Université Libre de Bruxelles

Année Académique 2021-2022 *Session d'août*

Physique Médicale PHYS-G1102
Titulaires: Antonin Rovai et Vincent Wens

BA1 en Médecine et Sciences Dentaires

Examen

Nom:

Prénom:

Matricule:

Section:

Q1:	/12	Q2:	/13	Q3:	/9
Q4:	/9	Q5:	/9	Q6:	/9

Instructions:
L'usage de document n'est pas autorisé. L'examen dure 3 heures. Il y a 6 questions. Vous êtes responsables de vérifier que cet examen comporte bien 13 pages. Vous n'êtes pas autorisés à dégraffer les pages de l'examen. Vous êtes autorisés à utiliser une calculatrice (pas de smartphone). Un aide-mémoire vous est fourni à la fin de ce document. Justifiez bien toutes vos réponses.
Nous vous recommandons de faire un maximum de calculs de façon symbolique (sans substituer les valeurs numériques). Lorsque cela est possible, exprimez vos résultats numériquement à la fin de vos calculs.
Les valeurs numériques peuvent être arrondies au 2e chiffre significatif. Sauf indication contraire, tous les résultats numériques doivent être exprimés dans les unités du Système International. Les valeurs des différentes constantes sont reprises dans l'aide-mémoire.
Lorsqu'il vous est demandé de dessiner une force sur un schéma, on demande que la direction et le sens soient le plus précis possible, mais la norme ne doit pas nécessairement être à l'échelle.
Veuillez répondre à chaque question dans l'espace prévu à cet effet après chaque énoncé. S'il vous manque de la place, vous pouvez faire référence au verso d'une des feuilles d'examen pour indiquer où se trouve votre réponse. Veillez à indiquer *très clairement* si vous recourez à ce système. Enfin, le verso des feuilles d'examen peut-être également utilisé comme brouillon pour vos calculs et raisonnements.
Note finale: Le nombre total de points, sur les 6 questions, s'élève à 61 points. Le nombre de points obtenus est rapporté sur 20, et la note de l'examen est alors obtenue en arrondissant à l'entier le plus proche.

Question 1: *(12 points)*

On considère une petite balle de masse M lancée depuis un point au sol, O, dans le champ de pesanteur. La vitesse initiale de la balle, $\vec{v}_0$, fait un angle θ avec la verticale. Au même moment, une locomotive, que l'on considère comme étant un corps ponctuel, démarre au niveau du sol, à une distance d de O, et s'éloigne de O avec une vitesse constante de norme V_0. La locomotive tracte un wagon que nous considérons également comme un corps ponctuel mais situé à une distance ℓ de la locomotive, ℓ correspondant donc à la longueur totale du convoi constitué de la locomotive et du wagon. Nous prenons $\ell < d$ et nous notons A le point donnant la position du wagon. Le but de cette question est de déterminer V_0 tel que la balle atterisse sur le wagon, c'est-à-dire intercepte le point A. On néglige dans cette question la hauteur de la locomotive et du wagon.

Nous utilisons le système d'axes x, z tel que présenté sur la figure 1. On note v_0 la norme de $\vec{v}_0$ et g la norme du vecteur d'accélération gravitationnelle $\vec{g}$. Les valeurs numériques des paramètres v_0, θ, ℓ et d seront données pour l'application numérique en fin de question.

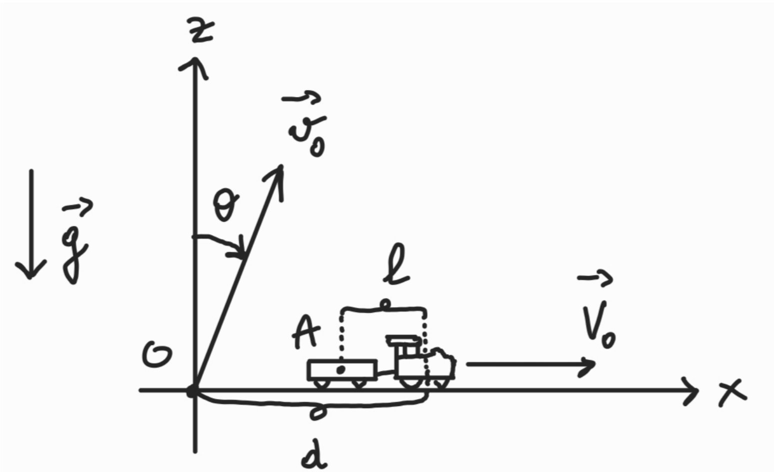

Figure 1: Une balle est lancée depuis le point O sur un train en mouvement.

1. (1pt) Exprimer les composantes x et z du vecteur d'accélération gravitationnelle $\vec{g}$ en fonction de g.

2. (2pt) Exprimer les composantes x et z de la vitesse initiale $\vec{v}_0$ en fonction de v_0 et θ.

3. (2pt) On note $x_B(t)$ et $z_B(t)$ les coordonnées de la position de la balle au temps t. Que valent ces composantes en fonction des paramètres du problème, pour n'importe quelle valeur de t?

4. (2pt) Même question que ci-dessus, mais avec les coordonnées $x_{\mathrm{A}}(t)$ et $z_{\mathrm{A}}(t)$ du point A.

5. (4pt) On note $t_\star$ le temps auquel l'impact a lieu, et $x_\star$ la position sur l'axe des x correspondante. Déterminer $t_\star$ et $x_\star$ en fonction de v_0, θ et g ainsi que la valeur que doit avoir V_0 en fonction de v_0, θ, g, ℓ et d afin que ceci soit possible.

6. (1pt) Application numérique: $v_0 = 110km/h$, $\theta = \pi/5$rad, $\ell = 6m$ et $d = 20m$. Que vaut V_0 avec ces valeurs?

QUESTION 2: *(13 points)*

On considère un homme penché qui se tient à une corde attachée à un mur vertical. La corde est horizontale. L'homme est modélisé par une tige rigide de masse négligeable avec, en un point A_1 plus bas que le point d'accroche de la corde, une masse ponctelle $M = 75kg$. La tige fait un angle de $\theta = 18°$ avec le sol. Nous prenons, comme point de référence O, le point de contact entre la tige et le sol, et on note respectivfement r_1 et r_2 la distance entre O et les points A_1 et A_2. On note $\mu = 2,5$ le coefficient de frottement statique entre la tige et le sol. Le point d'accroche de la corde à la tige est appelé A_2. Voir figure 2 ci-dessous.

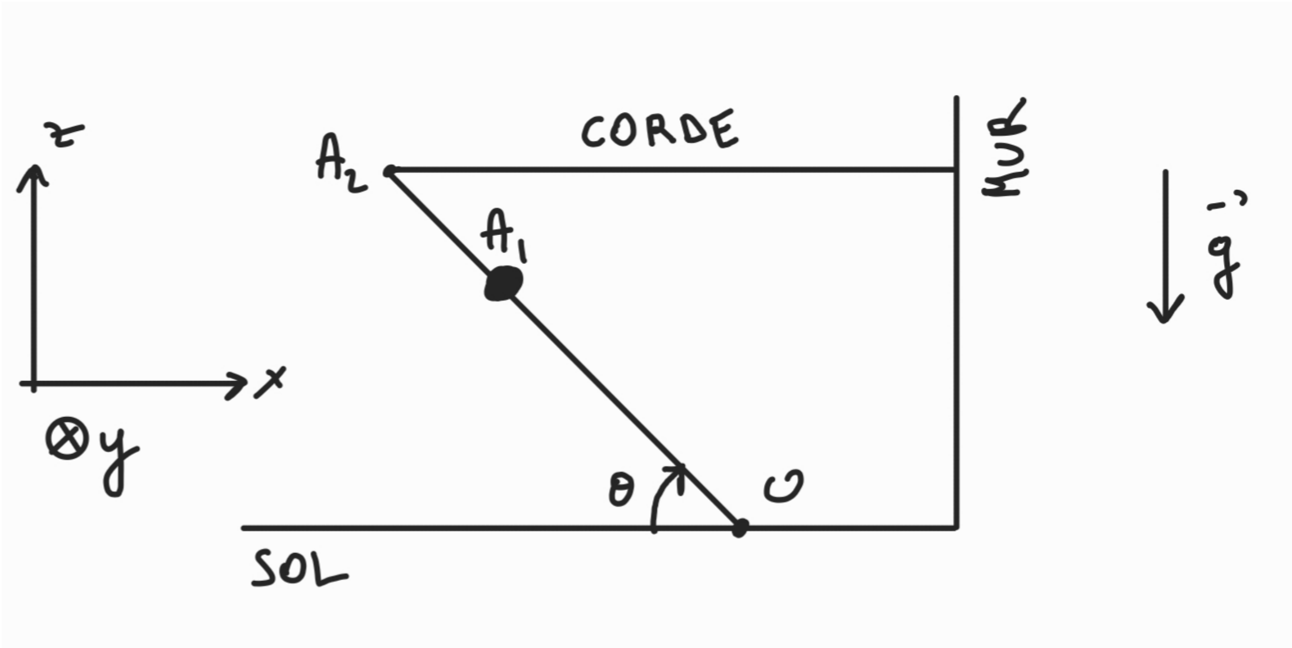

Figure 2: Une tige attachée à un mur.

On utilise le système d'axes x, y et z comme indiqué sur le dessin. On prend comme valeurs $r_1 = 1,25m$ et $r_2 = 1,75m$ et le système est immobile. Enfin, afin de fixer les notations pour les forces, on utilisera $\vec{T}$ pour la force exercée par la corde sur l'homme, $\vec{N}$ pour la force normale exercée par le sol, $\vec{P}$ pour le vecteur de poids et $\vec{F}$ pour la force de frottement.

1. (2pt) Représenter sur la figure 2 toutes les forces agissant sur cet homme, en prenant soin de localiser les vecteurs en leur point d'application.

2. (4pt) Exprimer les composantes suivant x, y et z de ces forces en fonction de leur norme et de l'angle θ.

3. (2pt) Quelles forces sont-elles responsables d'un moment de force par rapport à O non-nul? Calculer ces moments de force (sans oublier d'en indiquer le sens), en gardant la tension dans la corde T indéterminée.

4. (2pt) Que vaut la tension dans la corde pour que le système ne se mette pas en rotation?

5. (1pt) Calculer numériquement les forces exercées par le sol.

6. (2pt) On augmente progressivement r_1. A quelle valeur de r_1 la tige se met-elle à glisser sur le sol?

QUESTION 3: *(9 points)*

On considère une bassine ouverte à l'atmosphère dans laquelle est posé un bloc de masse $M = 500kg$ et de volume $V = 0.34m^3$ ainsi qu'un liquide incompressible de masse volumique $\rho_1 = 1200kg/m^3$, voir figure 3. On suppose que le bloc touche le fond de la bassine, on note $V_i = 0.12m^3$ le volume immergé du bloc, et on note $h_1 = 3m$ la hauteur du liquide.

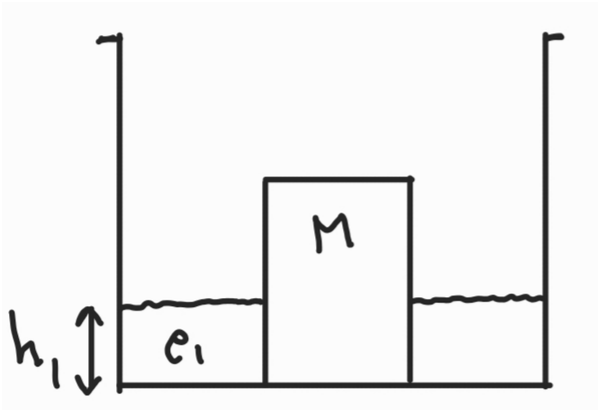

Figure 3: Un bloc dans une bassine.

1. (2pt) Que vaut la force $\vec{B}$ exercée par le fluide sur le bloc?

2. (2pt) Que vaut la force normale $\vec{N}$ exercée par le fond de la bassine sur le bloc?

3. (2pt) Que vaut la pression dans le liquide au fond de la bassine?

On ajoute maintenant un deuxième liquide, de passe volumique $\rho_2 = 950 kg/m^3$. On suppose que les deux liquides ne se mélangent pas et on note $h_2 = 1.5m$ l'épaisseur de la couche de liquide supplémentaire, que nous appellerons le liquide 2. Voir figure 4.

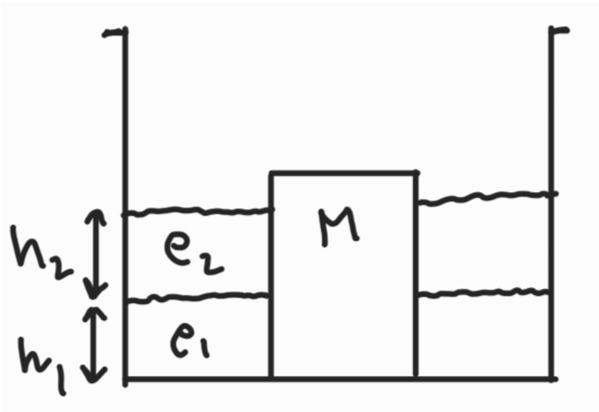

Figure 4: Un autre liquide est ajouté au système.

4. (1pt) Que vaut la pression dans le liquide au fond de la bassine?

5. (2pt) Si l'on continue à ajouter du liquide 2, le bloc va-t-il se mettre à flotter ou va-t-il être totalement immergé? On suppose que les bords de la bassine sont suffisamment hauts pour que cela soit possible.

Question 4: *(9 points)*

On considère un robinet duquel s'échappe un filet d'eau. L'eau coule à la verticale, et l'écoulement est supposé non-turbulent et satisfaisant à la conservation de la masse. Le rayon du robinet est noté R et le débit est noté Q. Le but de cette question est de déterminer le rayon r du filet d'eau à une distance d du robinet. Afin de fixer les notations, on note A le point à la sortie du robinet et B le point situé à une disante d de A, voir figure 5.

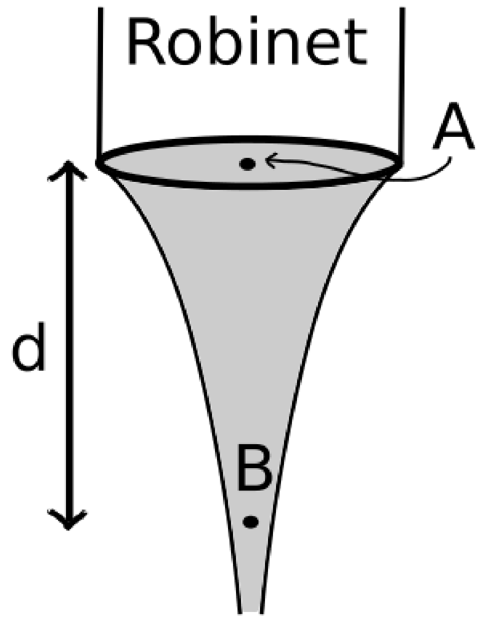

Figure 5: De l'eau s'écoule d'un robinet, le rayon du filet d'eau se réduisant avec la distance parcourue.

1. (3pt) Que valent les vitesses v_A et v_B aux points A et B? Exprimer la réponse en fonction des paramètres Q et R et de l'inconnue r.

2. (1pt) Que vaut la pression au point A?

3. (1pt) Que vaut la pression au point B?

4. (4pt) En utilisant la loi physique appropriée, déterminer la valeur de r en fonction de g, Q, R et d.

Question 5: *(9 points)*

La figure 6 décrit un modèle simplifié de liaison covalente pour la molécule di-lithium Li_2. Les deux noyaux atomiques Li_1^+ et Li_2^+ ainsi que les deux électrons partagés e_1^- et e_2^- sont considérés comme ponctuels, et la séparation entre chaque noyau et chaque électron est fixée au rayon atomique du lithium ($a = 182pm$). Le but de ce modèle est d'estimer la distance de liaison ℓ entre les deux noyaux.

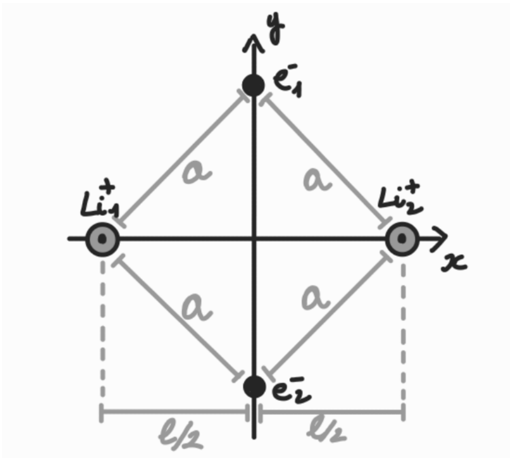

Figure 6: Modèle de liaison covalente.

1. (1pt) Dessiner sur la figure 6 toutes les forces électriques agissant sur le noyau de droite Li_2^+.

2. (5pt) Exprimer la force électrique totale exercée sur le noyau Li_2^+ en fonction de ℓ. Utilisez le système d'axes x et y défini sur la figure 6.

3. (3pt) Estimer la distance de liaison ℓ de sorte que le noyau Li_2^+ soit immobile. (Pour information, la valeur expérimentale est de $160pm$.)

Question 6: *(9 points)*

La partie (a) de la figure 7 montre une portion de membrane cellulaire avec un canal ionique ouvert. La membrane d'épaisseur $\ell = 7nm$ est soumise à une différence de potentiel $\Delta V = 65mV$ (qui augmente de droite à gauche sur la figure) qui génère un courant d'ions au travers du canal cylindrique de rayon $r = 500pm$ et de conductivité $\sigma = 0,1/\Omega m$. La cellule est plongée dans un champ magnétique homogène $\vec{B}$; nous voulons déterminer quelle intensité magnétique B bloquera le transport ionique. Pour cela, nous suivons la trajectoire d'un ion Cl^- (masse $5,9\,10^{-26}kg$) initialement placé au centre du canal avec une vitesse v (partie b de la figure 7).

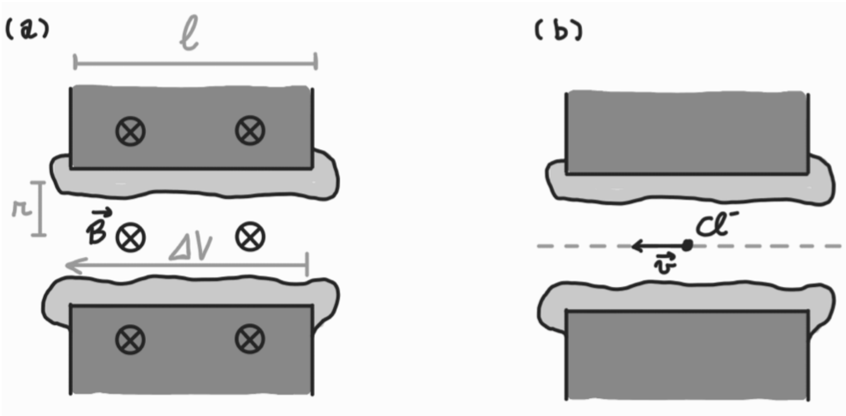

Figure 7: (a) Canal ionique dans un champ magnétique. (b) Transport d'un ion Cl^-.

1. (4pt) Supposons tout d'abord qu'il n'y aie pas de champ magnétique. Déterminer la vitesse v de transport d'ions Cl^-. *(Aide: Le courant I d'une particule de charge q traversant une courte distance $d\ell$ à vitesse v est donné par la relation $Id\ell = qv$.)*

2. (2pt) Considérons maintenant la présence de champ magnétique dont l'orientation est indiquée dans la partie (a) de la figure 7. Dessiner sur la partie (b) deux exemples de trajectoires de l'ion Cl^- (l'un où il ressort du canal et l'autre où il rencontre la paroi du canal) et expliquer comment le champ magnétique peut bloquer le transport ionique.

3. (3pt) Déterminer l'intensité magnétique B critique au-delà de laquelle le transport ionique est bloqué. Pour ce calcul, vous pouvez ne considérer que l'effet de la force magnétique sur l'ion Cl^- qui apparaît en partie (b) de la figure 7. *(Aide: À partir de quel rayon de sa trajectoire circulaire l'ion ne parviendra-t-il pas à sortir du canal?) Si vous n'avez pas trouvé de réponse à la première sous-question, utilisez* $v = 5cm/s$.

$\rho_0 = 1000kg/m^3$	$\|\vec{A}\| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$	$1\text{atm} = 101325\text{Pa}$
$g = 10m/s^2$	$\dfrac{\mathrm{d}\sin(ax)}{\mathrm{d}x} = a\cos(ax)$	$\sin\left(\alpha + \dfrac{\pi}{2}\right) = \cos\alpha$
$\dfrac{1}{2}\rho v^2 + \rho g z + p$	$\sin(\pi - \alpha) = \sin\alpha$	$\vec{a}_\mathrm{c} = -\omega^2\vec{r}$
$\vec{A}\cdot\vec{B} = AB\cos\theta$	$\|\vec{A}\times\vec{B}\| = AB\sin\theta$	$v = \omega r$
$\cos\alpha = \dfrac{\text{adjacent}}{H}$	$F_f^{\max} = \mu N$	$Q = Av$
$P = \dfrac{\mathrm{d}E_\mathrm{c}}{\mathrm{d}t}$	$V = \dfrac{4}{3}\pi R^3$	$A = \pi R^2$

$$\vec{A}\times\vec{B} = (A_yB_z - A_zB_y, A_zB_x - A_xB_z, A_xB_y - A_yB_x)$$

$e = 1,6\,10^{-19}\,C$	$\epsilon_0 = 8,9\,10^{-12}\,\dfrac{A^2s^4}{kg\,m^3}$	$\mu_0 = 4\pi\,10^{-7}\,\dfrac{Tm}{A}$
$1nX = 10^{-9}X$ (nano)	$1pX = 10^{-12}X$ (pico)	$1fX = 10^{-15}X$ (femto)
$\vec{F}_{Q/q} = \dfrac{qQ}{4\pi\epsilon_0 r^2}\hat{r}$	$\vec{F}_{\vec{E}/q} = q\vec{E}$	$\vec{E} = \dfrac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}\hat{r}$
$\sigma = Q/A$	$\vec{E} = \dfrac{\sigma}{2\epsilon_0}\hat{n}$	$\vec{E} = \dfrac{\sigma}{\epsilon_0}\hat{n}$
$\frac{1}{2}mv^2 + qV$	$\Delta V = EL$	$V = \dfrac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}$
$\Delta V = RI$	$R = \dfrac{L}{S}\dfrac{1}{\sigma}$	$I = env_eS$
$R = R_1 + R_2$	$\dfrac{1}{R} = \dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}$	$P = \Delta VI$
$d\vec{B} = \dfrac{\mu_0}{4\pi}\dfrac{Id\vec{\ell}\times\hat{r}}{r^2}$	$B = \dfrac{\mu_0 I}{2\pi d}$	$B = \dfrac{\mu_0 I}{2R}$
$B = \mu_0\dfrac{N}{L}I$	$d\vec{F}_{\vec{B}/I} = Id\vec{\ell}\times\vec{B}$	$F_{I_1/I_2} = \dfrac{\mu_0 I_1 I_2 L}{2\pi d}$
$\vec{F}_{\vec{B}/q} = q\vec{v}\times\vec{B}$	$\vec{v}\perp\vec{v}\times\vec{B}$	$R_L = \dfrac{mv}{\|q\|B}$