NOM - Prénom :

# MP2 - DS-3bis (CCS-Mines) - Physique - Barème

| | 👎 | 👍 | 👍👍 |
|---|---|---|---|
| **Connaissance du cours** | | | |
| **Quantité de questions traitées** | | | |
| **Détail/Rigueur de la rédaction** | | | |
| **Utilisation appropriée de schémas** | | | |
| **Soin de la rédaction** | | | |
| **Commentaires pertinents** | | | |

| | **Physique 1 : Mécanique du transport ferroviaire (d'après CCS-MP-2024)** | élève | prof | max |
|---|---|---|---|---|
| **Q.19** | • Schéma avec plusieurs wagons ($\Sigma_1$) et une locomotive ($\Sigma_2$)<br>• Représentation de $\overrightarrow{F}_{r/1}$ verticales, au niveau de chaque roue de wagon<br>• Représentation de $\overrightarrow{P}_1 = M_c\overrightarrow{g}$ pour la totalité des wagons, et de $\overrightarrow{F}_{\Sigma_2\to\Sigma_1}$<br>• TCI ou PFD à $\Sigma_1$ dans $\mathcal{R}_{sol} = \mathcal{R}_{galiléen}$<br>• $M_c\overrightarrow{g} + 40\overrightarrow{F}_{r/1} + \overrightarrow{F}_{\Sigma_2\to\Sigma_1} = M_c\overrightarrow{a}_0$<br>• En projection sur l'horizontale : $\overrightarrow{F}_{\Sigma_2\to\Sigma_1} = M_c\overrightarrow{a}_0$ | | | 3 |
| **Q.20** | • Schéma de la locomotive (ou forces d'une autre couleur sur le précédent)<br>• Représentation de $\overrightarrow{P}_2 = M_\ell\overrightarrow{g}$ et de $\overrightarrow{F}_{\Sigma_1\to\Sigma_2} = -\overrightarrow{F}_{\Sigma_2\to\Sigma_1}$<br>• Représentation de $\overrightarrow{F}_{r/2}$ de biais (ou de $\overrightarrow{N}_{r/2}$ et $\overrightarrow{T}_{r/2}$), pour chaque roue | | | 1.5 |
| **Q.21** | • TCI ou PFD à $\Sigma_2$ dans $\mathcal{R}_{sol} = \mathcal{R}_{galiléen}$<br>• $M_\ell\overrightarrow{g} + 4\left(\overrightarrow{N}_{r/2} + \overrightarrow{T}_{r/2}\right) + \overrightarrow{F}_{\Sigma_1\to\Sigma_2} = M_\ell\overrightarrow{a}_0$<br>• En projection sur l'horizontale : $4\overrightarrow{T}_{r/2} + \overrightarrow{F}_{\Sigma_1\to\Sigma_2} = M_c\overrightarrow{a}_0$<br>• En utilisant la troisième loi de Newton $\overrightarrow{F}_{\Sigma_1\to\Sigma_2} = -\overrightarrow{F}_{\Sigma_2\to\Sigma_1} = -M_c\overrightarrow{a}_0$<br>• Finalement : $\overrightarrow{T}_{r/2} = \frac{M_c+M_\ell}{4}\overrightarrow{a}_0$ • BONUS si cohérent car $\overrightarrow{T}_{r/2}$ motrice | | | 2.5(+0.5) |
| **Q.22** | • Projection sur la verticale du TCI à $\Sigma_2 \Rightarrow \|\|\overrightarrow{N}_{r/2}\|\| = \frac{M_\ell g}{4}$<br>• Comme $\overrightarrow{T}_{r/2}$ selon $+\overrightarrow{u}_x$, $\overrightarrow{T}_{r/2}\cdot\overrightarrow{u}_x = \|\|\overrightarrow{T}_{r/2}\|\| = 0.1 f_a\|\|\overrightarrow{N}_{r/2}\|\| = 0.1\frac{f_a M_\ell g}{4}$<br>• BONUS si $\|\|\overrightarrow{T}_{r/2}\|\| = 0.1 f_a\|\|\overrightarrow{N}_{r/2}\|\| < f_a\|\|\overrightarrow{N}_{r/2}\|\| \Rightarrow$ pas de glissement<br>• $\overrightarrow{a}_0 = \ddot{x}\overrightarrow{u}_x \Rightarrow \frac{M_c+M_\ell}{4}\ddot{x} = 0.1\frac{f_a M_\ell g}{4} \Rightarrow \ddot{x} = \frac{0.1 f_a M_\ell g}{M_\ell+M_c}$<br>• Intégration : $\dot{x} = \frac{0.1 f_a M_\ell g}{M_\ell+M_c}t \Rightarrow t_0 = v_0\frac{M_\ell+M_c}{0.1 f_a M_\ell g}$ • $t_0 = 208\ s = 3\ min\ 28\ s$<br>• BONUS si ODG correct mais long pour atteindre une vitesse si faible ! | | | 2.5(+1) |
| **Q.23** | • Schéma clair • Utilisation du projeté orthogonal $H$ de A sur $OI$<br>• Utilisation des angles dans le triangle $OAI$ • $R_\mathcal{C} = \frac{d_{AB}}{2cos\widehat{AIB}} = \frac{d_{AB}}{2sin\widehat{AOI}}$ | | | 2 |
| **Q.24** | • Accélération nulle sur $A_0A$ et $BB_0$ • $a = 0$ entre $t = 0$ et $t_1 = \frac{A_0A}{v_0}$<br>• Sur $AB$, accélération constante $\overrightarrow{a}_{AB} = -\frac{v_0^2}{R_\mathcal{C}}\overrightarrow{u}_r$<br>• $a = \frac{v_0^2}{R_\mathcal{C}}$ entre $t = t_1$ et $t_2 = t_1 + \frac{R_\mathcal{C}\widehat{AOB}}{v_0} = t_1 + \frac{\pi R_\mathcal{C}}{3v_0}$<br>• $a = 0$ entre $t_2$ et $t_3 = t_2 + \frac{BB_0}{v_0}$ • Courbe complète | | | 3 |
| **Q.25** | • $a_\mathcal{C} = \frac{v_0^2}{R_\mathcal{C}} = 3.5\ m.s^{-2}$ • BONUS si supportable car environ "$\frac{1}{3}g$" sur le côté<br>• Sur $AB$, accélération constante $\overrightarrow{a}_{AB} = -\frac{v_0^2}{R_\mathcal{C}}\overrightarrow{u}_r$<br>• $a = \frac{v_0^2}{R_\mathcal{C}}$ entre $t = t_1$ et $t_2 = t_1 + \frac{R_\mathcal{C}\widehat{AOB}}{v_0} = t_1 + \frac{\pi R_\mathcal{C}}{3v_0}$<br>• $a = 0$ entre $t_2$ et $t_3 = t_2 + \frac{BB_0}{v_0}$ • Courbe complète | | | 2.5(+0.5) |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Q.26** | • Schéma virage du dessus • Schéma "coupe transverse" du train, avec pendule<br>• Pendule qui fait un angle $\alpha$ avec la verticale apparente du wagon<br>• Train incliné d'un angle $\beta$ • Rail ext. surélevé d'après orientation pendule<br>• Fig. 5 (droite) $\Rightarrow \alpha \simeq 0.04\ rad \simeq 2.3°$<br>• PFD au pendule à l'éq. dans $\mathcal{R}_{train}$ non galiléen dans le virage<br>• $\overrightarrow{F}_{ic} = \overrightarrow{0}$ car éq dans $\mathcal{R}_{train}$ • $\overrightarrow{P} + \overrightarrow{T} + \overrightarrow{F}_{ie} = \overrightarrow{0}$<br>• $\overrightarrow{T} = Tcos(\alpha+\beta)\overrightarrow{u}_y - Tsin(\alpha+\beta)\overrightarrow{u}_x$<br>• Projections sur $\overrightarrow{u}_x$ et $\overrightarrow{u}_y$ : $m\frac{v_0^2}{R_C} = Tsin(\alpha+\beta)$ et $mg = Tcos(\alpha+\beta)$<br>• $tan(\alpha+\beta) = \frac{v_0^2}{gR_C}$ • $\beta = arctan\left(\frac{v_0^2}{gR_C}\right) - \alpha$ • $\beta = 0.27\ rad \simeq 15°$<br>• Rail espacés de 140 $cm$ $\Rightarrow$ surélévation de $35 - 40\ cm$<br>• BONUS si valeur importante ! | | | 7.5(+0.5) |
| **Q.27** | • Mouvement circulaire uniforme de $\mathcal{R}_t$ par rapport à $\mathcal{R}_g$<br>• $\Omega_T = \frac{2\pi}{T_{sidéral}} = 7,29.10^{-5}$ | | | 1 |
| **Q.28** | • Schéma de la Terre avec vitesse du train • Expression de $F_{ic} = -2m\Omega_T \wedge \overrightarrow{v_0}$<br>• Force de Coriolis qui dévie vers la droite dans l'hémisphère Nord<br>• Force vers l'Ouest sur Paris-Lyon<br>• Rail concerné par le contact à l'ouest (à gauche sur Fig.7)<br>• Reproduction schéma de la Fig.7 avec $\overrightarrow{F}_{lat}$ et forces $\overrightarrow{N}$ | | | 3 |
| **Q.29** | • $V$ diminue logiquement pour un matériau plus dur $H$ grand)<br>• $V$ est logiquement proportionnel à la longueur de rail $d$<br>• $V$ augmente logiquement avec la force normale$F_n$ appliquée | | | 1.5 |
| **Q.30** | • $[k] = L^{-1}.T^2$ | | | 0.5 |
| **Q.31** | • Calcul de $V_{sup}$ • Prise en compte du nombre $N$ d'essieux<br>• Prise en compte du nombre $2N$ de roues • $V_{sup} = k\frac{mg}{2H}d$<br>• Calcul de $V_{lat}$ • Prise en compte de la force de Coriolis $\|\|\overrightarrow{F}_{ic}\|\| = 2m\Omega_T sin\lambda v_0$<br>• $V_{lat} = k\frac{2m\Omega_T sin\lambda v_0}{H}d$ • $\frac{V_{sup}}{V_{lat}} = \frac{g}{4\Omega_T sin\lambda v_0}$ • $\frac{V_{sup}}{V_{lat}} \simeq 550$<br>• BONUS si cohérent car usure verticale bcp + gde ; pas négligeable cependant | | | 4.5(+0.5) |
| | **Total** | | | 35 |

| | **Physique 2 : Structure interne de la Terre (d'après CCS-PSI-2024)** | élève | prof | max |
|---|---|---|---|---|
| **Q.16** | • Analogies entre les forces, $m$ et $q$, $\overrightarrow{\mathcal{G}}$ et $\overrightarrow{E}$, $-G$ et $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$<br>• $\oiint \overrightarrow{\mathcal{G}} \cdot \overrightarrow{dS} = -4\pi G M_{int}$ | | | 1 |
| **Q.17** | • Schéma avec vect. de base en sphériques et surf. de Gauss $\Sigma_{Gauss}$ sphérique<br>• Distrib. de masse à sym. sph. (ou invariances et symétries) $\Rightarrow$ $\overrightarrow{\mathcal{G}} = \mathcal{G}(r)\overrightarrow{u}_r$<br>• $\overrightarrow{\mathcal{G}} = -\frac{4\pi G\mu_0 R_T^3}{3r^2}\overrightarrow{u}_r = -\frac{GM_T}{r^2}\overrightarrow{u}_r$ si $r \geq R_T$<br>• $\overrightarrow{\mathcal{G}} = -\frac{4\pi G\mu_0 r}{3}\overrightarrow{u}_r = -\frac{GM_T r}{R_T^3}\overrightarrow{u}_r$ si $r \leq R_T$ | | | 2 |
| **Q.18** | • Courbe $\|\|\overrightarrow{\mathcal{G}}(r)\|\|$ linéaire pour $r \leq R_T$ et hyperbolique pour $r \geq R_T$<br>• BONUS si $\mathcal{G}(r) < 0$ • Axes précisés et $\|\|\overrightarrow{\mathcal{G}}(R_T)\|\| = \frac{GM_T}{R_T^2}$<br>• BONUS si continuité de $\mathcal{G}(r)$ cohérente car $\nexists$ masse surfacique | | | 1(+1) |
| **Q.19** | • $\mathcal{G}_0 = \|\|\overrightarrow{\mathcal{G}}(R_T)\|\| = \frac{GM_T}{R_T^2} = 9.814\ m.s^{-2}$ • BONUS si cohérent | | | 0.5(+0.5) |
| **Q.20** | • $\mathcal{G}_0$ ne dép. que de $R_T$ et $M_T$ (th. de Gauss) $\Rightarrow$ inchangé avec $2^{nd}$ modèle | | | 0.5 |
| **Q.21** | • On a toujours une distribution sphérique de masse $\Rightarrow$ $\overrightarrow{\mathcal{G}} = \mathcal{G}(r)\overrightarrow{u}_r$<br>*<u>Méthode 1</u> : avec l'équation locale*<br>• Analogue gravitationnelle de Maxwell-Gauss (MG) : $div\overrightarrow{\mathcal{G}} = -4\pi G\mu$<br>• $div\overrightarrow{\mathcal{G}} = div\left(\mathcal{G}(r)\overrightarrow{u}_r\right) = \frac{1}{r^2}\frac{\partial\left(r^2\mathcal{G}\right)}{\partial r}$<br>• D'après Fig. 4 pour $r \leq R_2$ : $\mathcal{G}(r) = -\mathcal{G}_0\frac{r}{R_2}$ • $div\overrightarrow{\mathcal{G}} = -\frac{3\mathcal{G}_0}{R_2}$<br>• (MG) pour $r \leq R_2 \Rightarrow \mu(r \leq R_2) = \mu_0\frac{R_T}{R_2}$<br>• D'après Fig. 4 pour $R_2 \leq r \leq R_T$ : $\mathcal{G}(r) = -\mathcal{G}_0$ • $div\overrightarrow{\mathcal{G}} = -\frac{2\mathcal{G}_0}{r}$<br>• (MG) pour $R_2 \leq r \leq R_T \Rightarrow \mu(R_2 \leq r \leq R_T) = \frac{M_T}{2\pi R_T^2 r} = \frac{2\mu_0 R_T}{3r}$<br>• Utilisation de $\mathcal{G}_0 = \frac{GM}{R_T^2}$ • Résultats en fonctions des bonnes variables<br>*<u>Méthode 2</u> : avec le théorème de Gauss*<br>• Th. de Gauss pour $r \leq R_2$ : $4\pi r^2\mathcal{G}(r) = -4\pi G\int_0^r \mu(r')4\pi r'^2 dr'$<br>• Eq précédente $\Rightarrow$ nécessairement $\mu(r \leq R_2) = cste$<br>• $\mathcal{G}(R_2) = -\mathcal{G}_0 = -\frac{GM_T}{R_T^2}$ pour déterminer $\mu(r \leq R_2)$ • $\mu(r \leq R_2) = \mu_0\frac{R_T}{R_2}$<br>• Th. de Gauss pour $R_2 \leq r \leq R_T$ :<br>$$4\pi r^2\mathcal{G}(r) = -4\pi G\left[\int_0^{R_2}\mu(R_2)4\pi r'^2 dr' + \int_{R_2}^r \mu(r')4\pi r'^2 dr'\right]$$<br>• Eq précédente $\Rightarrow$ nécessairement $\mu(R_2 \leq r \leq R_T) \propto \frac{1}{r}$<br>• Intégration éq. précédente avec $\mu(R_2 \leq r \leq R_T) = \frac{A}{r}$<br>• Utilisation de $\mathcal{G}(R_2 \leq r \leq R_T) = -\mathcal{G}_0 = -\frac{GM_T}{R_T^2}$<br>• Identification des termes $\propto r^2$ ou des termes constants<br>• $\mu(R_2 \leq r \leq R_T) = \frac{M_T}{2\pi R_T^2 r} = \frac{2\mu_0 R_T}{3r}$ | | | 5.5 |
| **Q.22** | • Allure de la courbe • $r = R_2$ et $r = R_T$ spécifiées en abscisse<br>• $\mu(R_2^-) = \mu_0\frac{R_T}{R_2}$ • $\mu(R_2^+) = \frac{2}{3}\mu_0\frac{R_T}{R_2}$ • $\mu(R_T^-) = \frac{2}{3}\mu_0$<br>• On lit sur la Fig. 3 : $\mu(R_2^- \simeq 3500\ km) \simeq 10\ g.cm^{-3}$<br>• $\mu(R_2^-) = \frac{3M_T}{4\pi R_T^2 R_2} = 10^4\ kg.m^{-3} = 10\ g.cm^{-3}$<br>• BONUS si $\mu_{noyau} = 10\mu_{eau}$ cohérent<br>• $\mu_{noyau} = cste$ pas tout à fait cohérent avec le modèle PREM<br>• On lit sur la Fig. 3 : $\mu(R_2^+ \simeq 3500\ km) \simeq 5.6\ g.cm^{-3}$<br>• $\mu(R_2^+) = 6.7\ g.cm^{-3}$ • Valeurs proches mais pas identiques en $R_2^+$<br>• On lit sur la Fig. 3 : $\mu(R_T^- \simeq 6350\ km) \simeq 3.4\ g.cm^{-3}$<br>• $\mu(R_T^-) = 3.7\ g.cm^{-3}$ • Valeurs très proches | | | 7(+0.5) |
| | **Total** | | | 17.5 |

NOM - Prénom :

| | **Physique 3 : Étude d'un microphone électrostatique** | élève | prof | max |
|---|---|---|---|---|
| **Q.A.1** | • Invariances de $\mathcal{D}_{charges}$ • Symétries de $\mathcal{D}_{charges}$ $\Rightarrow$ $\overrightarrow{E}(M) = E(z)\overrightarrow{u}_z$ | | | 1 |
| **Q.A.2** | • $(Oxy)$ plan de symétrie de $\mathcal{D}_{charges}$ $\Rightarrow$ $\overrightarrow{E}(M') = sym\overrightarrow{E}(M) = -\overrightarrow{E}(M)$<br>• BONUS si schéma avec $\overrightarrow{E}(M)$ et $\overrightarrow{E}(M')$ | | | 0.5$_{(+0.5)}$ |
| **Q.A.3** | • Surf. de Gauss passant par $M$ sur schéma<br>• Dimensions $S$ et $2z$ de $\Sigma_{Gauss}$ sur schéma<br>• $d\overrightarrow{S}_{bas} = -\overrightarrow{u}_z$ utilisé avec $\overrightarrow{E}(M') = -\overrightarrow{E}(M)$ • $\Phi(\overrightarrow{E}/\Sigma_{Gauss}) = 2 \times E(z)S$<br>• $Q_{int} = \sigma S$ • $\overrightarrow{E}(z > 0) = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}\overrightarrow{u}_z = \frac{Q}{2\epsilon_0 S}\overrightarrow{u}_z$<br>• $\overrightarrow{E}(z < 0) = -\frac{\sigma}{2\epsilon_0}\overrightarrow{u}_z = -\frac{Q}{2\epsilon_0 S}\overrightarrow{u}_z$ d'après Q.A.2<br>• BONUS si vérification dimensions et/ou $\overrightarrow{E}$ diverge des $\sigma > 0$ | | | 3.5$_{(+0.5)}$ |
| **Q.A.4** | • $\overrightarrow{F}_{base\to membrane} = -Q\overrightarrow{E}_{base} = -\frac{Q^2}{2\epsilon_0 S}\overrightarrow{u}_z$ • Force attractive<br>• BONUS si cohérent car charges opposées | | | 1$_{(+0.5)}$ |
| **Q.A.5** | • $Q = CU \Rightarrow \overrightarrow{F}_{base\to membrane} = -\frac{C^2U^2}{2\epsilon_0 S}\overrightarrow{u}_z = -\frac{\epsilon_0 SU^2}{2(e+z)^2}\overrightarrow{u}_z$ | | | 0.5 |
| **Q.C.1** | • PFD $\Rightarrow m\ddot{z} = -kz - h\dot{z} - \frac{\varepsilon_0 S}{2}\frac{U(t)^2}{(e+z)^2}$ | | | 0.5 |
| **Q.C.2** | • $m\ddot{\xi} = -k(z_0+\xi) - h\,\dot{\xi} - \frac{\varepsilon_0 S}{2}\frac{(U_0+u)^2}{(e+z_0+\xi)^2}$ | | | 0.5 |
| **Q.C.3** | • $(U_0+u)^2 \approx {U_0}^2 + 2U_0\,u$ • $\frac{1}{(e+z_0+\xi)^2} \approx \frac{1}{(e+z_0)^2} - \frac{2\xi}{(e+z_0)^3}$<br>• Utilisation de l'éq. $-kz_0 - \frac{\varepsilon_0 S}{2}\frac{{U_0}^2}{(e+z_0)^2} = 0$<br>• Obtention de $m\ddot{\xi} + h\,\dot{\xi} + k'\xi = \alpha u(t)$ • $k' = k - \epsilon_0 S\frac{{U_0}^2}{(e+z_0)^3}$ • $\alpha = -\frac{\epsilon_0 S\,U_0}{(e+z_0)^2}$<br>• $k' = 980$ N.m$^{-1}$ • BONUS si raideur importante<br>• $\alpha = -5{,}5.10^{-5}$ N.V$^{-1}$ • $\alpha$ très faible $\Rightarrow u(t)$ a peu d'influence et $\xi(t)$ faible | | | 4.5$_{(+0.5)}$ |
| **Q.D.1** | • $A(j\omega) = \frac{\alpha}{k'+jh\omega-m\omega^2}$ • Filtre passe-bas du second ordre | | | 1 |
| **Q.D.2** | • Forme canonique : $A(j\omega) = \frac{H_0}{1+\frac{jx}{Q}-x^2}$ avec $x = \frac{\omega}{\omega_0}$ et $\omega_0 = \sqrt{\frac{k'}{m}}$ • $f_0 = 96\ Hz$ | | | 1 |
| **Q.D.3** | • Si $f \ll f_0$ : $A(j\omega) \approx H_0 = \alpha/k'$ et $\xi(t) = \frac{\alpha}{k'}\,u_s\cos(\omega t) = \xi_m\cos(\omega t)$<br>• Réponse $\xi(t)$ en phase avec l'excitation $u(t)$<br>• Pour avoir $\xi_m = e/100$, alors $u_s = \frac{k'e}{100\,\alpha} = 5{,}3.10^2$ V | | | 1.5 |
| | **Total** | | | 15.5 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **TOTAL** | | | 68 |