans le sport automobile, l'effet de sol est mis à profit pour accroître l'adhérence des véhicules au circuit et les « coller » à la piste. Comment interpréter ce phénomène aérodynamique ?

➥ EXERCICE 37

NOTIONS ET CONTENUS

- Poussée d'Archimède.
- Écoulement d'un fluide en régime permanent.
- Débit volumique d'un fluide incompressible.
- Relation de Bernoulli.
- Effet Venturi.

CAPACITÉS EXPÉRIMENTALES

- Mettre en œuvre un dispositif permettant de tester ou d'exploiter l'expression de la poussée d'Archimède. ➥ **Activité 1** ➥ **Pour préparer l'ECE**
- Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour étudier l'écoulement permanent d'un fluide. ➥ **Activité 2** ➥ **Pour préparer l'ECE**
- Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour tester la relation de Bernoulli. ➥ **Activité 3** ➥ **Pour préparer l'ECE**

TP

COMPÉTENCES :
VAL Estimer une incertitude
RÉA Effectuer des procédures courantes (calculs, représentations, collectes de données, etc.)

La poussée d'Archimède

Un iceberg est bloc d'eau douce flottant dans les océans. Comment expliquer qu'environ 1/10 seulement de son volume émerge de la surface de l'eau ?

DONNÉES
- Intensité de pesanteur : $g = 9{,}81\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.
- Masses volumiques : $\rho_{glace} = 910\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $\rho_{eau\ à\ 20\ °C} = 998\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $\rho_{eau\ des\ océans} = 1\ 024\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $\rho_{acier} = 7\ 850\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

DOC 1 Du matériel utile

Un dynamomètre et son support, un objet (en acier par exemple), une balance électronique, une éprouvette graduée, un vase de Boudreau (récipient à trop plein), de l'eau, un bécher.

DOC 2 La poussée d'Archimède

Tout corps plongé dans un fluide subit une action mécanique exercée par ce fluide et modélisée par une force verticale, dirigée de bas en haut, de valeur égale au poids du volume de fluide déplacé.

Cette force est appelée **poussée d'Archimède $\vec{\pi}$** :

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

m_f : masse de fluide déplacé en **kg**, ρ_f : masse volumique du fluide en $\mathbf{kg \cdot m^{-3}}$, V : volume de fluide déplacé en $\mathbf{m^3}$, g : intensité de pesanteur en $\mathbf{N \cdot kg^{-1}}$ (ou $\mathbf{m \cdot s^{-2}}$), π en newton (**N**).

BONUS
Principe d'Archimède
Une animation pour comprendre le principe d'Archimède.

bordas Flash PAGE animation

DÉMARCHE EXPERTE

À l'aide du matériel décrit (doc. 1) et en tenant compte de sa précision (FICHE MÉTHODE ➥ p. 538), proposer une stratégie pour valider l'expression de la poussée d'Archimède (doc. 2). Exploiter cette expression afin de déterminer le volume de la partie émergée d'un iceberg.

DÉMARCHE AVANCÉE

1. a. À l'aide du matériel décrit (doc. 1), réaliser les mesures permettant de donner un encadrement (FICHE MÉTHODE ➥ p. 538) de la valeur :
– du poids du volume de fluide déplacé par un objet totalement immergé dans l'eau ;
– de la force qui modélise l'action mécanique exercée par l'eau sur l'objet immergé.

b. Les mesures permettent-elles de valider l'expression de la poussée d'Archimède (doc. 2) ?

2. a. À partir d'un bilan des actions mécaniques agissant sur un iceberg flottant à la surface de l'eau, écrire une relation entre $V_{immergé}$ (le volume immergé de l'iceberg), $V_{iceberg}$ (son volume total) et les masses volumiques ρ_{glace} et $\rho_{eau\ des\ océans}$.

b. En déduire qu'environ $^1/_{10}$ du volume total d'un iceberg émerge de la surface de l'eau.

DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE

1. a. À l'aide du dynamomètre (doc. 1), mesurer les valeurs P_1 du poids de l'objet et P_2 du poids « apparent » de l'objet totalement immergé dans l'eau. En déduire un encadrement (FICHE MÉTHODE ➥ p. 538) de la valeur π de la poussée d'Archimède (doc. 2).

b. Mesurer par déplacement d'eau la masse m du volume de fluide déplacé par l'objet totalement immergé. En déduire un encadrement de la valeur P_{eau} du poids de ce volume d'eau.

c. Comparer les valeurs π et P_{eau}. L'expression de la poussée d'Archimède peut-elle être validée ?

2. a. Un iceberg flotte à la surface de l'eau. Que peut-on dire des actions mécaniques qui agissent sur lui ? Les modéliser par deux forces sur un schéma sans souci d'échelle.

b. Montrer qu'il est possible d'établir la relation :

$$V_{immergé} = \frac{\rho_{glace}}{\rho_{eau\ des\ océans}} \cdot V_{iceberg}$$

(avec $V_{immergé}$ le volume immergé de l'iceberg et $V_{iceberg}$ son volume total).

c. En déduire qu'environ $^1/_{10}$ du volume total d'un iceberg émerge de la surface de l'eau.

Je réussis si...

- **Je sais confronter un modèle à des résultats expérimentaux.**
- **Je sais exploiter l'expression de la poussée d'Archimède.**

TP

COMPÉTENCES :
RÉA Mettre en œuvre un protocole expérimental
VAL Confronter un modèle à des résultats expérimentaux

Les grandeurs caractéristiques de l'écoulement d'un fluide

Le débit volumique et la vitesse d'un fluide sont deux grandeurs physiques qui caractérisent son écoulement dans un conduit. Quel lien établir entre elles en régime permanent ?

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

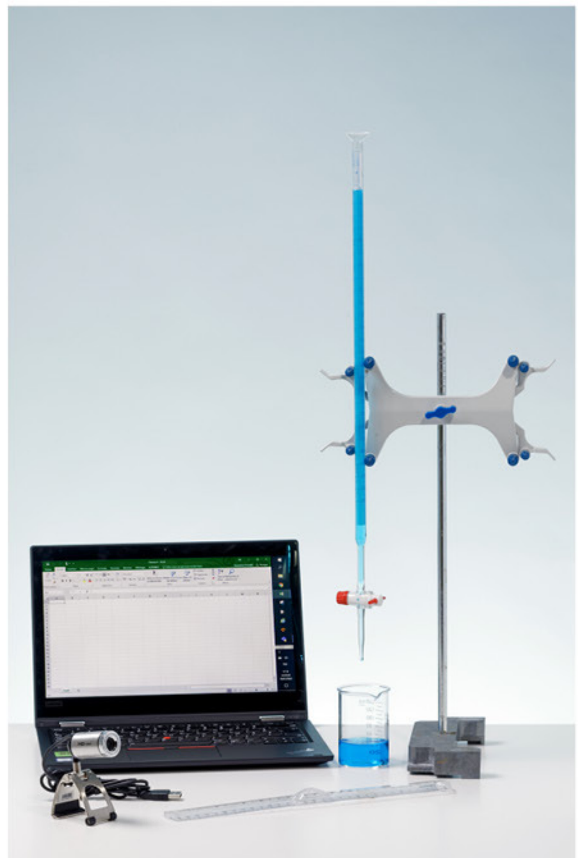
Au cours de son écoulement dans une burette graduée de 25,0 mL, la position et la vitesse de surface libre (surface en contact avec l'air) d'un fluide varient. On peut suivre ces évolutions en analysant son mouvement à l'aide d'une caméra reliée à un ordinateur et d'un logiciel de traitement d'images (FICHE PRATIQUE ➥ p. 586).

Choisir la position de la surface libre du fluide au repos comme origine du repère et un axe vertical orienté vers le bas.

GESTE ECE nº 6

bordas Flash PAGE vidéo

DOC 1 Matériel nécessaire



DOC 2 Vitesse et débit volumique

Lors de l'écoulement d'un fluide incompressible en **régime permanent,** la **vitesse** du fluide traversant une section du conduit et son **débit volumique** conservent la même valeur au cours du temps.

Le **débit volumique** d'un fluide est le rapport suivant :

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

- Q : débit volumique (en $\mathbf{m^3 \cdot s^{-1}}$)
- V : volume de fluide écoulé (en $\mathbf{m^3}$)
- Δt : durée de l'écoulement (en **s**)

VIDÉO

Écoulements dans une bouteille percée

Une vidéo qui montre les écoulements produits par une bouteille percée remplie d'eau.

bordas Flash PAGE vidéo

EXPLOITATION ET ANALYSE

1 On étudie la phase de l'affaissement de la surface libre de 0 à 5 mL.

a. Montrer l'évolution de la position *y* d'un point M de la surface libre du fluide en fonction du temps.

b. En déduire, en explicitant le raisonnement suivi :
– la vitesse *v* d'écoulement du fluide ;
– l'évolution du volume *V* du fluide écoulé en fonction du temps.

c. Dire comment on peut en déduire la valeur du débit volumique *Q*.

2 On étudie maintenant la phase de l'affaissement de la surface libre de 20 à 25 mL.

Reprendre la même démarche que pour la phase de la partie 1 et répondre aux questions.

CONCLUSION

3 a. En raisonnant sur les unités des grandeurs, quelle relation peut-on établir entre le débit volumique *Q* d'un fluide et sa vitesse *v* d'écoulement ?

b. Cette relation est-elle vérifiée dans l'étude expérimentale effectuée ?

c. Discuter du caractère permanent ou non de l'écoulement lors de cette même étude.

Je réussis si…

- **Je sais effectuer un enregistrement vidéo.**
- **Je sais utiliser un logiciel de pointage et un tableur.**
- **J'ai fait le lien entre régime permanent d'un écoulement, débit volumique et vitesse du fluide.**

TP

COMPÉTENCES :
- RÉA Mettre en œuvre les étapes d'une démarche
- VAL Confronter un modèle à des résultats expérimentaux

Relation de Bernoulli

SITUATION-PROBLÈME

L'athérosclérose est une maladie conduisant localement à un rétrécissement du diamètre des artères. Elle s'accompagne d'une chute de la pression artérielle au niveau de la sténose.

Comment expliquer ce phénomène et le vérifier expérimentalement ?

HYPOTHÈSE Proposer une réponse à la question en la justifiant.

DOC 1 Modélisation en laboratoire

L'écoulement du sang dans une artère sténosée (rétrécie) peut être modélisé par un écoulement d'air dans un conduit de section variable (ici deux bouteilles en matière plastique reliées entre elles avec un écoulement assuré par un aspirateur). Des trous réalisés à différents emplacements du conduit permettent d'accéder à la pression du fluide au moyen d'un capteur de pression.

GESTE ECE n° 7

bordas Flash PAGE vidéo

DOC 2 La relation de Bernoulli

La relation de Bernoulli modélise l'écoulement permanent d'un fluide sans frottement. Elle lie la pression P, la vitesse v et l'altitude z d'un point du fluide. Sur une même ligne de courant on a :

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

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

Une **ligne de courant** est une courbe tangente à la vitesse d'un fluide.

Dans le cas où z = constante, sur une même ligne de courant : $P + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = \textbf{constante.}$

MESURES ET ANALYSE

1 Mettre en œuvre le dispositif expérimental modélisant l'écoulement du sang dans une artère sténosée (doc. 1), et relever différents couples de valeurs (P, ∅) : pression-diamètre du conduit.

2 Utiliser un tableur grapheur pour calculer, à partir du débit volumique (doc. 3), la vitesse v du fluide pour chaque diamètre ∅ du conduit.

3 Faire afficher le graphe $P = f(v^2)$ représentant l'évolution de la pression du fluide en fonction du carré de sa vitesse puis modéliser l'évolution par une fonction adaptée.

4 La courbe tracée permet-elle de vérifier la relation de Bernoulli (doc. 2) ?

CONCLUSION

5 Expliquer qualitativement le lien entre le diamètre d'un conduit et la pression du fluide qui s'y écoule afin de justifier la baisse de pression artérielle constatée lors d'une athérosclérose.

DOC 3 Conservation du débit volumique

Lors de l'écoulement permanent d'un fluide incompressible, il n'y a pas de perte de matière. Le débit volumique Q du fluide traversant n'importe quelle section du conduit se conserve.

DONNÉES
- ρ_{air} = 1,184 kg · m^{-3} à 25 °C.
- Débit volumique Q de l'air dans le conduit (voir notice du système utilisé).

Je réussis si...
- **Je sais formuler une hypothèse.**
- **Je sais mesurer la pression d'un fluide et utiliser un tableur.**
- **J'ai compris que la relation de Bernoulli permet de modéliser l'écoulement d'un fluide.**
- **Je sais faire le lien entre la pression d'un fluide et sa vitesse.**

4. TÂCHE COMPLEXE

COMPÉTENCES :
RÉA Utiliser un modèle
COM Présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente

Hauteur d'un jet d'eau

SITUATION-PROBLÈME

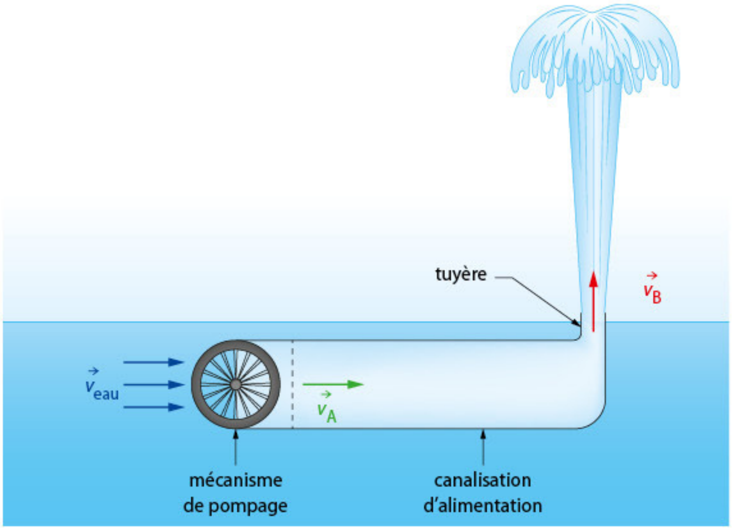
Il existe des jets d'eau dans le monde qui s'élèvent à plusieurs centaines de mètres de haut, véritable spectacle de jour comme de nuit. Celui de Genève (Suisse) fait preuve d'ingéniosité en matière hydraulique.

Comment prévoir sa hauteur maximale ?

COUP DE POUCE ➥ p. 593

DOC 1 Schéma de l'installation hydraulique

Le jet d'eau de Genève est produit au moyen d'une station de pompage de l'eau du lac Léman. Elle est constituée par deux puissantes pompes qui alimentent une large canalisation puis font jaillir l'eau par une tuyère de plus faible diamètre.



DONNÉES
- $\rho_{eau} = 9{,}99 \times 10^2\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ à 15 °C
- $g = 9{,}81\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$
- $P_{atm} = 1\,013$ hPa
- 1 bar $= 10^5$ Pa

DOC 2 Quelques caractéristiques techniques de l'installation

- Diamètre de la canalisation d'alimentation : 1,00 m
- Pression de l'eau en sortie de pompe : 16,5 bar
- Nombre de pompes : 2
- Puissance électrique de chaque pompe : 500 kW
- Débit volumique d'une pompe : 250 $\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$
- Tuyère de sortie (↑) : anneau creux d'environ 2 cm de large et de 16 cm de diamètre équivalent à un orifice de sortie de 10,7 cm de diamètre
- Nombre de projecteurs : 12
- Puissance de l'éclairage : 9 000 W

DOC 3 La relation de Bernoulli

La relation de Bernoulli modélise l'écoulement permanent d'un fluide sans frottement. Elle lie la pression P, la vitesse v et l'altitude z le long d'une ligne de courant dans un fluide. Ainsi, pour deux points A et B d'une même ligne de courant, on a :

pression du fluide (en **Pa**) — intensité de pesanteur (en $\mathbf{N \cdot kg^{-1}}$) — altitude (en **m**)

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

masse volumique du fluide (en $\mathbf{kg \cdot m^{-3}}$) — vitesse du fluide (en $\mathbf{m \cdot s^{-1}}$)

Je réussis si…
- **Je sais identifier les étapes d'une stratégie de résolution.**
- **Je sais appliquer la relation de Bernoulli à l'écoulement de l'eau.**
- **Je sais valider la valeur obtenue à partir de la photo du jet d'eau.**

podcast DYS

1 La poussée d'Archimède

Origine de la poussée d'Archimède

Tout objet plongé dans un fluide (un liquide ou un gaz) subit de la part de ce fluide des actions mécaniques qui agissent sur sa surface en contact avec le fluide. Ces actions sont modélisées par des **forces pressantes** $\vec{F}$ (FIG. 2a) dont la valeur F augmente avec la pression P du fluide (et l'aire S de la surface de l'objet) : $F = P \cdot S$.

Par ailleurs, d'après la **loi fondamentale de la statique des fluides** ($\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta z$), la pression P exercée par un fluide augmente avec la profondeur d'immersion (FIG. 1).

Ainsi, les forces pressantes $\vec{F}$ qui modélisent les actions mécaniques du 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 (FIG. 2a). Il en résulte une action mécanique modélisée par une force verticale et orientée vers le haut : la poussée d'Archimède $\vec{\pi}$ (FIG. 2b).

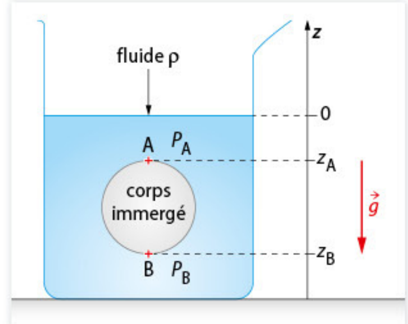


FIG. 1 $z_B < z_A$ donc $P_B > P_A$.
La pression du fluide est plus importante en B qu'en A.

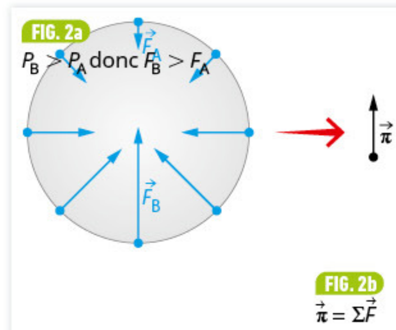


FIG. 2 Modélisation de la poussée d'Archimède.

Expression vectorielle de la poussée d'Archimède

Tout corps immergé, tout ou en partie, dans un fluide, subit de la part du fluide des actions mécaniques modélisées par une **force verticale**, dirigée **vers le haut** de **valeur égale au poids du volume de fluide déplacé** (FIG. 3).

L'expression de cette force nommée **poussée d'Archimède** $\vec{\pi}$ est :

poussée d'Archimède de valeur π (N)

masse volumique du fluide ($kg \cdot m^{-3}$)

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

champ de pesanteur terrestre d'intensité g ($N \cdot kg^{-1}$ ou $m \cdot s^{-2}$)

masse du fluide déplacé (kg) volume du fluide déplacé (m^3)

EXEMPLE

Une bille en acier (de volume $V = 5{,}0$ cm^3 et de masse volumique $\rho_{Fe} = 7{,}8 \times 10^3$ kg $\cdot$ m^{-3}) totalement immergée dans l'eau ($\rho_{eau} = 1{,}0 \times 10^3$ kg $\cdot$ m^{-3}) subit une poussée $\vec{\pi}$ verticale dirigée vers le haut de valeur $\pi = \rho_f \cdot V \cdot g$.

AN : $\pi = 1{,}0 \times 10^3 \times 5{,}0 \times 10^{-6} \times 9{,}8 = 4{,}9 \times 10^{-2}$ N.

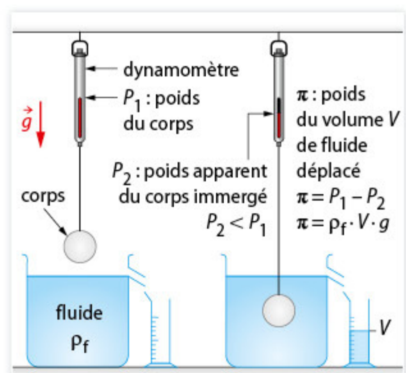


FIG. 3 La poussée d'Archimède $\vec{\pi}$ est responsable du poids apparent $\vec{P}_2$ du corps immergé dans le fluide.

Exploitation de l'expression de la poussée d'Archimède

La **poussée d'Archimède** $\vec{\pi}$ a la même direction que le champ de pesanteur terrestre $\vec{g}$ mais est de sens opposé : il s'agit donc d'une force toujours verticale et orientée vers le haut. Dans le champ de pesanteur $\vec{g}$ constant, sa **valeur** $\pi = \rho_f \cdot V \cdot g$ dépend du volume V du corps immergé et de la masse volumique ρ_f du fluide. La masse du corps, sa forme, son orientation dans le fluide et la profondeur d'immersion (pour un corps totalement immergé) n'influent pas sur sa valeur.

Remarque. Plus le corps immergé est volumineux ou plus le fluide est dense (ou les deux à la fois) et plus la valeur de la poussée d'Archimède est grande.

Les paramètres d'influence de la poussée d'Archimède sont largement mis en jeu en aéronautique, en plongée sous-marine ou encore dans la construction navale.

EXEMPLE

Les bateaux sont conçus de telle sorte que le poids du volume d'eau déplacé (donc la valeur de la poussée d'Archimède) est toujours égal au poids du bateau (et de son contenu).

BONUS Poussée d'Archimède

Flash PAGE vidéo

Une vidéo pour expliquer l'expression de la poussée d'Archimède.

2 Écoulement d'un fluide incompressible

Régime permanent d'écoulement d'un fluide

L'**écoulement** d'un fluide est modélisé par des **lignes de courant**. Ces lignes représentent les trajectoires des particules du fluide en mouvement (FIG. 4).

On dit qu'un fluide s'écoule en **régime permanent** (ou stationnaire) lorsque les lignes de courant n'évoluent pas au cours du temps : la vitesse $\vec{v}$ en un point quelconque du fluide conserve alors les mêmes caractéristiques au cours du temps.

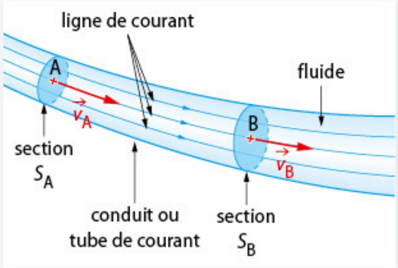


FIG. 4 Modélisation de l'écoulement d'un fluide incompressible.

EXEMPLE

Sur la figure 4, si $\vec{v}_A$ et $\vec{v}_B$ ne varient pas au cours du temps, alors le régime est permanent. $\vec{v}_A$ peut être différent de $\vec{v}_B$ (en direction et en valeur).

Débit volumique et vitesse d'un fluide incompressible

Le **débit volumique Q** d'un fluide représente le volume de fluide qui traverse une section S du conduit par unité de temps (FIG. 5).

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

débit volumique ($m^3 \cdot s^{-1}$) ; V : volume de fluide écoulé (m^3) ; Δt : durée de l'écoulement (s)

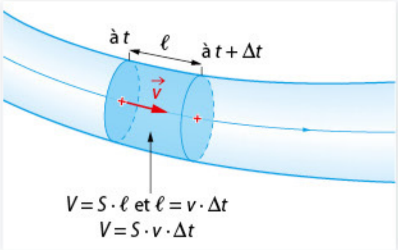


FIG. 5 Volume V et vitesse v d'un fluide traversant la section S d'un conduit.

EXEMPLE

Chaque jour, la Loire rejette près de $8{,}0 \times 10^7$ m³ d'eau dans l'océan. Son débit volumique moyen est :

$$Q = \frac{8{,}0 \times 10^7}{24 \times 3\,600} = 926 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \approx 9{,}3 \times 10^2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}.$$

Si un fluide traverse à la vitesse $\vec{v}$ la section d'aire S d'un conduit en une durée Δt, alors le volume V de fluide ayant traversé S peut s'écrire : $V = S \cdot v \cdot \Delta t$ (FIG. 5).

Il vient alors : $Q = \dfrac{V}{\Delta t} = \dfrac{S \cdot v \cdot \Delta t}{\Delta t} = v \cdot S$.

La **relation** entre le **débit volumique Q** et la **vitesse v** du fluide s'écrit :

$$Q = v \cdot S$$

débit volumique ($m^3 \cdot s^{-1}$) ; S : aire de la section du conduit (m^2) ; v : vitesse du fluide ($m \cdot s^{-1}$)

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

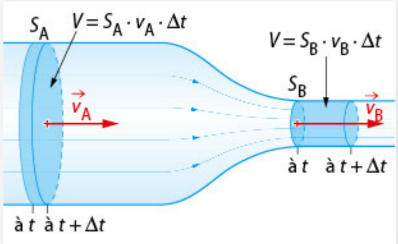


FIG. 6 Pendant une durée Δt, le même volume V de fluide traverse les sections S_A et S_B.

Conservation du débit volumique

Lors de l'écoulement d'un fluide incompressible en régime permanent, il n'y a pas de perte de matière (FIG. 6).

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 $v_A \cdot S_A = v_B \cdot S_B$.

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

Si $S_A > S_B$ alors $v_B > v_A$ (FIG. 6). La **vitesse du fluide augmente lorsque la section du conduit rétrécit**. (FIG. 7).

FIG. 7 La vitesse d'écoulement de l'eau est triplée lorsque l'aire de la section d'un tuyau d'arrosage est divisée par 3. (si $\dfrac{S_A}{S_B} = 3$ alors $v_B = \dfrac{S_A}{S_B} \cdot v_A = 3 \cdot v_A$).

3 Relation de Bernoulli et conséquences

Relation de Bernoulli

Pour l'écoulement d'un fluide incompressible en régime permanent et sans frottement (donc sans échange d'énergie ni par travail ni par transfert thermique), la **relation de Bernoulli** modélise les évolutions de la pression P, de la vitesse v et de l'altitude z le long d'une ligne de courant dans un fluide de masse volumique ρ dans le champ de pesanteur $\vec{g}$:

masse volumique du fluide ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) — altitude (m)

pression du fluide (Pa) →
$$P + \frac{1}{2}\rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot z = \text{constante}$$

vitesse du fluide ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) — intensité de pesanteur ($\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Pour deux points A et B d'une même ligne de courant (FIG. 8), cette relation s'écrit : $P_A + \frac{1}{2}\rho \cdot v_A^2 + \rho \cdot g \cdot z_A = P_B + \frac{1}{2}\rho \cdot v_B^2 + \rho \cdot g \cdot z_B$.

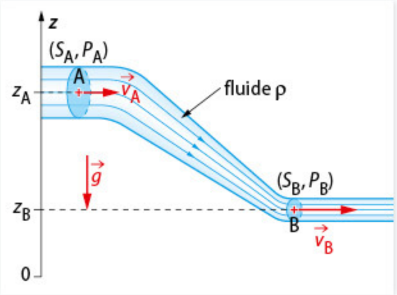


FIG. 8 En régime permanent, sur une même ligne de courant les grandeurs caractéristiques du fluide qui s'écoule (P, ρ, v, z) sont liées par la relation de Bernoulli.

La relation de Bernoulli traduit la conservation de l'énergie totale d'un fluide le long d'une ligne de courant. Elle permet d'interpréter le comportement des fluides dans de nombreux domaines : les écoulements sanguins en médecine, le mouvement des masses d'air et d'eau en géophysique, les flux d'air en aéronautique, l'écoulement de l'eau dans les réseaux d'alimentation.

EXEMPLE

La vitesse de l'eau en sortie du robinet d'une installation domestique alimentée par un château peut être estimée à partir de la relation de Bernoulli (FIG. 9) :

$P_A + \frac{1}{2}\rho \cdot v_A^2 + \rho \cdot g \cdot z_A = P_B + \frac{1}{2}\rho \cdot v_B^2 + \rho \cdot g \cdot z_B$ s'écrit dans ce cas

$P_{atm} + \rho \cdot g \cdot z_A = P_{atm} + \frac{1}{2}\rho \cdot v_B^2$. Après simplification il vient $v_B = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$.

Pour une hauteur h = 10 m alors $v_B = \sqrt{2 \times 9{,}8 \times 10} = 14\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

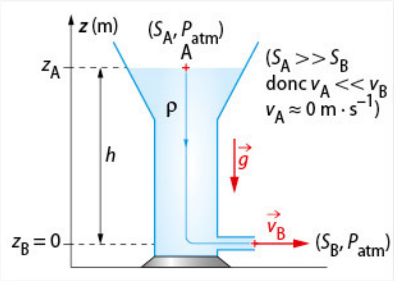


FIG. 9 La vitesse v_B de l'eau du robinet dépend de la hauteur d'eau h dans le château.

Remarque. Si le fluide est au repos ($v = 0\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), la relation devient : $P_A + \rho \cdot g \cdot z_A = P_B + \rho \cdot g \cdot z_B$ que l'on écrit également $\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta z$. On retrouve la loi fondamentale de la statique des fluides.

Effet Venturi

Dans le cas d'un conduit horizontal, $z_A = z_B$ et la relation de Bernoulli s'écrit :

$P + \frac{1}{2}\rho\, v^2 = \text{constante}$ soit $P_A + \frac{1}{2}\rho \cdot v_A^2 = P_B + \frac{1}{2}\rho \cdot v_B^2$.

Il vient alors $P_A - P_B = \frac{1}{2}\rho \cdot (v_B^2 - v_A^2)$. Ainsi si $v_A < v_B$ alors $P_A > P_B$.

Pour un écoulement en régime permanent, **la pression P d'un fluide diminue lorsque sa vitesse v augmente** (et inversement) : il s'agit de l'**effet Venturi** (FIG. 10).

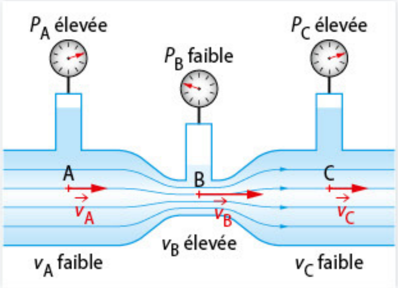
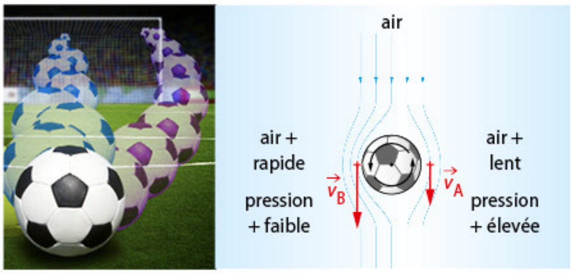


FIG. 10 Effet Venturi : $v_B > v_A$ alors $P_B < P_A$.

EXEMPLE

L'effet Magnus, qui est à l'origine de trajectoires surprenantes dans de nombreux sports, est une manifestation de l'effet Venturi. En imposant un mouvement de rotation (« un effet ») à une balle se déplaçant dans l'air, la vitesse de l'air va augmenter d'un côté de la balle et diminuer de l'autre. Il en résulte une différence de pression de l'air entre les deux côtés de la balle et une action mécanique de l'air sur la balle qui modifie son mouvement (FIG. 11).



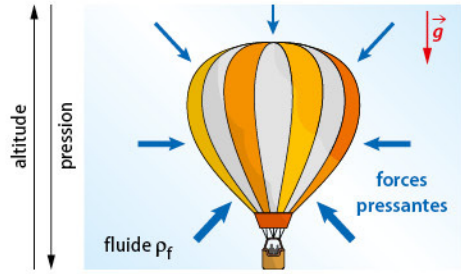
Effet Magnus. **FIG. 11** **Réalité** *Référentiel terrestre* — **Modélisation** *Référentiel de la balle*

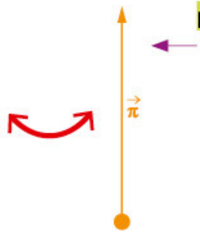
Le vocabulaire à retenir

Les relations à connaître

1 La poussée d'Archimède

Origine — **Modélisation** — **Expression**





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

- **poussée d'Archimède** de valeur π (**N**)
- volume du fluide déplacé (**m³**)
- 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

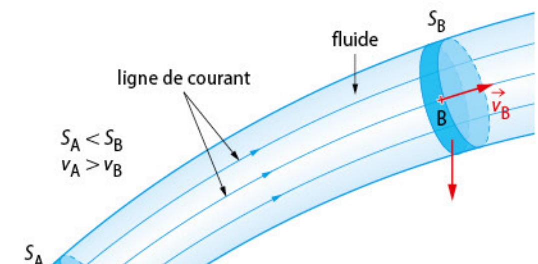
Le **débit volumique** d'un fluide dépend de la vitesse du fluide et de la section du conduit :

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

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

Conservation du débit volumique

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



Écoulement d'un fluide pendant Δt.

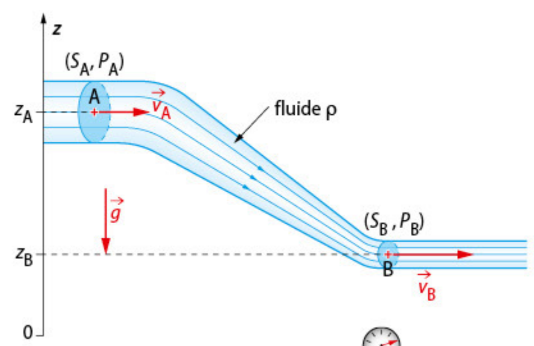
En régime permanent, le débit volumique traversant la section S d'un conduit est constant au cours du temps.

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** :

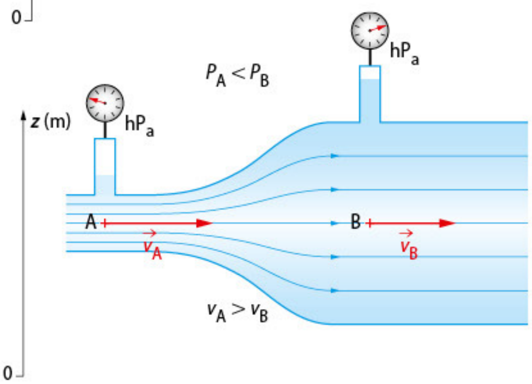
$$P + \frac{1}{2}\rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot z = \text{constante}$$

- masse volumique du fluide (**kg · m⁻³**)
- altitude (**m**)
- pression du fluide (**Pa**)
- vitesse du fluide (**m · s⁻¹**)
- intensité de pesanteur (**N · kg⁻¹**)



Effet Venturi

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



EXERCICES

Vérifier l'essentiel EN AUTONOMIE

Pour chaque question, choisir la ou les bonnes réponses. ➥ SOLUTIONS EN PAGE 593

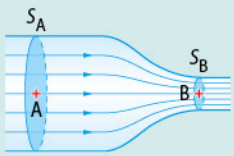
bordas Flash PAGE corrigés détaillés

bordas Flash PAGE QCM interactifs

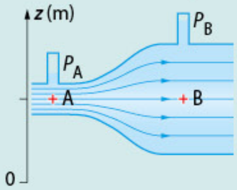
1 La poussée d'Archimède

	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 $P + \frac{1}{2}\rho\, v^2 = \text{constante}$.	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 $P_A < P_B$

corrigés détaillés

Acquérir les bases

1 La poussée d'Archimède

EN AUTONOMIE

Ce qu'on attend de moi le jour du BAC

Poussée d'Archimède
- Savoir expliquer qualitativement l'origine de la poussée d'Archimède.
- Utiliser l'expression vectorielle de la poussée d'Archimède.
- Tester ou exploiter l'expression de la poussée d'Archimède.

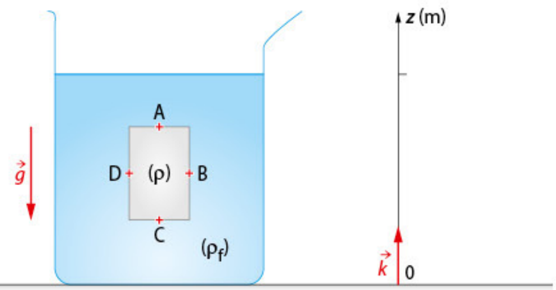
➥ Acquérir les bases : 11 ➥ S'entraîner : 26 27

DONNÉES

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

10 Origine de la poussée d'Archimède

Un corps cylindrique (de volume V et de masse volumique ρ) immergé dans un fluide (de masse volumique ρ_f) est immobile.



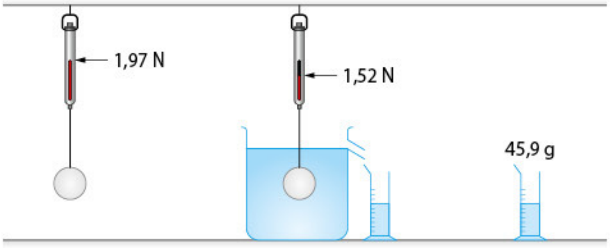
1. a. Représenter sans souci d'échelle les forces qui modélisent les actions mécaniques du fluide sur la surface du corps aux points A, B, C et D.
b. Ces forces se compensent-elles ? Justifier.

2. a. Donner les caractéristiques de la résultante des forces qui modélise l'action du fluide sur le corps immergé. La nommer et la représenter sans souci d'échelle sur un schéma.
b. Écrire son expression vectorielle en fonction du champ de pesanteur terrestre $\vec{g}$ puis en fonction du vecteur unitaire $\vec{k}$.

11 Valeur de la poussée d'Archimède

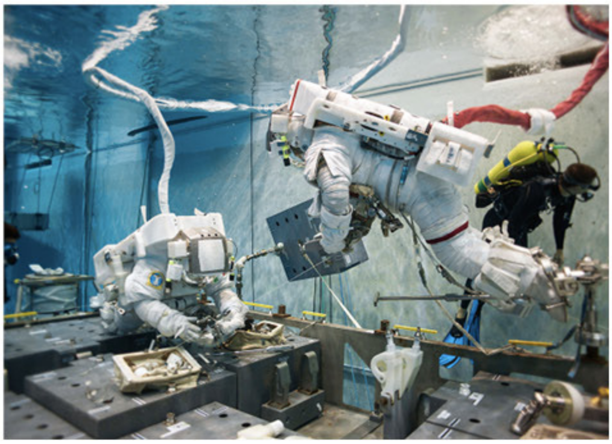
1. Qu'appelle-t-on poussée d'Archimède $\vec{\pi}$? En donner les caractéristiques (direction, sens et valeur).

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.



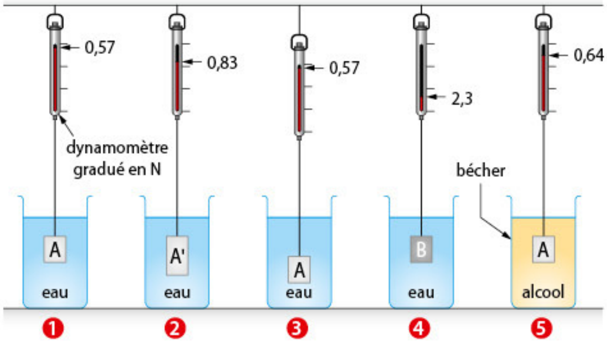
1. Calculer la valeur P_1 du poids et π de la poussée d'Archimède exercée sur un spationaute ($V = 0{,}19\ \text{m}^3$, $m = 200\ \text{kg}$) entièrement immergé.

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 ?

2 Écoulement d'un fluide incompressible

EN AUTONOMIE

Ce qu'on attend de moi le jour du BAC

Écoulement d'un fluide en régime permanent.
Débit volumique d'un fluide incompressible
- Étudier l'écoulement d'un fluide incompressible.
- Savoir calculer un débit volumique et la vitesse d'un fluide.
- Savoir exploiter la conservation du débit volumique.

➥ **Acquérir les bases :** 16 ➥ **S'entraîner :** 28 29

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 $5{,}0\ \text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ 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.

16 Tuyau d'arrosage

Un tuyau d'arrosage de section S_A de 25 mm de diamètre est alimenté par une pompe assurant une vitesse d'écoulement de l'eau $v_A = 1{,}7\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

1. a. Calculer le débit volumique produit par la pompe. Écrire le résultat en litres par heure.

b. Quelle durée est nécessaire pour remplir un arrosoir de 12 L ?

2. L'extrémité du tuyau est pincée de sorte que sa section S_B est réduite à $2{,}0\ \text{cm}^2$. En utilisant la conservation du débit volumique, exprimer la nouvelle vitesse v_B à laquelle l'eau sort du tuyau en fonction de v_A, S_A et S_B puis calculer sa valeur.

17 Nettoyeur haute pression

On considère le nettoyeur haute pression suivant :

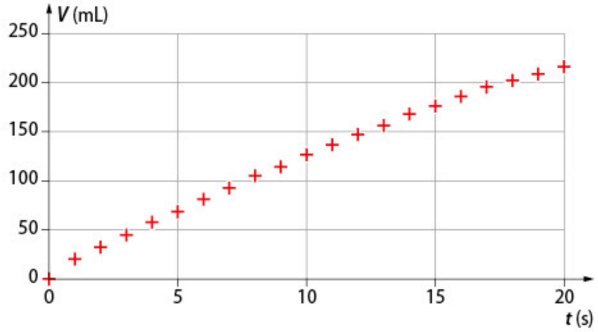
1. Quelle doit être l'aire S_A de la section de la buse pour que la vitesse v_A de l'eau en sortie soit de $125\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$?

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.

18 Écoulement dans une bouteille percée

L'enregistrement vidéo de l'écoulement d'une solution contenue dans une bouteille de diamètre $\varnothing = 8{,}0$ cm percée à sa base a permis d'obtenir le graphique ci-dessous. Il donne les variations du volume V de solution écoulée en fonction du temps t.



1. Justifier que l'écoulement de la solution ne correspond pas à celui d'un régime permanent à partir :

a. de l'allure de la courbe ;

b. du calcul du débit volumique de la solution pour deux instants différents et judicieusement choisis de l'écoulement.

2. a. Déterminer la vitesse de la solution traversant une section de la bouteille pour ces deux instants.

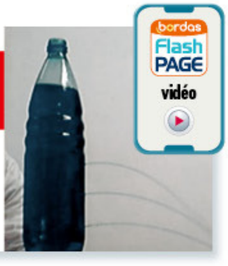
b. Pourquoi la vitesse de la solution à la sortie de bouteille est-elle différente ?

3. Les réponses sont-elles en accord avec les observations faites sur l'animation suivante ?

VIDÉO

Écoulements dans une bouteille percée

Une vidéo qui montre les écoulements produits par une bouteille percée rempli d'eau.



bordas Flash PAGE vidéo

3 Relation de Bernoulli et conséquences

EN AUTONOMIE

Ce qu'on attend de moi le jour du BAC

Relation de Bernoulli

- Étudier l'écoulement d'un fluide.
- Exploiter et tester la relation de Bernoulli.

➥ Acquérir les bases : 19 ➥ S'entraîner : 27, 28

Effet Venturi

- Exploiter la relation de Bernoulli le long d'une ligne de courant horizontale.
- Relier la pression d'un fluide à sa vitesse d'écoulement.

➥ Acquérir les bases : 22 ➥ S'entraîner : 35

DONNÉES

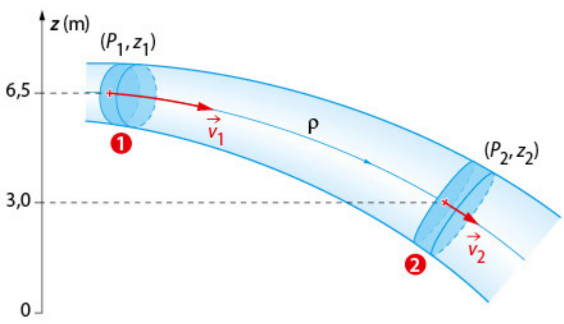
- Relation de Bernoulli :

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

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

19 Écoulement sans frottement

On considère une quantité d'eau en écoulement entre les deux positions ❶ et ❷ 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, $v_1 = 1{,}0\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, $v_2 = 4{,}5 \times 10^{-1}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

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

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

20 Analyse dimensionnelle

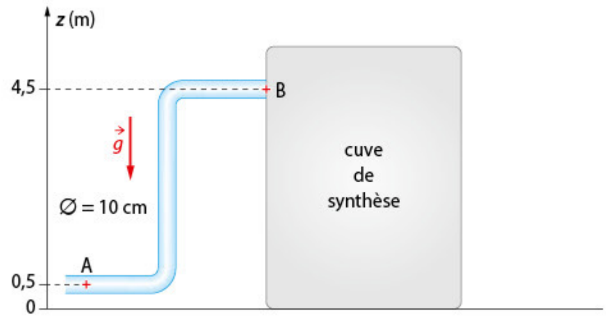
1. Décrire les différentes grandeurs physiques intervenant dans la relation de Bernoulli en indiquant leur nom et l'unité associée.

2. Montrer par une analyse dimensionnelle que les trois membres de l'égalité de la relation de Bernoulli ont la même unité que l'on précisera.

21 Chimie industrielle de synthèse

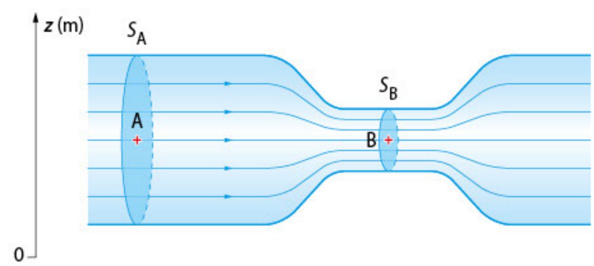
De l'acétone ($\rho = 784\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) s'écoule du point A au point B d'une canalisation industrielle de diamètre constant avec un débit volumique de 0,75 $\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$ dont l'écoulement est modélisé par le schéma ci-dessous. La pression en A vaut 3,5 bar.

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 $\rho = 825\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ s'écoule dans le tube de courant suivant.



Les données sont les suivantes :

$v_A = 4{,}5\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, $P_A = 1\,002$ 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** ?

23 La portance

La portance aérodynamique est une force qui modélise l'action d'un fluide sur l'aile d'un avion ou une balle en sustentation.

À l'aide de l'animation suivante, expliquer en quelques lignes l'origine de cette force.

24 Distance de sécurité en dépassement

Au cours d'un dépassement, une distance suffisante doit séparer les deux véhicules se trouvant côte à côte.

En effet, s'ils se rapprochent trop près, ils auront tendance à se happer l'un l'autre.

1. Expliquer qualitativement ce phénomène de « happement » en indiquant les variations de la vitesse et de la pression de l'air qui s'écoule entre les véhicules qui se rapprochent.

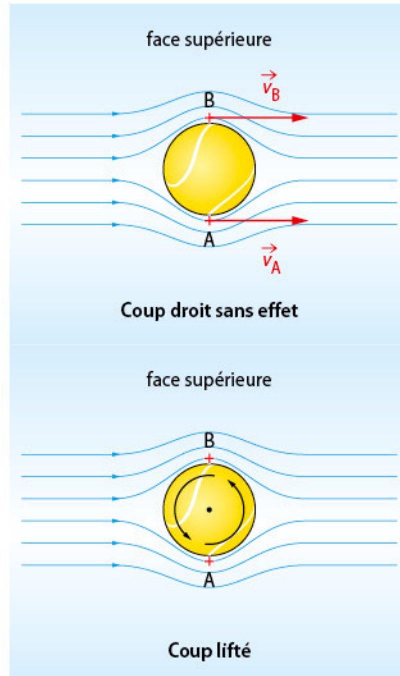
2. Comment nomme-t-on cet effet ?

25 Effet Magnus

Au tennis, lors d'un coup lifté, la rotation de la balle en mouvement dans l'air entraîne, par frottement, l'air qui se trouve à sa surface.

La vitesse de l'air par rapport au centre de la balle augmente alors d'un côté de celle-ci et diminue de l'autre.

Modélisation de l'écoulement de l'air dans le référentiel du centre de la balle sans et avec rotation de la balle autour de son centre



1. Lors d'un coup lifté, indiquer, en justifiant la réponse, la face (supérieure ou inférieure) de la balle sur laquelle :

a. l'air est le plus rapide ;

b. la pression de l'air est la plus grande.

2. a. En déduire la direction et le sens de la résultante des forces pressantes qui modélisent les actions de l'air en mouvement sur la balle.

b. Quelle en est la conséquence sur son mouvement ?

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 $v_B > v_A$.

Retrouver ces questions en version numérique — bordas Flash PAGE cartes mémos

Exercice résolu EN AUTONOMIE

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 m^3 (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 m^3 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.

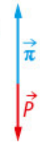
LES VERBES D'ACTION

- **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.

EXEMPLE DE RÉDACTION

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 : $P = m_{système} \cdot g$ et $\pi = \rho_{air} \cdot V_{ballon} \cdot g$
AN : $\boldsymbol{P} = 3 \times 10^3 \times 9{,}81 = 2{,}94 \times 10^4\ N \approx \mathbf{3 \times 10^4\ N}$
et $\boldsymbol{\pi} = 1{,}2 \times 5\ 100 \times 9{,}81 = \mathbf{6{,}1 \times 10^4\ N}$.
On constate que $\pi > P$, ainsi **le ballon peut décoller**.

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

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

AN : $\boldsymbol{V_{ballon}} = \dfrac{3 \times 10^3}{1{,}2} = \mathbf{2\ 500\ m^3}$, 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.

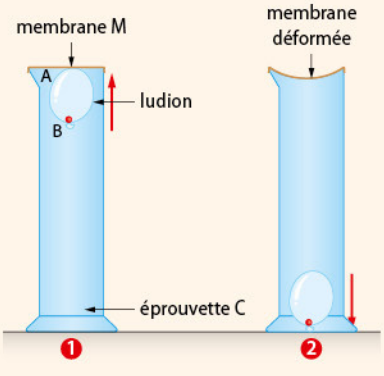
2. a. La masse du système est donnée en tonnes et avec un seul chiffre significatif.
b. Simplifier l'expression littérale du volume V_{ballon} du ballon donne accès à un calcul simple.

EXERCICE SIMILAIRE

27 Le ludion

Un ludion est réalisé à l'aide d'une bille (B) de volume V_B, placée dans un ballon de baudruche (A) fermé et imperméable, renfermant de l'air de volume variable V_A. Placé dans une éprouvette (C), remplie d'eau et fermée par une membrane souple (M), il est en équilibre à la surface de l'eau ❶. Lorsque l'on appuie sur la membrane, la pression de l'eau sur l'air enfermé dans le ludion augmente : il tombe au fond de l'éprouvette ❷.

Données : *masse du ludion* $m_L = 6{,}8\ g$; $V_B = 1{,}8\ cm^3$; $\rho_{eau} = 1\ 000\ kg \cdot m^{-3}$; $g = 9{,}8\ m \cdot s^{-2}$.
L'eau est supposée incompressible.



1. a. Établir l'expression littérale du volume d'air V_A dans le ballon en fonction de m_L, ρ_{eau} et V_B lorsque le ludion est en équilibre.
b. Calculer sa valeur.

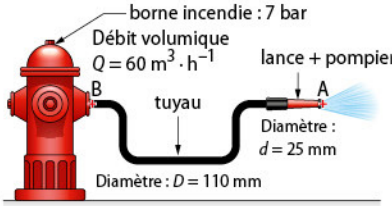
2. a. Indiquer comment évolue le volume d'air contenu dans le ludion après compression de la membrane.
b. Expliquer alors qualitativement que le ludion entame un mouvement vertical vers le bas. Illustrer la situation par un schéma, sans souci d'échelle mais avec cohérence.

Exercice résolu EN AUTONOMIE

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



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.

EXEMPLE DE RÉDACTION

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

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

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

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

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

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

AN : $P_B = 1{,}013 \times 10^5 + \frac{1}{2} \times 1\,000 \times (35^2 - 1{,}8^2) = \mathbf{7{,}1 \times 10^5 \text{ Pa} \approx 7 \text{ bar}}$

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.

LES VERBES D'ACTION

- **Appliquer :** adapter une relation, une notion à une situation particulière en tenant compte des informations fournies.
- **En déduire :** intégrer le ou les résultats précédents pour répondre.
- **Comparer :** mettre en regard deux résultats pour en identifier les différences ou les similitudes.

QUELQUES CONSEILS

1. b. Penser à convertir le débit volumique en m$^3 \cdot$ s^{-1} et le diamètre en m. La formule de l'aire d'un disque est indispensable.

2. a. Identifier dans l'énoncé les informations permettant de simplifier la relation de Bernoulli.

2. b. Utiliser les bonnes unités et s'assurer du résultat en réalisant deux fois le calcul.

EXERCICE SIMILAIRE

29 Fontaine à eau

La tuyère d'une fontaine à eau est alimentée par une pompe assurant un débit d'un mètre cube par minute. Le diamètre de la canalisation d'alimentation est de 80 mm et celui de l'orifice de la tuyère est de 25 mm. Orientée verticalement, le jet d'eau expulsé atteint une hauteur h.

Données : *à la sortie de la tuyère, l'eau éjectée est en contact avec de l'air à la pression atmosphérique, P_{atm} = 1 013 hPa ; g = 9,8 m · s^{-2} ;*

relation de Bernoulli : $P + \frac{1}{2}\rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot z = constante$.

1. a. Calculer la valeur de la vitesse v_A d'éjection de l'eau à la sortie de la tuyère. Expliquer qualitativement pourquoi cette valeur est supérieure à celle de l'eau dans la canalisation.

b. Quelle est la valeur de la pression et de la vitesse de l'eau au sommet du jet ?

2. a. Appliquer la relation de Bernoulli entre un point de l'orifice de la tuyère et un point du sommet du jet situés tous deux sur une même ligne de courant.

b. En déduire l'expression littérale de la hauteur h du jet d'eau en fonction de v_A et g puis calculer sa valeur.

c. Pourquoi la hauteur réelle du jet est plus faible que la valeur calculée ?

d. Quelle modification de la tuyère permettrait d'augmenter la hauteur du jet ?

Flash PAGE corrigés détaillés

S'entraîner pour maîtriser

DONNÉES

- $g = 9{,}8\ N \cdot kg^{-1}$, $\rho_{eau} = 998\ kg \cdot m^{-3}$ à 20 °C.
- Relation de Bernoulli : $P + \frac{1}{2}\rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot z =$ constante.

SAVOIR RÉDIGER

30 Proposer une correction de la solution proposée par un élève à l'énoncé.

Énoncé

Un plongeur possède une masse $m = 85$ kg et un volume $V = 90$ L (équipement compris).

1. a. Calculer la valeur P du poids du plongeur et π de la poussée d'Archimède lorsqu'il est entièrement immergé.
b. Quelle est l'origine de ces actions ?
c. Le plongeur parvient-il à se maintenir en surface ? Si oui, indiquer la valeur du volume réellement immergé.

2. Surlesté en fin de plongée il ne peut pas se maintenir à une profondeur constante. Sa masse est alors de 92 kg. Quel volume d'air doit-il introduire dans son gilet pour obtenir une flottabilité positive et remonter vers la surface ?

Solution proposée par un élève

1. a. $P = 85 \times 9{,}8 = 833$ N et $\pi = 998 \times 0{,}090 \times 9{,}8 = 880$ N.) **Attention au nombre de chiffres significatifs utilisés**
b. Le fluide est à l'origine de ces actions.) **Réponse à développer**
c. $\pi > P$ donc il se maintient en surface. $V_{immergé} = \pi / (\rho \cdot g) = 880/(998 \times 9{,}8) = 90$ L) **Corriger la valeur de π utilisée**
2. Pour $\pi = P$ alors $V_{immergé} = m \cdot g / (\rho \cdot g) = m / \rho = 92/998 = 9{,}2 \times 10^{-2}\ m^3 = 92$ L
Il doit introduire 92 L d'air dans son gilet.) **Revoir la condition de mise en mouvement**

31 Stockage de l'eau à New York

Un réservoir situé sur le toit d'un immeuble permet d'alimenter en eau les appartements situés en dessous avec une pression suffisante. Dans le réservoir d'une section $S_A = 10\ m^2$, l'eau est stockée sur une hauteur h de 5,5 m. L'écoulement s'effectue par une canalisation de section $S_B = 7{,}0 \times 10^{-2}\ m^2$ située à la base du réservoir.

Donnée : *au sommet du réservoir comme à la sortie de la canalisation, l'eau est en contact avec l'air à la pression atmosphérique.*

1. a. Exploiter la conservation du débit volumique pour exprimer la vitesse v_B de l'eau à la sortie de la canalisation en fonction de S_A, S_B et v_A, la vitesse de l'eau à la surface libre du réservoir.
b. En déduire que la vitesse v_A peut être négligée par rapport à v_B et considérée comme quasiment nulle.

2. a. Appliquer la relation de Bernoulli entre un point A de la surface libre de l'eau dans le réservoir et un point B de la canalisation de sortie (on suppose que A et B sont sur la même ligne de courant).
b. En déduire que la vitesse v_B est donnée par l'expression littérale $v_B = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$ puis déterminer sa valeur.
c. Calculer le débit volumique de l'eau dans la canalisation.

Coups de pouce

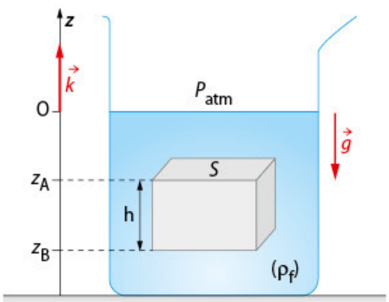
- Penser à utiliser les bonnes unités.
- La donnée et la question 1. b. apportent des informations permettant de simplifier la relation de Bernoulli.

32 Origine de la poussée d'Archimède

DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

On considère un cube de hauteur h, plongé dans un fluide de masse volumique $\rho_f \cdot \vec{g}$, P_{atm}, S et V désignant respectivement le champ de pesanteur terrestre, la pression atmosphérique, l'aire d'une face du cube et son volume.

Un axe des altitudes (Oz) de vecteur unitaire $\vec{k}$ est dirigé vers le haut.



DÉMARCHE EXPERTE

À partir d'un raisonnement mettant en jeu la loi fondamentale de la statique des fluides et la notion de force pressante, vérifier l'expression vectorielle (direction, sens et valeur) de la poussée d'Archimède qui modélise les actions mécaniques agissant sur un cube immergé dans un fluide.

DÉMARCHE AVANCÉE

1. a. Représenter sur un schéma, sans souci d'échelle mais cohérent avec la situation, les forces pressantes $\vec{F}_A$ et $\vec{F}_B$ qui modélisent les actions mécaniques du fluide sur les surfaces supérieure et inférieure du cube.
b. Pourquoi les actions mécaniques du fluide sur les surfaces latérales du cube se compensent-elles ?

2. a. Exprimer ($F_B - F_A$) en fonction de la différence de pression ($P_B - P_A$) puis en fonction de ρ_f, h et g.
b. En déduire l'expression vectorielle $\Sigma\vec{F}$ de la résultante des forces qui modélisent les actions du fluide sur le cube. La comparer à celle du poids $\vec{P}$ d'un volume de fluide égal à celui du cube (donc à celui déplacé par le cube immergé). Conclure.

33 Helium balloon

A meteorological balloon inflated with helium must embark in the atmosphere a set of sensors with a mass of 500 g.

Data : *M_{He} = 4,0 g · mol⁻¹*, *M_O = 16,0 g · mol^{-1}, M_N = 14,0 g · mol^{-1}, air composition : dinitrogen 80% – dioxygen 20%, V_M = 22,4 L · mol^{-1}.*

1. Calculate the density of helium and the density of air.

2. What should be the minimum volume of the balloon befor it to rise?

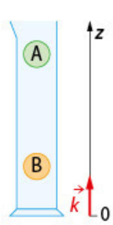
34 Le thermomètre de Galilée

Galilée s'est intéressé au phénomène de flottabilité et à la mesure de densité. Il est à l'origine d'un thermomètre dont le fonctionnement provient du fait que la masse volumique d'un liquide décroît fortement lorsque la température augmente.

On modélise un thermomètre de Galilée à l'aide d'une éprouvette remplie d'eau contenant deux sphères A et B de même volume V et de masse m_A et m_B différentes. À θ = 24 °C, la sphère A, complètement immergée, est en équilibre dans le liquide. À θ = 22 °C, c'est la sphère B. On note ρ_A et ρ_B les masses volumiques des sphères A et B.

Données : *ρ_{eau} vaut 997,38 kg · m^{-3} à 24 °C et 997,86 kg · m^{-3} à 22 °C ; V = 2 mL et est indépendant de la température ; g = 9,8 N · kg^{-1} et $\vec{k}$ est un vecteur unitaire.*

1. a. Faire un bilan des actions mécaniques qui agissent sur la sphère A. Les représenter sur un schéma (sans souci d'échelle) et donner leur expression en fonction de ρ_{eau}, ρ_A, V, g et $\vec{k}$.
b. Déterminer la valeur de la masse volumique ρ_A de la sphère A.
c. Lorsque la température s'élève au-dessus de 24 °C, la sphère A se met en mouvement. Justifier dans quel sens.



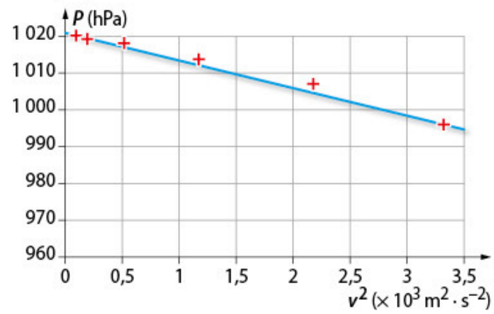
2. a. Expliquer qu'à 24 °C la sphère B reste en bas de l'éprouvette.
b. Pour quelles températures s'élèvera-t-elle ?

3. a. Calculer en milligramme la différence de masse $\Delta m = m_B - m_A$ des sphères A et B. En déduire l'intérêt d'utiliser un liquide autre que l'eau (généralement une huile minérale) pour remplir la colonne d'un thermomètre de Galilée.
b. Lire sur le thermomètre de Galilée du schéma la température mesurée. Écrire le résultat de la mesure accompagnée de son incertitude-type.

35 VMC TABLEUR-GRAPHEUR

1. Toutes les 10 minutes, une VMC (ventilation mécanique contrôlée) recycle l'air d'une pièce de 25 m³. Calculer la vitesse de l'air traversant une section de la gaine de 200 mm de diamètre intérieur.

2. Au moyen d'un capteur de pression relié à un microcontrôleur, on enregistre la pression de l'air qui s'écoule dans des gaines horizontales de différentes sections. On obtient le graphe suivant.



a. Quel type de fonction choisir pour modéliser ces mesures ?
b. À quoi correspond l'ordonnée à l'origine ? Donner sa valeur.
c. L'évolution constatée expérimentalement est-elle en accord avec le modèle de Bernoulli ?

À L'ORAL

36 Plongée d'un sous-marin

Élaborer un exposé oral permettant d'expliquer l'animation suivante.

Les mots-clés à utiliser
- masse volumique
- poussée d'Archimède
- poids
- résultante de forces
- mouvement

37 RETOUR SUR LA PAGE D'OUVERTURE

Dans le sport automobile, l'effet de sol est mis à profit pour accroître l'adhérence des véhicules au circuit et les « coller » à la piste.

Préparer un exposé oral qui explique ce phénomène aérodynamique.

À la date de publication de ce manuel, les notions enseignées dans ce chapitre sont exclues de l'épreuve écrite.

PRÉPA BAC

Développer ses compétences

38 Décollage d'une montgolfière RÉSOLUTION DE PROBLÈME

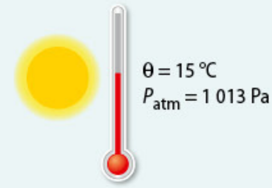
50 min

AN/RAI Proposer une stratégie de résolution

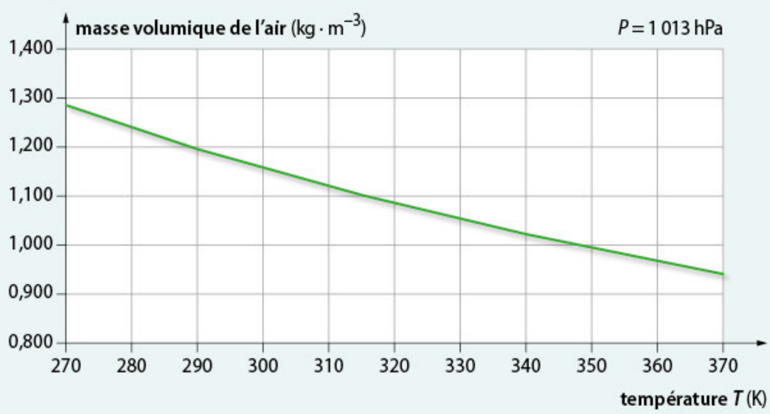
Les déplacements verticaux d'une montgolfière sont assurés par le chauffage de l'air qu'elle renferme au moyen d'un brûleur et de réserves en carburant.

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 : $g = 9{,}81\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$
- $T(\text{en K}) = \theta(\text{en °C}) + 273{,}15$
- Volume d'une sphère de rayon R : $V = \dfrac{4}{3}\pi R^3$
- 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 si elle n'a pas abouti.

EXERCICES PRÉPA BAC

À la date de publication de ce manuel, les notions enseignées dans ce chapitre sont exclues de l'épreuve écrite.

39 La fusée à eau RÉSOLUTION DE PROBLÈME

50 min

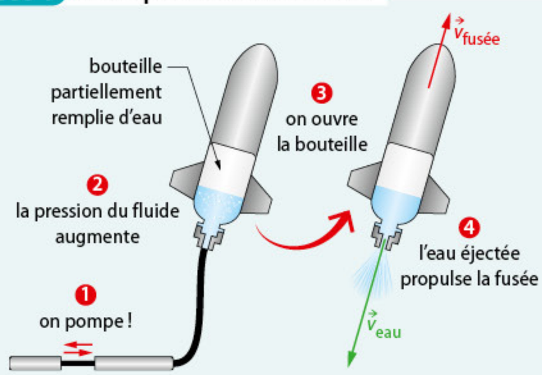
RÉA Utiliser un modèle

Une fusée à eau utilise un écoulement d'eau et d'air sous pression pour être propulsée par réaction. Lorsque l'eau est éjectée du réservoir de la fusée, une force de réaction créée dans le sens opposé génère une vitesse pouvant atteindre plusieurs kilomètres par heure.

DONNÉES

- Intensité du champ de pesanteur : $g = 9{,}81\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$
- Masse volumique de l'eau : $\rho = 1\,000\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- $P_{\text{atm}} = 1\,000\ \text{hPa}$

DOC 1 Principe de la fusée à eau



À l'ouverture, l'écoulement du fluide contenu dans la bouteille (l'eau dans un premier temps) produit une poussée suffisamment intense pour propulser la fusée en sens opposé. Cette action du fluide éjecté peut être modélisée par une force dont la valeur, maximale à l'ouverture, est l'équivalent du double de la force pressante modélisant l'action de l'eau sur la surface de la tuyère. Par la suite, le réservoir se vide progressivement, la pression diminue ainsi que la poussée.

Tout au long de son mouvement, la vitesse de la fusée est liée à la vitesse du fluide éjecté :

$$\vec{v}_{\text{fusée}} = -\frac{m_{\text{fluide éjecté}}}{m_{\text{fusée}}}\vec{v}_{\text{fluide éjecté}}$$

DOC 2 Des lois de la mécanique des fluides

• Loi fondamentale de la statique des fluides

Entre n'importe quels points A et B d'un liquide au repos :

$$P_B - P_A = \rho \cdot g \cdot (z_A - z_B)$$

• Relation de Bernoulli

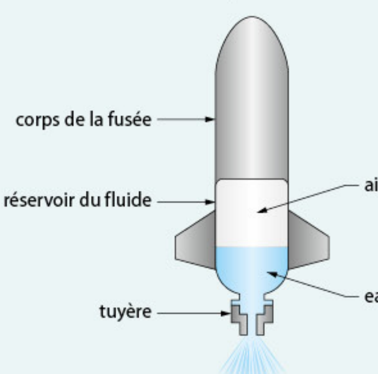
Pour n'importe quels points A et B situés sur une même ligne de courant :

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

P, ρ, z et v désignent respectivement la pression, la masse volumique, l'altitude et la vitesse du fluide et g est l'intensité du champ de pesanteur. Leurs valeurs doivent être exprimées dans les unités du système international.

DOC 3 Quelques caractéristiques de la fusée

- Masse à vide : 100 g
- Diamètre du corps : 8,5 cm
- Diamètre de la tuyère : 2,0 cm
- Volume total : 1,5 L
- Hauteur totale : 40 cm
- Hauteur d'eau dans le réservoir : 10 cm
- Pression de l'air intérieur : 6,0 bar



QUESTIONS PRÉLIMINAIRES

1. Montrer qu'à l'instant du décollage la force de poussée de la fusée à eau est suffisamment importante pour assurer son décollage.

2. Appliquer la conservation du débit volumique pour montrer que l'écoulement de l'eau dans le réservoir s'effectue à une vitesse négligeable devant celle de l'éjection par la tuyère.

LE PROBLÈME À RÉSOUDRE

Quelle vitesse atteint la fusée à eau dix millisecondes après son décollage ?

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

Bordas Flash PAGE corrigé détaillé

À la date de publication de ce manuel, les notions enseignées dans ce chapitre sont exclues de l'épreuve écrite.

Retrouvez des exercices de synthèse p. 364

PRÉPA BAC

40 Anévrisme de l'aorte SVT RÉSOLUTION DE PROBLÈME

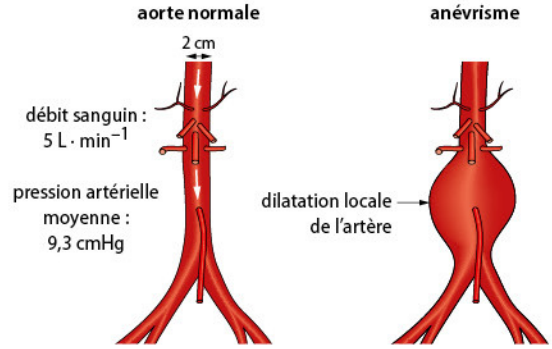
30 min

AN/RAI Faire des prévisions à l'aide d'un modèle

Diagnostiqué par échographie Doppler, un anévrisme modifie les caractéristiques de l'écoulement sanguin.

DONNÉES

- 1,0 mmHg = 133,3 Pa ; $\rho_{sang} = 1061\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $g = 9{,}81\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$
- Relation de Bernoulli : $P + \frac{1}{2}\rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot z = \text{constante}$



QUESTIONS PRÉLIMINAIRES

Quel est l'effet de l'augmentation du diamètre de l'artère aorte sur :

a. le débit volumique sanguin ?
b. la vitesse d'écoulement du sang dans l'artère aorte ?
c. la pression sanguine au niveau de l'anévrisme ?

LE PROBLÈME À RÉSOUDRE

Estimer à partir de la figure ci-dessus les nouvelles valeurs de chacune des grandeurs modifiées suite à un anévrisme.

VERS LE SUP'

41 La sonde de Pitot

En aéronautique, la vitesse aérodynamique des appareils est calculée au moyen de sondes de Pitot.

DONNÉES

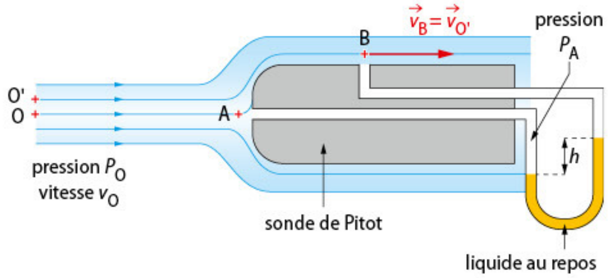
- À une altitude de 10 km, un avion de ligne se déplace à une vitesse aérodynamique d'environ $800\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, $\rho_{air} = 0{,}413\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ et $g = 9{,}78\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$. $\rho_{eau} = 998{,}29\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ à 20 °C.
- Une sonde de Pitot étant fine, la différence d'altitude entre les points A et B est négligeable.
- La vitesse v de l'air a la même valeur en tout point d'une section droite d'un tube de courant.

DOC Principe de fonctionnement

Une sonde de Pitot est un dispositif constitué d'un double tube fin placé parallèlement à l'écoulement du fluide. Ses extrémités sont reliées à un manomètre et ses orifices (A et B) sont disposés de façon spécifique.

La prise axiale A capte la pression statique P_A du fluide : la ligne de courant issue du point O situé sur l'axe du tube vient s'arrêter au point A. La pression P_A mesurée correspond à celle du fluide immobile par rapport au tube.

La prise latérale B capte la pression dynamique P_B du fluide : la ligne de courant issue d'un point O' très proche de O effleure le tube en passant par le point B à la vitesse v_B.



La vitesse du fluide en B étant supérieure à celle en A (A est un point d'arrêt du fluide), alors P_B est inférieure à P_A. La différence de pression ($P_A - P_B$) entre les deux prises de mesure est directement liée à la vitesse v_O du fluide en écoulement autour de la sonde.

Des manomètres différentiels sont utilisés pour mesurer cet écart de pression. Pour des avions de ligne en vol, cet écart est équivalent dans un tube en U rempli d'eau à une dénivellation h de l'ordre d'un mètre.

1. a. Appliquer la relation de Bernoulli aux lignes de courant O'B et OA pour établir une relation entre P_B et P_O et une relation liant P_A, P_O, ρ_{air} et v_O.
b. En déduire l'expression littérale liant la vitesse v_O, la différence de pression ($P_A - P_B$) et ρ_{air}.

2. Exprimer ($P_A - P_B$) en fonction de h, à l'aide de la loi fondamentale de la statique des fluides.

3. Déterminer la valeur de la vitesse aérodynamique calculée pour un appareil en vol.

À la date de publication de ce manuel, cette capacité expérimentale est exclue de l'épreuve pratique.

GESTE ECE n° 11 — Flash PAGE vidéo

Ascension d'un ballon-sonde

Contexte

L'objectif de cette activité est de tester l'expression de la poussée d'Archimède modélisant l'action de l'air sur un ballon sonde à partir de la vidéo de son décollage.

Documents mis à disposition

DOC 1 Expression vectorielle de la poussée d'Archimède

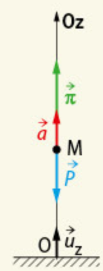
« Tout corps immergé dans un fluide subit, de la part de ce fluide, des actions mécaniques modélisées par une force $\vec{\pi}$ verticale dirigée vers le haut et de valeur égale au poids du volume de fluide déplacé $\vec{\pi} = \rho \cdot V \cdot g \cdot \vec{u}_z$ ».

Avec :
- ρ la masse volumique du fluide déplacé ;
- V le volume de fluide déplacé ;
- g l'intensité de pesanteur au lieu considéré. À la surface de la Terre, $g = 9{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$;
- $\vec{u}_z$ le vecteur unitaire d'un axe vertical (Oz) est orienté vers le haut.

DOC 2 Décollage d'un ballon-sonde et dimensions du système

La mise en mouvement d'un ballon-sonde est assurée par la poussée d'Archimède qui modélise l'action de l'air ($\rho_{air} = 1{,}2\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) sur le ballon. Tant que sa valeur l'emporte (sur son poids et les frottements de l'air), le mouvement est accéléré. C'est le cas lors des premiers instants du décollage où la vitesse du ballon est faible et les frottements négligeables. Par la suite, l'ascension s'effectue à vitesse constante.

Le ballon-sonde est assimilable à une sphère de rayon moyen $R = 10{,}0$ cm et de volume $V = 4{,}2$ L.



VIDÉO
Décollage d'un ballon sonde

Flash PAGE vidéo

DOC 3 Bilan des actions mécaniques

En phase de décollage sans frottement, le système (ballon + sondes) est modélisé par le point matériel M et étudié dans un référentiel terrestre considéré comme galiléen. L'application de la deuxième loi de Newton amène l'expression suivante : $\pi = m\,(a + g)$, avec :
- π la valeur de la poussée d'Archimède ;
- m la masse du système : $m = 4{,}7$ g avec une incertitude-type associée $u(m) = 0{,}1$ g ;
- a la valeur de l'accélération du point M qui modélise le ballon.

Matériel mis à disposition

- Une calculette type « collège » ou un ordinateur avec fonction « calculatrice »
- Un ordinateur
- Un logiciel lecteur de vidéos
- Un logiciel de pointage et un logiciel tableur-grapheur accompagné d'une notice d'utilisation simplifiée
- Une vidéo « décollage d'un ballon-sonde » montrant le décollage d'un ballon sonde

Travail à effectuer

1. AN/RAI **Proposition de protocole expérimental** *(20 min conseillées)*

■ Visionner la vidéo intitulée « décollage d'un ballon-sonde ».

■ En utilisant les documents et le matériel mis à disposition, proposer un protocole expérimental permettant de déterminer la valeur de l'accélération du ballon lors de sa mise en mouvement.

Être en mesure de présenter le protocole

2. RÉA **Mise en œuvre du protocole expérimental proposé** *(20 min conseillées)*

■ Mettre en œuvre le protocole précédemment validé.

Être en mesure de présenter l'acquisition et le traitement informatique réalisé

■ Indiquer la valeur de l'accélération a du ballon déterminée expérimentalement accompagnée de son incertitude type u_a.

3. RÉA VAL **Exploitation du résultat obtenu** *(20 min conseillées)*

1. Calculer la valeur π de la poussée d'Archimède (accompagnée de son incertitude type $u(\pi)$ à partir de l'accélération déterminée précédemment et des valeurs fournies.

On donne : $$\frac{u(\pi)}{\pi} = \sqrt{\left(\frac{u(m)}{m}\right)^2 + \left(\frac{u(a)}{a}\right)^2}$$

2. Comparer cette valeur avec celle donnée par l'expression vectorielle.

3. Commenter le résultat obtenu en portant un regard critique sur la méthode employée.

Fermer les logiciels et ranger la paillasse avant de quitter la salle.

PISTE POUR LE GRAND ORAL PRÉPA BAC

Pour se préparer à l'Oral
➥ Livret LES CLÉS DU BAC
(en début de manuel)

UNE QUESTION

Un projet de taxis « volants » au-dessus de l'eau est-il réaliste ?

Enjeu de la question

De nouvelles embarcations pourraient naviguer à une vitesse supérieure en moyenne à celle des véhicules routiers. Un moyen de désengorger les centres villes de manière écologique : zéro émission de CO_2, zéro bruit, zéro vague.

Proposition de plan de présentation

1. Modélisation des actions exercées sur un bateau : poids, poussée d'Archimède, propulsion, traînée.
2. Inconvénients et limites des embarcations « classiques ». Des solutions envisageables : augmenter la puissance de propulsion, réduire la résistance à l'avancement.
3. Principe de fonctionnement d'un foil et avantage hydrodynamique.
4. Conclusion : applications aux taxis flottants, avantages et limites du projet.

Exemple de support de présentation

Projet de taxis électriques sur la Seine

Les mots-clés

poussée d'Archimède ◗ relation de Bernoulli ◗ effet Venturi ◗ pression ◗ écoulement ◗ vitesse d'un fluide

QUESTIONS D'APPROFONDISSEMENT POSSIBLES

À propos des systèmes à hydrofoils…

- **Qu'est-ce que l'effet Venturi ?**
- **Quelle est l'origine de la poussée d'Archimède ?**
- **Comment évaluer expérimentalement l'apport d'un système à hydrofoils sur la vitesse d'une embarcation ?**
- **Comment expliquer qu'un navire à hydrofoils sorte de l'eau à partir d'une certaine vitesse ?**
- **Quel intérêt pourrait présenter un foil à incidence variable ?**

UN EXEMPLE DE PROJET PROFESSIONNEL

Après le bac : *bac + 5 diplôme d'ingénieur ou master spécialisé en aéronautique, aérodynamisme ou mécanique des fluides.*
Autres métiers : *ingénieur(e) d'étude et de développement de logiciel de simulation, ingénieur(e) et techniciens d'essais, ingénieur/e concepteur(trice) en mécanique.*

Le développement de moyens de transport à la fois rapides et économes en énergie devient une nécessité. Dans de nombreux secteurs, comme l'aéronautique, l'automobile, la construction navale, l'architecture des bâtiments, des métiers relatifs à l'aérodynamisme et l'hydrodynamisme sont essentiels, aussi bien à des postes d'ingénieurs que de techniciens.

L'ingénieur **aérodynamicien** est chargé d'étudier les propriétés aérodynamiques d'un projet. Il analyse sa résistance à l'air, utilise des simulations informatiques, réalise des prototypes et effectue des tests afin de proposer des améliorations et permettre un développement du projet à plus grande échelle.