Physique Générale A

Série d'exercices 6: Fin fluides, ondes 18 novembre 2025

Remarque : les exercices au format QCM devraient être réalisables en 2 minutes environ. Des exercices plus longs sont proposés afin d'approfondir vos connaissances. Ceux-ci font toutefois partie du champ de l'examen.

1.) **QCM A : Artère et fluide visqueux**

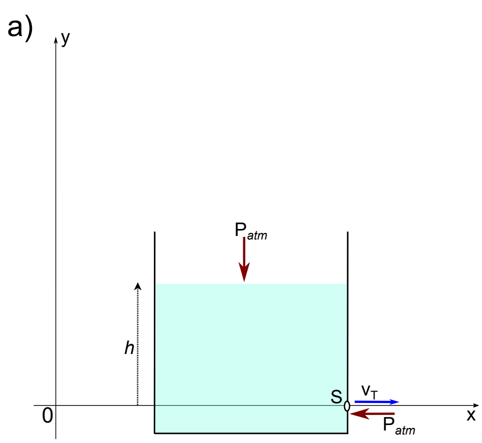
Une patiente souffre d'artériosclérose. Considérons une artère malade qui a un diamètre intérieur deux fois inférieur à celui d'une artère saine. Si la pression fournie par le coeur est inchangée, elle verra son débit de sang (fluide considéré comme visqueux) divisé par :

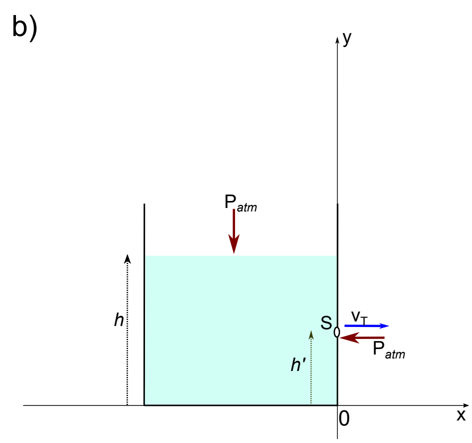
A. 2
B. 4
C. 8
D. 16
E. 32

2.) **QCM K': Réservoir percé**

Dans un réservoir rempli d'eau ($\rho = 1000\,\mathrm{kg/m^3}$) à pression atmosphérique ($P_{\mathrm{atm}} \approx 1 \times 10^5\,\mathrm{Pa}$), il y a un trou avec une section $S = 1\,\mathrm{cm}^2$ (hauteur du trou à 0 selon y, voir dessin a), dont les dimensions sont bien plus petites que celles du réservoir. La hauteur de l'eau par rapport au niveau 0 est de $h = 3\,\mathrm{m}$ (On considère $g = 10\,\mathrm{m/s^2}$). On peut affirmer que:

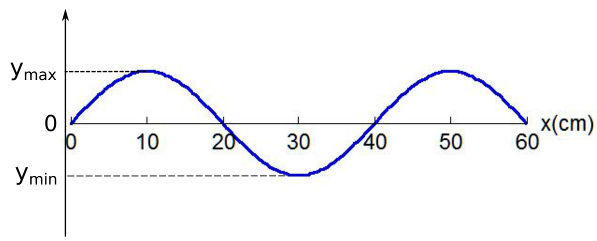
A. La vitesse à laquelle l'eau sort du trou est beaucoup plus grande que la vitesse à laquelle le niveau de l'eau diminue dans le réservoir, c'est à dire $v_T \gg v_R$.
B. La vitesse à laquelle l'eau sort du trou est $v_T = 10.5\,\mathrm{m/s}$.
C. Si le réservoir est fermé et mis à une pression égale à trois fois la pression atmosphérique ($3P_{\mathrm{atm}}$), la vitesse sera $v_T = 21.4\,\mathrm{m/s}$.
D. Le réservoir est de nouveau à la pression atmosphérique. Supposons que le trou soit placé à une hauteur de $h' = 1\,\mathrm{m}$ (dessin b) et que le jet d'eau sort horizontalement. La distance à laquelle l'eau atteint le sol sera $d = 2.8\,\mathrm{cm}$.





3.) **QCM K', Corde photographiée**

Une onde d'une fréquence de 600 Hz est générée dans une corde. On photographie une partie de l'onde à un instant donné. On peut affirmer que :



A. La longueur d'onde est de 60 cm.

B. La vitesse de cette onde est de 240 m/s.

C. $3y_{\min} = y_{\max}$.

D. L'amplitude de l'onde est $y_{\max}$.

4.) **QCM K', Vitesse d'une onde sur une corde:**

Vous avez en main le bout d'une corde tendue. L'autre extrémité est fixée à un mur. En bougeant une seule fois la main vers le haut puis vers le bas vous formez une onde sur la corde. Vous commencez à un temps $t = 0$. L'onde arrive au mur après un certain temps t. Lesquelles de ces actions, de par elles mêmes, entraineraient une diminution de ce temps t:

A. faire un geste de même amplitude mais plus rapide.

B. diminuer l'amplitude du geste mais en prenant le même temps.

C. utiliser une corde moins lourde de même longueur et avec la même tension.

D. utiliser une corde ayant la même masse linéique mais avec une tension plus grande.

5.) **QCM K', Corde de guitare**

Une corde de guitare est tendue avec une force de 4 N et a une masse linéique de 10 g/m. Sachant que la corde oscille avec une longueur d'onde de $\lambda = 5$ cm, on peut affirmer que :

A. La vitesse de l'onde dans la corde vaut 0.63 m/s.

B. La fréquence de l'onde vaut $f = 400$ Hz.

C. Plus une corde a une masse linéique faible, plus la vitesse de propagation est élevée.

D. Si je double la tension dans la corde, la fréquence sera alors deux fois plus élevée.

6.) **QCM K', Distance et niveau sonore**

A 8 m d'une source sonore ponctuelle, le niveau sonore est mesuré à 80 dB. On peut dire que :

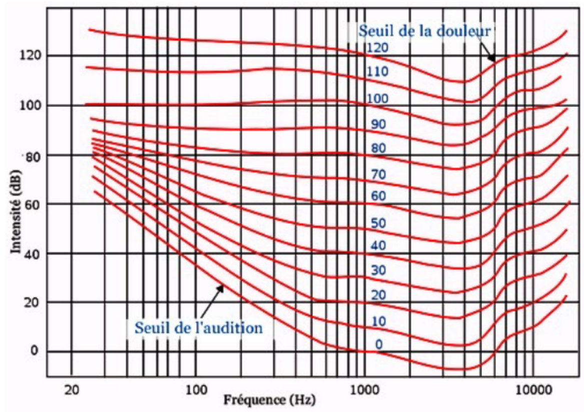
A. Selon la fréquence, ce niveau sonore peut provoquer des douleurs

B. L'intensité sonore dépend de l'amplitude de l'onde

C. L'intensité sonore vaut 10^{-4} W/m^2

D. Le niveau sonore serait doublé si l'on plaçait une seconde source identique à la même distance.

Le diagramme de Fletcher et Munson pour rappel :



7.) **QCM A, Echographie et ultrasons**

Les ondes ultrasonores dans les applications usuelles d'échographie médicale :

A. ont une fréquence inférieure à 20 kHz.
B. sont des ondes de pression.
C. sont réfléchies à la même intensité par toutes les interfaces indépendamment de leur nature.
D. sont émises à une fréquence audible.
E. ont la même longueur d'onde dans tous les milieux.

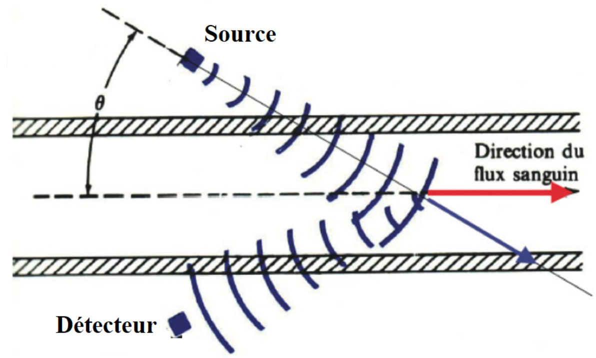
8.) **QCM K', Les trains qui passent**

Un passager se tient sur un quai et entend deux trains approcher sur des voies opposées avec des vitesses suivantes : $v_1 = 30$ m/s, $v_2 = 25$ m/s. Chaque train émet un avertisseur sonore de fréquence $f_0 = 300$ Hz. La vitesse du son dans l'air est $v_s = 343$ m/s. On suppose que l'angle entre le passager et les trains est négligeable. On peut affirmer que :

A. Les fréquences perçues des deux trains seront différentes pour le passager parce qu'ils se déplacent en sens opposés.
B. Pour le passager, la longueur d'onde du premier train sera plus petite que celle du second.
C. Après le passage des trains, lorsque ceux-ci s'éloignent du passager, les fréquences entendues seront inférieures à 300 Hz.
D. Avant que les trains ne passent, supposons que le passager commence à courir vers le second train à $u = 2.7\,$m/s. Il entend alors la même fréquence pour les deux avertisseurs.

9.) **QCM A, Echographie Doppler à ultrasons**

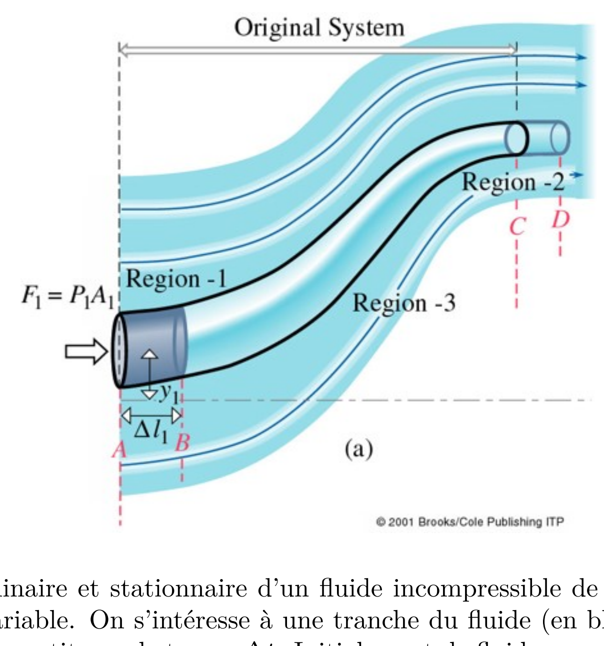
Lors d'une échographie Doppler, on utilise une source émettant une fréquence de 5 MHz pour mesurer la vitesse des globules rouges dans l'aorte. L'appareil mesure une onde réfléchie à une fréquence légèrement plus basse: 4.9987 MHz. En négligeant les corrections dues à l'angle θ entre le flux et la direction d'émission, et en prenant la vitesse de propagation du son dans le sang $v_{son} = 1500$ m/s, quelle est la vitesse déduite des globules rouges?



A. 0.02 m/s
B. 100 mm/s
C. 0.2 m/s
D. 2 m/s
E. 10 m/s

10.) **Exercice d'approfondissement : Équation de Bernoulli**

L'équation de Bernoulli répond à la question: quelle sera la pression si le fluide change de vitesse? Le but de cet exercice est de comprendre et d'obtenir l'équation de Bernoulli.



Considérons un flux laminaire et stationnaire d'un fluide incompressible de masse volumique ρ, dans un tuyau de diamètre variable. On s'intéresse à une tranche du fluide (en bleue foncé sur le schéma), qui se déplace pendant un petit pas de temps Δt. Initialement, le fluide occupe les régions 1 et 3, après le déplacement il occupe les régions 3 et 2. On note A_1 la section du tuyau dans la région 1 et A_2 dans la région 2.

A. Établir une relation entre la vitesse v_1 dans la région 1 et celle dans la région 2, v_2.

B. Comparer les volumes des régions 1 et 2 et en déduire la relation entre Δl_1 et Δl_2. On rappelle que le fluide est incompressible.

C. Dériver l'équation exprimant la variation d'énergie cinétique du fluide au cours du déplacement.

D. Dériver l'équation exprimant la variation d'énergie potentielle de pesanteur du fluide au cours du déplacement.

E. Dériver l'équation exprimant la variation d'énergie mécanique du fluide au cours du déplacement.

F. Dériver l'équation exprimant le travail des forces associées à la pression au cours du déplacement du fluide.

G. En comparant ce travail et la variation de l'énergie mécanique, établir l'équation de Bernoulli vue en cours.

11.) **Exercice d'approfondissement, équation de d'Alembert:**

Voici l'équation de d'Alembert:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{1}{v^2}\frac{d^2y}{dt^2}$$

Elle décrit la variation d'une quantité oscillante, une perturbation, dans le temps et dans l'espace. Historiquement elle a d'abord été obtenue comme la solution du problème de la corde vibrante. Elle décrit de manière générale une onde qui se conserve en se propageant dans le temps et l'espace : la variation dans le temps est compensée par une variation dans l'espace. Cette équation s'applique aussi (entre autres) à l'optique, l'acoustique, l'électronique, la mécanique des fluides, etc.

Dans cet exercice, on cherche à montrer que la fonction périodique $y(x,t) = y_m \sin(kx - \omega t)$ est bien une solution de l'équation de d'Alembert, et ainsi à exprimer les différents termes qui la composent.

A. La notation d^2y/dx^2 représente la dérivée seconde de la fonction y par rapport à la variable x, c'est-à-dire deux dérivées successives. Calculez le membre de gauche de l'équation de d'Alembert avec $y(x,t) = y_m \sin(kx - \omega t)$.

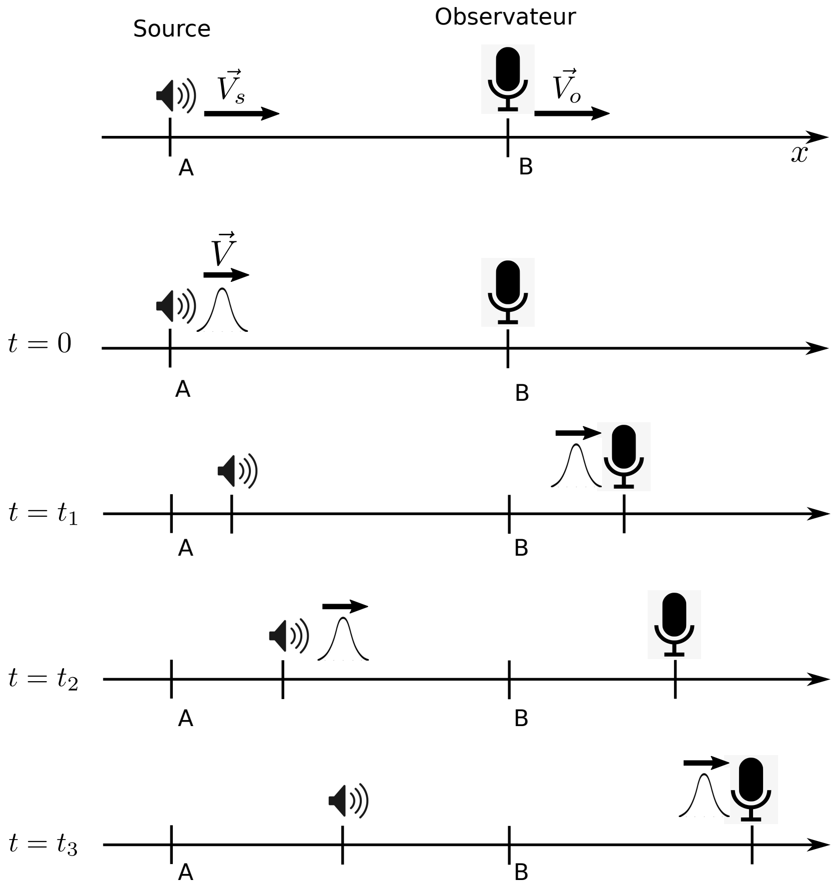
B. Calculez maintenant le membre de droite de l'équation de d'Alembert.

C. Exprimez v en fonction de ω et k pour que la fonction $y(x,t)$ soit solution de l'équation.

12.) **Exercice d'approfondissement : Effet Doppler**

Lorsque la source et/ou l'observateur d'ondes sont en mouvement par rapport au milieu de propagation, la fréquence de réception des ondes est modulée. Il s'agit de l'effet Doppler. Ici, en étudiant le cas unidimensionnel, nous allons démontrer la formule de l'effet Doppler. Nous allons étudier la propagation de fronts d'onde émis par une source qui se déplace avec une vitesse $\vec{V_s}$ à partir d'un point A sur un axe x, et un observateur qui se déplace avec une vitesse $\vec{V_o}$ depuis un point B (voir illustration). On peut alors décrire l'émission successive de deux fronts d'onde avec les étapes suivantes:

- Au temps $t = 0$, la source et le récepteur sont à leurs positions initiales et la source émet un front d'onde se propageant avec une vitesse $\vec{V}$ en direction du récepteur.
- Au temps $t = t_1$, le front d'onde atteint le récepteur qui s'est entre-temps déplacé (suivant sa vitesse initiale et constante $\vec{V_o}$).
- Au temps $t = t_2$, la source qui s'est depuis déplacé avec sa vitesse constante $\vec{V_s}$ émet un second front (dont la vitesse est encore $\vec{V}$).
- Au temps $t = t_3$, le deuxième front atteint le récepteur qui a continué à se mouvoir.



A. Considérant que $B - A = L$, exprimer la distance parcourue par le premier front d'onde entre la source et le récepteur de deux manières: une fois en fonction de $V(= \|\vec{V}\|)$ et une fois en fonction de L et $V_o(= \|\vec{V_o}\|)$.

B. Reformuler l'égalité pour exprimer le temps t_1 en fonction de V,V_o et L.

C. Exprimer la distance parcourue par le deuxième front d'onde encore une fois de deux manières : une fois en fonction de L,V_o et V_s et une autre fois en fonction de V.

D. Isoler une expression pour le temps t_3 en fonction des autres quantités.

E. Sachant que l'intervalle de temps entre les deux émissions de fronts d'onde pour la source est $\Delta t_s = t_2$, exprimer l'intervalle de temps entre la reception des deux fronts $\Delta t_o = t_3 - t_1$ en fonction de Δt_s.

F. On généralise maintenant le problème à une source d'ondes continue qui émet N fronts d'onde durant un temps Δt_s. Tout d'abord, déduire f_s, la fréquence de la source. Ensuite, sachant que ces N fronts sont réceptionnées durant Δt_o un intervalle de temps connu par le récepteur, déterminer la fréquence de reception f_o en fonction de f_s, Δt_s et Δt_o.

G. En utilisant, la relation entre les intervalles de temps trouvée précédemment, exprimer f_o en fonction de f_s, V_o, V_s et V.

Réponses:

1.) D

2.) Vrai, Faux, Vrai, Faux

3.) Faux, Vrai, Faux, Vrai

4.) Faux, Faux, Vrai, Vrai.

5.) Faux, Vrai, Vrai, Faux

6.) Faux, Vrai, Vrai, Faux

7.) B

8.) Faux, Vrai, Vrai, Vrai

9.) C

10.) A. $v_2 = \dfrac{A_1}{A_2} v_1$,

B. $V = A_1 \Delta l_1 = A_2 \Delta l_2$,

C. $\dfrac{1}{2}\rho V v_2^2 - \dfrac{1}{2}\rho V v_1^2$,

D. $\rho V g y_2 - \rho V g y_1$,

E. $\dfrac{1}{2}\rho V v_2^2 + \rho V g y_2 - (\dfrac{1}{2}\rho V v_1^2 + \rho V g y_1)$,

F. $W_{\mathrm{P}} = P_1 V - P_2 V$,

G. $\dfrac{1}{2}\rho v^2 + \rho g z + P = \text{constante}$

11.) A. $-k^2 y(x,t)$
B. $-\frac{1}{v^2}\omega^2 y(x,t)$
C. $v = \frac{\omega}{k}$

12.) A. $L + V_o t_1 = V t_1$,

B. $t_1 = \frac{L}{V - V_o}$,

C. $L + V_o t_3 - V_s t_2 = V(t_3 - t_2)$,

D. $t_3 = \frac{t_2(V_s - V) - L}{V_o - V}$,

E. $\Delta t_o = \Delta t_s \frac{V_s - V}{V_o - V}$,

F. $f_o = f_s \frac{\Delta t_s}{\Delta t_o}$,

G. $f_o = f_s \frac{V - V_o}{V - V_s}$