
Poussée d'Archimède

$$\vec{P}_A = -\rho_{liq} V_{liq} \vec{g}$$

Poids apparent

$$\vec{G}_A = \vec{G} + \vec{P}_A = (\rho V - \rho_{liq} V_{liq}) \vec{g}$$

Continuité

$$Q = S_1 v_1 = S_2 v_2$$

Pression

$$p = \frac{F}{S}$$

Bernoulli

$$p_1 + \rho g r_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} = p_2 + \rho g r_2 + \rho \frac{v_2^2}{2} + \Delta P_{pertes}$$

Reynolds

$$Re = \frac{\rho v D}{\eta}$$

Poiseuille

$$Q = S v = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8 \eta L} \text{ si laminaire } (Re < 2000)$$

Darcy-Weisbach

$$\Delta P = f \frac{\rho L v^2}{2D} \text{ où } f = \frac{64}{Re} \text{ si laminaire et } f = \frac{1}{Re^{\frac{1}{4}}} \text{ sinon}$$

Sédimentation

$$v = \frac{2}{9} a \frac{R^2 (\rho - \rho_{liq})}{\eta} \text{ si condition de Stokes } (Re < 1)$$

Tension superficielle

$$\sigma = \frac{F}{l}$$

Jurin

$$h = \frac{2\sigma}{r\rho g}$$

eau	0°C	$\sigma = 7,6.10^{-2} \text{ N/m}$
	20°C	$\sigma = 7,3.10^{-2} \text{ N/m}$
	37°C	$\sigma = 7,0.10^{-2} \text{ N/m}$
plasma sanguin	37°C	$\sigma = 7,3.10^{-2} \text{ N/m}$
mercure	20°C	$\sigma = 4,36.10^{-1} \text{ N/m}$

corps, à la pression atmosphérique	température ($^{\circ}C$)	viscosité η ($Pa.s$)
Fluide parfaitement défini		
hydrogène	0	$8,4.10^{-6}$
	50	$9,3.10^{-6}$
	100	$10,3.10^{-6}$
air	0	$17,1.10^{-6}$
	50	$19,4.10^{-6}$
	100	$22,0.10^{-6}$
xénon	0	$21,2.10^{-6}$
eau	0	$1,79.10^{-3}$
	20, 2	10^{-3}
	50	$0,55.10^{-3}$
	100	$0,28.10^{-3}$
glace	-13	15.10^{12}
mercure	20	$17,0.10^{-3}$
acétone	20	$0,326.10^{-3}$
éthanol	20	$0,248.10^{-3}$
méthanol	20	$0,59.10^{-3}$
benzène	20	$0,64.10^{-3}$
nitrobenzène	20	$2,0.10^{-3}$

Fluide de la vie courante		
bitume	20	10^8
mélasse	20	10^2
miel	20	10
huile de ricin	20	0.985
huile d'olive	20	$[81.10^{-2}, 100.10^{-2}]$
café crème	20	10.10^{-3}
sang	37	$[4.10^{-3}, 25.10^{-3}]$
jus de raisin	20	$[2.10^{-3}, 5.10^{-3}]$
pétrole	20	$0,65.10^{-3}$

Chapitre 1

Fluides non-visqueux

1.1 Poussée d'Archimède

Exercice 1

Un homme de 75 kg flotte dans l'eau douce. La quasi-totalité de son corps se trouve sous la surface. Quel est son volume ?

Exercice 2

Un objet pèse 100 N dans l'air et 75 N dans l'eau. Quelle est la densité de cet objet ?

Exercice 3

Un réservoir d'eau placé sur une balance pèse 200 N . On y introduit un saumon d'un poids de 12 N qui nage dans le réservoir (poids apparent). Quelles sont les mesures relevées sur la balance, sachant que la densité du saumon vaut environ $1,23$?

Exercice 4

Un ballon a une capacité de $0,1\text{ m}^3$. Rempli d'hélium, quel poids peut-il soulever ? Utiliser les masses volumiques de l'hélium et de l'air données dans les conditions normales (voir cours).

Exercice 5

On laisse tomber une bûche de 40 kg dans une rivière à 0°C . Si la bûche a une densité de $0,8$, quelle fraction de son volume émergera-t-il de l'eau ?

Exercice 6

Pour déterminer la densité du sucre soluble dans l'eau, on le plonge dans du benzène. Un morceau de sucre ayant un poids de $0,222\text{ N}$ dans l'air a, dans le benzène, un poids apparent de $0,045\text{ N}$. Calculer

la masse volumique et la densité du sucre sachant que la densité du benzène vaut 878 kg/m^3 .

Exercice 7

Une bille de cuivre est creuse. Son poids est de 5 N dans l'air et son poids apparent est de $4,1 \text{ N}$ lorsqu'elle est immergée dans l'eau. Calculer le volume du creux intérieur de la bille, sachant que la masse volumique du cuivre vaut $8,94 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$.

Exercice 8

Un récipient contient 10 cm d'eau surmonté de 10 cm d'huile de densité $0,6$. Un bloc cubique de 10 cm de côté reste en équilibre au sein du liquide de telle sorte qu'il plonge de 2 cm dans l'eau. Calculer la masse volumique du bloc.

Exercice 9

Un ballon a les caractéristiques suivantes :

- volume = 500 m^3 ,
- masse de l'enveloppe = 60 kg ,
- masse de la nacelle = 30 kg ,
- masse du lest = 50 kg ,
- masse de l'aéronaute = 70 kg .

Le ballon est gonflé à l'aide d'un gaz de masse volumique $0,4 \text{ kg/m}^3$. La masse volumique de l'air est de $1,293 \text{ kg/m}^3$. Que vaut la force ascensionnelle du ballon ? Quelle est son accélération de départ ? ($g = 10 \text{ m/s}^2$.)

1.2 Equation de continuité

Exercice 1

Dans un tuyau de 50 cm^2 de section, un liquide s'écoule à la vitesse de 1 m/s . Le tuyau se rétrécit et la section tombe à 20 cm^2 . Quelle est la vitesse du liquide dans la partie étroite et que vaut le débit ?

Exercice 2

De l'eau s'écoule dans un tuyau horizontal et le débit est égal à 2 l/s . Calculer la différence de pression entre deux points où les sections du tuyau sont respectivement de 20 et 50 cm^2 .

Exercice 3

Le rayon d'une conduite d'eau décroît de $0,2$ à $0,1 \text{ m}$. La vitesse moyenne dans la portion la plus large du tuyau est égale à 3 m/s . Que vaut la vitesse moyenne dans la partie la plus étroite ?

Exercice 4

Un tuyau d'arrosage d'une section de 2 cm^2 a un débit de $200 \text{ cm}^3/\text{s}$. Calculer la vitesse moyenne de l'eau.

Exercice 5

Un vaisseau sanguin de rayon r se ramifie en quatre vaisseaux, chacun de rayon $r/3$. Si la vitesse moyenne dans le vaisseau le plus large est égale à v , trouver la vitesse moyenne dans chacun des petits vaisseaux.

1.3 Equation de Bernoulli

Exercice 1

Si l'eau monte du rez-de-chaussée au premier étage à travers des tuyaux à section constante, la pression est-elle partout la même? Expliquer.

Exercice 2 : conséquences statiques

Des photos sous-marines ont été prises à une profondeur de 8000 m . Quelle est la pression à cette profondeur? Quelle est la force appliquée sur l'objectif, sachant que celui-ci mesure $0,1 \text{ m}$ sur $0,15 \text{ m}$?

Exercice 3 : conséquences statiques

Quelle est la différence de pression entre le coeur et le cerveau d'une girafe si le cerveau se trouve à 2 m au-dessus du niveau du coeur? (Supposer que la vitesse du sang est la même aux deux endroits.)

Exercice 4 : conséquences statiques

Estimer la différence de pression atmosphérique entre le niveau de la mer et le sommet d'une colline haute de 500 m . ($T = 0^\circ\text{C}$.)

Exercice 5 : conséquences statiques

Jusqu'à quelle hauteur l'eau peut-elle s'élever dans les tuyaux d'un immeuble si la pression de jauge au niveau du rez-de-chaussée est égale à $2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$?

Exercice 6 : conséquences statiques

Un sous-marin plonge à une profondeur de 100 m dans la mer. De quelle pression de jauge devra-t-on disposer afin de chasser l'eau des ballasts?

Exercice 7 : conséquences statiques

Une certaine pression peut supporter une colonne d'eau pure d'une hauteur de $0,7\text{ m}$. La même pression supportera une colonne d'une solution saline de $0,6\text{ m}$ de haut. Quelle est la masse volumique de la solution saline ?

Exercice 8 : conséquences statiques

On introduit une canule dans une grosse artère. On se sert d'une solution saline de masse volumique de 1300 kg/m^3 comme liquide de manomètre. Quelle est la pression du sang (pression de jauge) si la différence de hauteur dans les tubes du manomètre est de $0,67\text{ m}$?

Exercice 9 : conséquences dynamiques

Un tube de Venturi a un rayon de 1 cm dans sa partie la plus étroite et 2 cm dans sa partie la plus large où la vitesse de l'eau est de $0,1\text{ m/s}$. Trouver la vitesse et la chute de pression dans la partie étroite.

Exercice 10 : conséquences dynamiques

Un réservoir d'eau de 10 m de haut est percé d'un petit trou à sa base. En supposant que les dimensions du réservoir soient suffisamment importantes pour négliger la perte de liquide, quelle est la vitesse de l'eau sortant par la fuite ?

Exercice 11 : conséquences dynamiques

Dans une expérience de physique, une balle de ping-pong reste en suspension dans un entonnoir tenu à l'envers lorsqu'on souffle de l'air par l'embouchure étroite de cet entonnoir. Expliquer brièvement pourquoi la balle ne tombe pas.

1.4 Exercices récapitulatifs

Exercice 1 : Archimède

Un morceau de chêne pèse 90 N dans l'air. Un bloc de plomb pèse 130 N quand il est immergé dans l'eau. Attachés l'un à l'autre, ils pèsent 100 N dans l'eau. Quelle est la masse volumique du bois ?

Exercice 2 : Archimède

Trouver l'accélération initiale d'une bille d'acier ($d_{\text{acier}} \approx 8$) placée

- dans l'eau,
- dans le mercure.

Spécifier le sens de l'accélération dans chacun des cas.

Exercice 3 : pression

Un vérin hydraulique a des pistons de section 1500 cm^2 et 75 cm^2 . Il est employé pour soulever un fauteuil de dentiste de 1500 N .

- Quelle force faut-il appliquer sur le petit piston pour soulever le fauteuil ?
- Quelle distance le petit piston doit-il parcourir pour que le fauteuil soit levé de $0,1 \text{ m}$?

Exercice 4

Un réservoir contient de l'oxygène gazeux à 0°C . La pression au fond du réservoir vaut 100 atm . Sachant que le réservoir est profond de 1 m , calculer la pression en haut du réservoir. (Supposer que la masse volumique moyenne de l'oxygène est de 143 kg/m^3 .)

Exercice 5

Lors d'une transfusion de sang complet, l'aiguille est insérée dans une veine où la pression est de 2000 Pa . À quelle hauteur, par rapport à la veine, faut-il placer le récipient de sang pour que le sang puisse tout juste entrer dans la veine ?

Exercice 6

Pour vider un réservoir d'eau, on se sert d'un siphon d'une section de 3.10^{-4} m^2 . On procède comme suit. On ferme les deux bouts du siphon initialement rempli d'eau. Ensuite on place l'un des bouts à 25 cm au-dessous de la surface du réservoir. L'autre extrémité, on la laisse pendre librement à l'extérieur du récipient, à 50 cm du bout immergé.

- Calculer la vitesse de l'eau à la sortie du siphon, peu de temps après l'ouverture des extrémités du siphon.
- Le débit est-il constant ?
- Quelle est la vitesse de l'eau à la sortie quand la surface libre du réservoir se trouve à 10 cm au-dessus du bout immergé ?

Exercice 7

On veut vider un réservoir d'essence au moyen d'un siphon. L'une des extrémités du siphon est insérée dans le réservoir à une profondeur de $0,3 \text{ m}$ tandis que l'autre est placée à l'extérieur, à $0,2 \text{ m}$ au-dessous du niveau du bout immergé. La section droite interne du siphon est de 4.10^{-4} m^2 . Calculer le débit et la vitesse d'écoulement de l'essence.

Chapitre 2

Fluides visqueux

2.1 Loi de Poiseuille

Exercice 1

Le rayon d'une grosse artère de chien est de 4 mm . Le débit de sang à travers l'artère est de $1\text{ cm}^3/\text{s}$.

- Quelle est la vitesse moyenne du sang ?
- Calculer la chute de pression le long de l'artère sur une longueur de $0,1\text{ m}$.

Exercice 2

Le rayon intérieur d'une artère est de 2 mm . La température est de 37°C et la vitesse moyenne du sang vaut 3 m/s . Trouver le débit et la perte de charge sur $0,05\text{ m}$, si l'artère est en position horizontale.

Exercice 3

La perte de charge le long d'une artère horizontale est de 100 Pa . Le rayon de l'artère vaut 1 cm et l'écoulement est laminaire.

- Quelle est la force résultante appliquée au sang ?
- Sachant que la vitesse moyenne du sang est de $1,5 \cdot 10^{-2}\text{ m/s}$, trouver la puissance qu'il faut dépenser pour entretenir l'écoulement.

Exercice 4

Le rayon d'une artère augmente d'un facteur $1,5$.

- Si la perte de charge reste la même, qu'arrive-t-il au débit ?
- Si le débit ne change pas, qu'arrive-t-il à la perte de charge ?

Supposer l'écoulement laminaire.

Exercice 5

Une aiguille à injection hypothermique est longue de 2 cm . Son rayon intérieur vaut $0,3\text{ mm}$. Le débit de l'eau forcée à travers l'aiguille est de $10^{-7}\text{ m}^3/\text{s}$. La température de l'eau est de 20°C .

- Calculer la vitesse moyenne de l'eau. Supposer l'écoulement laminaire.
- Quelle est la perte de charge nécessaire pour avoir un tel débit ?

Exercice 6 : viscosité

Une table à coussin d'air, utilisée dans les démonstrations de physique, supporte un chariot qui se déplace sur un mince coussin d'air d'une épaisseur de 1 mm et d'une aire de $0,04\text{ mm}^2$. Sachant que la viscosité de l'air est de $1,8 \cdot 10^{-5}\text{ Pa.s}$, trouver la force qu'il faut exercer sur le chariot pour le déplacer avec une vitesse constante de $0,2\text{ m/s}$. (Utiliser $F = \eta S \frac{dv}{dy}$.)

2.2 Nombre de Reynolds

Exercice 1

Le rayon d'une grosse artère de chien est de 4 mm . La vitesse moyenne du sang est de $1,99\text{ cm/s}$ et la viscosité vaut $2,084\text{ Pa.s}$. La masse volumique du sang est de $1,0595 \cdot 10^3\text{ kg/m}^3$. Trouver le nombre de Reynolds et déterminer si l'écoulement est laminaire.

Exercice 2

Dans un conduit d'un rayon de $0,1\text{ m}$, la vitesse moyenne de l'eau est de $0,2\text{ m/s}$. La température de l'eau est de 20°C .

- L'écoulement est-il laminaire ou turbulent ?
- Quel est le débit ?

Exercice 3

Le débit d'eau dans un tuyau d'un rayon de $0,02\text{ m}$ vaut $0,01\text{ m}^3/\text{s}$ à 20°C .

- Quelle est la vitesse moyenne de l'eau ?
- L'écoulement est-il laminaire ou turbulent ?

Exercice 4

Calculer le nombre de Reynolds de la situation de l'exercice 5 sur la loi de Poiseuille (l'aiguille à injection hypothermique). L'écoulement est-il bien laminaire ?

Exercice 5

Considérer l'écoulement du sang à 37°C dans une artère de 2 mm de rayon.

- Jusqu'à quelle vitesse moyenne du sang l'écoulement reste-t-il laminaire ?

- Quel est le débit Q correspondant ?

2.3 Sédimentation

Exercice 1

Un globule de sang d'une masse volumique de $1,3 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ et d'un rayon de $5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ se trouve dans l'eau. Calculer sa vitesse de sédimentation à 37°C . (Supposer la loi de Stokes valable.)

Exercice 2

Une grosse molécule sphérique a un rayon de $2 \cdot 10^{-8} \text{ m}$ et une masse volumique de $1,5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$.

- Quelle est la vitesse limite de chute de cette molécule dans l'eau ?
- Quelle est la vitesse maximum pour laquelle la loi de Stokes reste valable ($Re < 1$) ?

Exercice 3

Soient des particules de poussière sphériques d'une masse volumique de $3 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$. Trouver le rayon maximum pour lequel on peut toujours utiliser la loi de Stokes dans le calcul de la vitesse limite

- dans l'air à 20°C ?
- dans l'eau à 20°C ?

Exercice 4

La vitesse limite d'une gouttelette d'huile de forme sphérique, lors de sa chute dans l'air à 20°C , est de $2 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$. Quel est le rayon de cette gouttelette, si sa masse volumique est de 930 kg/m^3 ? (Supposer la loi de Stokes applicable.)

Exercice 5

- Quelle est la vitesse limite d'une particule de poussière d'un rayon de 10^{-5} m et d'une masse volumique de 2000 kg/m^3 ? La température de l'air est de 20°C .
- Que vaut le nombre de Reynolds à cette vitesse ? La loi de Stokes est-elle applicable ?
- Que vaut la force de résistance à l'air à la vitesse limite ?

Exercice 6

Une protéine de masse volumique 1300 kg/m^3 est centrifugée avec une accélération de 10^6 m/s^2 . Elle acquiert une vitesse de sédimentation de 10^{-6} m/s . À cette vitesse, la résistance visqueuse est de $2,07 \cdot 10^{-16} \text{ N}$. Trouver la masse de la protéine.¹

1. Si la masse volumique du fluide dans lequel se trouve la protéine (de masse m) vaut ρ_l , la poussée d'Archimède vaut $P_a = \rho_l g_e V$ où V est le volume de la protéine et $g_e = r\omega^2$ l'accélération effective. À la vitesse limite de sédimentation, les forces en jeu s'équilibrent et on a $6\pi Rv\eta = mg_e - \frac{\rho_l}{\rho} mg_e$.

Chapitre 3

Propriétés dues aux interactions moléculaires

Exercice 1 : Tension superficielle

Un fil métallique en forme de \cap est plongé dans de l'eau à $20^\circ C$. Un fil mobile peut coulisser sur les deux branches du \cap . Le fil mobile est long de $0,1\text{ m}$ et sa masse m_1 est de 1 g .

- Si $\sigma_{eau} = 7,28 \cdot 10^{-2}\text{ N/m}$, quelle est la valeur de la force de tension superficielle ?
- Si l'on suspend une masse m_2 au fil, celui-ci est en équilibre. Que vaut cette masse m_2 ?

Exercice 2 : Tension superficielle

On dépose une boucle de soie sur la lame liquide d'un anneau métallique qui a été plongé dans une solution savonneuse. Pourquoi la boucle prend-elle une forme circulaire après qu'on ait percé le film à l'intérieur de celle-ci ?

Exercice 3 : Capillarité

La sève des arbres, qui est principalement constituée d'eau pendant l'été, s'élève dans un système de capillaires de rayon $r = 2,5 \cdot 10^{-5}\text{ m}$. L'angle de contact est nul. La masse volumique de l'eau est de 1000 kg/m^3 . Calculer la hauteur d'ascension de l'eau dans un arbre, à une température de $20^\circ C$. ($\sigma_{eau} = 7,28 \cdot 10^{-2}\text{ N/m}$.)

Exercice 4 : Capillarité

Calculer la hauteur d'ascension de l'eau à $0^\circ C$ dans un tube capillaire de verre de 10^{-3} m de rayon.

Exercice 5 : Capillarité

Calculer la dépression du ménisque du mercure dans un tube capillaire de 10^{-4} m de rayon.

Exercice 6 : Capillarité

Calculer la hauteur d'ascension de l'alcool éthylique dans un tube en verre de $0,04 \text{ mm}$ de diamètre. La masse volumique de l'éthanol est de 791 kg/m^3 .

Exercice 7 : Capillarité

Un tube de verre de 1 mm de rayon est utilisé dans la construction d'un baromètre à mercure.

- De quelle distance la surface du mercure sera-t-elle déplacée par les effets de capillarité ?
- Sachant que la hauteur de la colonne de mercure est de $0,76 \text{ m}$, calculer l'erreur relative commise si l'on néglige les effets capillaires.
- Si les effets de capillarité doivent être inférieurs à $0,01\%$ de la hauteur de la colonne, quel doit être le rayon minimum du tube ?