

ICNA - SESSION 2006

ÉPREUVE COMMUNE DE PHYSIQUE

ÉNONCÉ

Questions liées.

[1,2,3,4] [5,6,7,8] [9,10,11,12,13] [14,15,16,17,18] [19,20] [21,22,23,24,25,26,27,28]
[29,30,31,32,33,34] [35,36,37,38,39,40]

1. On considère une portion de fil conducteur repéré par ses deux extrémités C et D telles que $\mathbf{CD} = \delta = \delta \mathbf{e}_z$ ($\delta > 0$). Ce segment de fil est parcouru par un courant sinusoïdal $i(t) = I_0 \cos(\omega t)$. Tous les points de l'espace sont repérés par leurs coordonnées sphériques (r, θ, φ) dans le repère $(\mathbf{O}, \mathbf{e}_r, \mathbf{e}_\theta, \mathbf{e}_\varphi)$, le point origine O se trouvant au milieu du segment [CD] et $\theta = (\mathbf{e}_z, \mathbf{e}_r)$.

Dans le vide (perméabilité ϵ_0 , perméabilité μ_0), à une distance $r \gg \delta$, le potentiel-vecteur $\mathbf{A}(\mathbf{M})$ en un point M quelconque ne dépend que de r et t selon l'expression suivante en notation complexe : $\underline{\mathbf{A}}(\mathbf{M}) = \frac{\mu_0}{4\pi} I_0 \exp(j(\omega t - kr)) \frac{\delta}{r} \mathbf{e}_z$, dans laquelle $k = \frac{\omega}{c}$, et c est la vitesse de propagation de l'onde électromagnétique.

Déterminer l'expression du champ magnétique $\underline{\mathbf{B}}(\mathbf{M})$ au point M.

a) $\underline{\mathbf{B}}(\mathbf{M}) = \frac{\mu_0 \delta}{4\pi r} I_0 \cos \theta \left(\frac{1}{r} + jk \right) \exp(j(\omega t - kr)) \mathbf{e}_\varphi$ b) $\underline{\mathbf{B}}(\mathbf{M}) = \frac{\mu_0 \delta}{4\pi r} I_0 \sin \theta \left(\frac{1}{r} + jk \right) \exp(j(\omega t - kr)) \mathbf{e}_\varphi$
c) $\underline{\mathbf{B}}(\mathbf{M}) = \frac{\mu_0 \delta}{4\pi r} I_0 \cos \theta \left(\frac{1}{r} + jk \right) \exp(j(\omega t - kr)) \mathbf{e}_\theta$ d) $\underline{\mathbf{B}}(\mathbf{M}) = \frac{\mu_0 \delta}{4\pi r} I_0 \sin \theta \left(\frac{1}{r} + jk \right) \exp(j(\omega t - kr)) \mathbf{e}_\theta$

2. En ne retenant que la contribution en $\frac{1}{r}$ dans l'explicitation des champs dans la base sphérique, déterminer l'expression du champ électrique $\underline{\mathbf{E}}(\mathbf{M})$ au point M.

a) $\underline{\mathbf{E}}(\mathbf{M}) = jk \frac{\mu_0 c}{4\pi r} I_0 \delta \cos \theta \exp(j(\omega t - kr)) \mathbf{e}_\varphi$ b) $\underline{\mathbf{E}}(\mathbf{M}) = jk \frac{\mu_0 c}{4\pi r} I_0 \delta \sin \theta \exp(j(\omega t - kr)) \mathbf{e}_\varphi$
c) $\underline{\mathbf{E}}(\mathbf{M}) = jk \frac{\mu_0 c}{4\pi r} I_0 \delta \cos \theta \exp(j(\omega t - kr)) \mathbf{e}_\theta$ d) $\underline{\mathbf{E}}(\mathbf{M}) = jk \frac{\mu_0 c}{4\pi r} I_0 \delta \sin \theta \exp(j(\omega t - kr)) \mathbf{e}_\theta$

3. A partir des résultats des questions précédentes, déduire la norme $\|\mathbf{R}(\mathbf{M})\|$ du vecteur de Poynting au point M.

a) $\|\mathbf{R}(\mathbf{M})\| = \frac{\mu_0 c}{16(\pi r)^2} (kI_0 \delta \cos \theta)^2 \cos^2(\omega t - kr)$ b) $\|\mathbf{R}(\mathbf{M})\| = \frac{\mu_0 c}{16(\pi r)^2} (kI_0 \delta \sin \theta)^2 \sin^2(\omega t - kr)$
c) $\|\mathbf{R}(\mathbf{M})\| = \frac{\mu_0 c}{16(\pi r)^2} (kI_0 \delta \cos \theta)^2 \sin^2(\omega t - kr)$ d) $\|\mathbf{R}(\mathbf{M})\| = \frac{\mu_0 c}{16(\pi r)^2} (kI_0 \delta \sin \theta)^2 \cos^2(\omega t - kr)$

4. Calculer la puissance totale moyenne \mathcal{P} rayonnée par la portion de fil.

a) $\mathcal{P} = \frac{\mu_0 c}{4\pi} (kI_0 \delta)^2$ b) $\mathcal{P} = \frac{\mu_0 c}{8\pi} (kI_0 \delta)^2$ c) $\mathcal{P} = \frac{\mu_0 c}{12\pi} (kI_0 \delta)^2$ d) $\mathcal{P} = \frac{\mu_0 c}{16\pi} (kI_0 \delta)^2$

5. On considère une sphère totalement vide, de centre O et de rayon R, portant une charge électrique Q répartie de manière uniforme sur la surface. On note ϵ_0 la permittivité du vide.

Dans un premier temps, la sphère est immobile et l'on cherche à déterminer le vecteur champ électrique $\mathbf{E}(M)$ et le potentiel électrique $V(M)$ créés en un point M de l'espace situé à la distance r de O . Le potentiel est supposé nul à l'infini.

On introduit la fonction H telle que : $H(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x > 0 \\ 0 & \text{si } x < 0 \end{cases}$.

$$a) \mathbf{E}(M) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{r}{R^3} \frac{\mathbf{OM}}{\|\mathbf{OM}\|} H(R-r) + \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r^2} \frac{\mathbf{OM}}{\|\mathbf{OM}\|} H(r-R)$$

$$b) \mathbf{E}(M) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r^2} \frac{\mathbf{OM}}{\|\mathbf{OM}\|} H(r-R)$$

$$c) V(M) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r} H(r-R) + \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{R} H(R-r)$$

$$d) V(M) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r} H(r-R) + \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{R}{r^2} H(R-r)$$

6. En partant de l'expression de la densité volumique de l'énergie électrostatique, déterminer l'expression W de l'énergie de cette distribution de charge.

$$a) W = \frac{3Q^2}{20\pi\epsilon_0 R} \quad b) W = \frac{-3Q^2}{20\pi\epsilon_0 R} \quad c) W = \frac{Q^2}{8\pi\epsilon_0 R} \quad d) W = \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0 R}$$

7. La sphère précédente est maintenant mise en mouvement de rotation uniforme (*vitesse angulaire* Ω) autour d'un de ses diamètres noté Δ (*les charges en mouvement sont équivalentes à un courant parcourant la surface*).

On considère, sur la surface de la sphère, un anneau d'axe Δ , repéré par un angle θ et dont l'extension angulaire vaut $d\theta$. θ est l'angle entre l'axe Δ et le segment OM , dans lequel M est un point quelconque de cette surface élémentaire en anneau.

Donner l'expression de l'intensité du courant élémentaire surfacique "équivalent" parcourant l'anneau.

$$a) dI = \frac{Q\Omega}{2\pi} \cos\theta d\theta \quad b) dI = \frac{Q\Omega}{2\pi} \sin\theta d\theta \quad c) dI = \frac{Q\Omega}{4\pi} \cos\theta d\theta \quad d) dI = \frac{Q\Omega}{4\pi} \sin\theta d\theta$$

8. Calculer l'intensité du champ magnétique $B(O)$ créé au centre de la sphère.

$$a) B(O) = \frac{\mu_0 \Omega Q}{6\pi R} \quad b) B(O) = 0 \quad c) B(O) = \frac{\mu_0 \Omega Q}{4\pi R} \quad d) B(O) = \frac{\mu_0 \Omega Q}{2\pi R}$$

9. On considère un système constitué par deux cylindres pleins, de mêmes dimensions, posés l'un sur l'autre sur une de leur face plane. On note respectivement D le diamètre et e la hauteur de chacun des cylindres. On isole thermiquement les parois latérales des cylindres et l'on suppose que la température n'est fonction que de la seule dimension d'espace perpendiculaire aux faces non isolées (*le problème thermique que l'on doit traiter est donc monodimensionnel*). On suppose qu'il n'y a pas de résistance thermique de contact entre les deux cylindres. Le cylindre supérieur a une conduction thermique que l'on note λ_s et le cylindre inférieur une conduction thermique que l'on note λ_i . Donner l'expression de la résistance thermique de conduction R_e de l'empilement.

$$a) R_e = \frac{4e}{\pi D^2} \left(\frac{1}{\lambda_i + \lambda_s} \right) \quad b) R_e = \frac{2e}{\pi D^2} \left(\frac{\lambda_i + \lambda_s}{\lambda_i \lambda_s} \right)$$

$$c) R_e = \frac{4e}{\pi D^2} \left(\frac{\lambda_i + \lambda_s}{\lambda_i \lambda_s} \right) \quad d) R_e = \frac{2e}{\pi D^2} \left(\frac{1}{\lambda_i + \lambda_s} \right)$$

10. Pour tout ce qui suit dans cet exercice, on supposera que le régime stationnaire est atteint.

La face plane supérieure de l'empilement des cylindres est au contact d'une atmosphère gazeuse. La température de l'atmosphère est notée T_{atm} . On note h (*exprimé en $\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$*) le coefficient d'échange superficiel par convection sur la face supérieure, et l'on admet que la densité de flux thermique à la surface est modélisée par la loi de Newton relative aux échanges thermiques de surface. La face plane inférieure de l'empilement est maintenue à une température fixe que l'on note T_{inf} . On note $T_{\text{sup},0}$ la

température de la face plane supérieure dans le cas où l'on peut négliger les échanges radiatifs (*parois parfaitement réfléchissantes*).

$$\text{a) } T_{\text{sup},0} = \frac{R_e h \pi D^2 T_{\text{inf}} + 4 T_{\text{atm}}}{R_e h \pi D^2 + 4}$$

$$\text{b) } T_{\text{sup},0} = \frac{R_e h \pi D^2 T_{\text{atm}} + 4 T_{\text{inf}}}{R_e h \pi D^2 + 4}$$

$$\text{c) } T_{\text{sup},0} = \frac{h T_{\text{atm}} + T_{\text{inf}} (\lambda_i + \lambda_s) / e}{h + (\lambda_i + \lambda_s) / e}$$

$$\text{d) } T_{\text{sup},0} = \frac{h T_{\text{inf}} + T_{\text{atm}} (\lambda_i + \lambda_s) / e}{h + (\lambda_i + \lambda_s) / e}$$

11. On note $T_{I,0}$ la température de l'interface des deux cylindres (*on suppose que le contact entre les cylindres est parfait et que l'on peut définir une température unique d'interface*). On conserve les mêmes hypothèses qu'à la question précédente.

$$\text{a) } T_{I,0} = T_{\text{sup},0} + \frac{4e}{R_e \lambda_s \pi D^2} (T_{\text{inf}} - T_{\text{sup},0})$$

$$\text{b) } T_{I,0} = \frac{T_{\text{inf}} + T_{\text{sup},0}}{2}$$

$$\text{c) } T_{I,0} = T_{\text{inf}} + \frac{4e}{R_e \lambda_s \pi D^2} (T_{\text{inf}} - T_{\text{sup},0})$$

$$\text{d) } T_{I,0} = T_{\text{inf}} + \frac{eh}{\lambda_i} (T_{\text{atm}} - T_{\text{sup},0})$$

12. On suppose que les conditions expérimentales sont toujours celles des questions précédentes mais cette fois-ci, la face plane supérieure de l'empilement échange de l'énergie par rayonnement avec les murs de la pièce dans laquelle est placé le dispositif (*l'atmosphère est supposée parfaitement transparent d'un point de vue radiatif*). On suppose que tous les murs de la pièce peuvent être assimilés à des corps noirs isothermes à la température T_{mur} . La face plane supérieure est également assimilée à un corps noir et sa température en régime stationnaire est notée T_{sup} . Les affirmations valables dans ce cas sont :

a) Si $h = 0$ une solution possible du problème est $T_{\text{sup}} > T_{\text{inf}} > T_{\text{mur}}$.

b) Si $T_{\text{mur}} = T_{\text{atm}}$ alors $T_{\text{sup}} = T_{\text{sup},0}$ quelle que soit la valeur de T_{inf} .

c) Si $T_{\text{inf}} > T_{\text{mur}}$, une solution possible du problème est $T_{\text{mur}} > T_{\text{sup}}$.

d) Si $T_{\text{mur}} = T_{\text{sup}}$, alors l'énergie d'échange net radiatif entre le mur et le cylindre supérieur est nul.

13. On note σ la constante de Stefan. On suppose que les températures T_{mur} et T_{sup} sont suffisamment proches pour pouvoir linéariser le terme d'échange radiatif autour de la température T_{mur} . Sous ces hypothèses, donner l'expression de la température T_{sup} .

$$\text{a) } T_{\text{sup}} = \frac{R_e \pi D^2 (h T_{\text{inf}} + 4 \sigma T_{\text{mur}}^4) + 4 T_{\text{atm}}}{R_e \pi D^2 (h + 4 \sigma T_{\text{mur}}^3) + 4}$$

$$\text{b) } T_{\text{sup}} = \frac{R_e \pi D^2 (h T_{\text{atm}} + 4 \sigma T_{\text{mur}}^4) + 4 T_{\text{inf}}}{R_e \pi D^2 (h + 4 \sigma T_{\text{mur}}^3) + 4}$$

$$\text{c) } T_{\text{sup}} = \frac{\sigma T_{\text{mur}}^4 + h T_{\text{atm}} + T_{\text{inf}} (\lambda_i + \lambda_s) / e}{4 \sigma T_{\text{mur}}^3 + h + (\lambda_i + \lambda_s) / e}$$

$$\text{d) } T_{\text{sup}} = \frac{\sigma T_{\text{mur}}^4 + h T_{\text{inf}} + T_{\text{atm}} (\lambda_i + \lambda_s) / e}{4 \sigma T_{\text{mur}}^3 + h + (\lambda_i + \lambda_s) / e}$$

14. On peut modéliser le comportement thermodynamique du fluide dans une machine frigorifique à fluide diphasé par une succession de transformations suivantes.

♦ Compression adiabatique réversible en phase gazeuse du point d'équilibre A au point d'équilibre B. Au point A le fluide est à l'état de vapeur saturante.

♦ Refroidissement isobare de la vapeur du point d'équilibre B au point d'équilibre C. Au point C, le fluide est à l'état de vapeur saturante.

♦ Liquéfaction isobare et totale du fluide du point d'équilibre C au point d'équilibre D. Au point D, le fluide est à l'état de liquide saturant.

♦ Détente adiabatique irréversible du fluide que l'on peut ici modéliser par une détente isenthalpique entre le point d'équilibre D et le point d'équilibre E (*qui se trouve dans un état d'équilibre liquide/vapeur*).

♦ Vaporisation totale du fluide du point d'équilibre E au point d'équilibre A.

On donne les enthalpies massiques du fluide aux points A, B et D :

$$h_A = 1167 \text{ kJ.kg}^{-1}, \quad h_B = 1355 \text{ kJ.kg}^{-1}, \quad h_D = 30 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

Calculer les quantités de chaleur massique q_{chaud} et q_{froid} mises en jeu, au cours d'un cycle, respectivement au contact des sources chaude et froide.

- a) $q_{\text{froid}} = -188 \text{kJ.kg}^{-1}$, $q_{\text{chaud}} = 188 \text{kJ.kg}^{-1}$ b) $q_{\text{froid}} = -1325 \text{kJ.kg}^{-1}$, $q_{\text{chaud}} = 1137 \text{kJ.kg}^{-1}$
 c) $q_{\text{chaud}} = -1325 \text{kJ.kg}^{-1}$, $q_{\text{froid}} = 1137 \text{kJ.kg}^{-1}$ d) $q_{\text{froid}} = -1325 \text{kJ.kg}^{-1}$, $q_{\text{chaud}} = 1325 \text{kJ.kg}^{-1}$

15. Calculer approximativement le coefficient d'efficacité η de la machine frigorifique.

- a) $\eta \approx 6$ b) $\eta \approx 0,16$ c) $\eta \approx 1,17$ d) $\eta \approx 0,86$

16. La phase gazeuse peut être assimilée à un gaz parfait. On note T_B la température du fluide au point B et T_C la température du fluide au point C. On note c_p la capacité calorifique massique à pression constante de la phase gazeuse.

Comment peut-on exprimer la chaleur latente massique de vaporisation du fluide $\ell_v(T_C)$ à la température T_C ?

- a) $\ell_v(T_C) = h_B - h_D$ b) $\ell_v(T_C) = -c_p(T_B - T_C)$
 c) $\ell_v(T_C) = h_B - h_D - c_p(T_B - T_C)$ d) $\ell_v(T_C) = q_{\text{froid}}$

17. Le titre massique en vapeur x est défini comme le rapport de la masse de vapeur sur la masse totale de fluide. On donne la chaleur latente de vaporisation du fluide à la température T_A du point A : $\ell_v(T_A) = 1293 \text{kJ.kg}^{-1}$. Calculer le titre massique en vapeur x_E au point E.

- a) $x_E \approx 0,88$ b) $x_E \approx 0,12$ c) $x_E \approx 0,26$ d) $x_E \approx 0,38$

18. On utilise cette installation frigorifique pour maintenir constante la température d'une chambre froide à laquelle il faut enlever 5000 kJ par heure. Sachant que la machine fonctionne en régime stationnaire, calculer le débit massique D_m du fluide frigorifique.

- a) $D_m \approx 0,0073 \text{kg.s}^{-1}$ b) $D_m \approx 0,0042 \text{kg.s}^{-1}$ c) $D_m \approx 0,0010 \text{kg.s}^{-1}$ d) $D_m \approx 0,0012 \text{kg.s}^{-1}$

19. On considère le montage ci-contre, dont on souhaite étudier le comportement.

R_a et R_b sont les valeurs des résistances et C_a et C_b les capacités respectives des condensateurs.

On note :

♦ $u(t) = U_{NP}(t)$ la différence de potentiel aux bornes de C_a ;

♦ $v(t) = U_{MP}(t)$ la différence de potentiel aux bornes de C_b .

On ferme l'interrupteur à $t = 0$ (*instant initial*) : le condensateur C_b est alors chargé sous une différence de potentiel $v(0)$, alors que la différence de potentiel aux bornes du condensateur C_a est nulle.

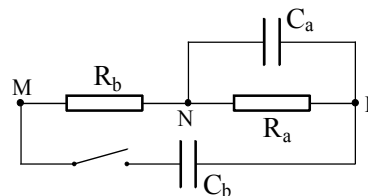
Les affirmations valables dans ce cas sont :

a) $u(t) = \frac{v(0)}{z_1 R_b C_b} (1 - \exp(z_1 t))$ avec z_1 négatif.

b) $C_b \frac{dv(t)}{dt} = \frac{u(t) - v(t)}{R_b}$

c) $u(t) = \frac{v(0)}{(z_1 - z_2) R_b C_a} (\exp(z_1 t) - \exp(z_2 t))$ pour $t > 0$ et avec z_1 et z_2 négatifs.

d) $v(t) + u(t) = v(0)$ pour $t > 0$.



20. On se place dans le cas limite correspondant à $R_b = 0$. Concernant la tension aux bornes de C_a :

a) L'évolution temporelle est caractérisée par une constante de temps $\tau = R_a(C_a + C_b)$.

b) L'évolution temporelle est caractérisée par une constante de temps $\tau = R_a C_a$.

c) L'évolution temporelle est caractérisée par deux constantes de temps $\tau_a = R_a C_a$ et $\tau_b = R_a C_b$.

d) L'évolution temporelle est oscillatoire amortie.

- c) Les fentes F_1 et F_2 doivent obligatoirement être placées dans le plan focal objet de L_2 .
 d) L'écran E doit être obligatoirement placé dans le plan focal image de L_2 .

31. L'interfrange d'interférence est :

a) $i = \frac{\lambda f'}{a}$ b) $i = \frac{\lambda f'}{d}$ c) $i = \frac{\lambda a}{f'}$ d) $i = \frac{\lambda d}{f'}$

32. On réalise une translation de l'écran F d'une distance $c = 1\text{cm}$ suivant la direction de Ox .

- a) La figure d'interférence n'est pas modifiée.
 b) La figure d'interférence subit la même translation de c que l'écran F.
 c) La figure d'interférence subit une translation de c en sens inverse par rapport à celle de l'écran F.
 d) La valeur de l'interfrange n'est pas modifiée.

33. On revient au montage initial (*question 29*) et on déplace ensuite la fente source S d'une distance $c = 1\text{cm}$ suivant la direction Ox .

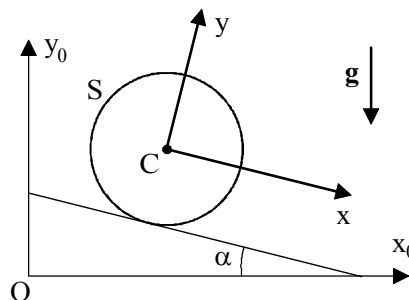
- a) La figure d'interférence n'est pas modifiée.
 b) La figure d'interférence subit la même translation de c que la source S.
 c) La figure d'interférence subit une translation de c en sens inverse par rapport à celle de la source S.
 d) La valeur de l'interfrange n'est pas modifiée.

34.

- a) La frange centrale est sombre.
 b) La frange centrale est centrée sur l'image géométrique de la source.
 c) La frange centrée sur l'axe optique est brillante.
 d) L'interfrange est de $0,25\text{ mm}$.

35. Une sphère homogène S, de centre C, de rayon r et de masse m , est abandonnée sans vitesse initiale du haut d'un plan incliné faisant un angle α par rapport au plan horizontal x_0Oz_0 du repère orthonormé direct $(O, \mathbf{e}_{x_0}, \mathbf{e}_{y_0}, \mathbf{e}_{z_0})$ associé au référentiel galiléen \mathcal{R}_0 .

On définit la base orthonormée directe $B = (\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_{z_0})$ liée au plan incliné et telle que \mathbf{e}_x soit parallèle à la ligne de plus grande pente (*figure ci-contre*). Lors du mouvement, il y a un frottement de glissement de coefficient $f = \tan \varphi$.



On note :

♦ $I = \frac{2}{5}mr^2$ le moment d'inertie de la sphère par rapport à un de ses diamètres ;

♦ $\boldsymbol{\Omega}(S/\mathcal{R}_0) = \boldsymbol{\Omega} = \Omega \mathbf{e}$ ($\Omega > 0$) le vecteur rotation instantanée, autour de l'axe de vecteur unitaire \mathbf{e} , de S dans \mathcal{R}_0 ;

♦ $\mathbf{R} = T\mathbf{e}_x + N\mathbf{e}_y$ la réaction du plan incliné sur la sphère au point de contact I ;

♦ g le champ de pesanteur supposé uniforme.

Le mouvement du solide est étudié dans le référentiel \mathcal{R} lié au plan incliné.

a) $\boldsymbol{\Omega} = \Omega \mathbf{e}_{z_0}$

b) L'énergie potentielle d'inertie d'entraînement vaut : $E_{pie} = \frac{1}{2}I\Omega^2$.

c) La norme du moment du poids du solide par rapport au point I est $mgr \cos \alpha$.

d) Le moment du poids du solide par rapport au point I est dirigé suivant $+\mathbf{e}_z$.

36. On note x la position de C sur le plan incliné, $\dot{x} = \frac{dx}{dt}$ et $\ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2}$.

a) $m\ddot{x} = mg \sin \alpha + T$ b) $mg \cos \alpha = N$ c) $m\ddot{x} = mg \sin \alpha - T$ d) $mg \cos \alpha = -N$

37.

a) $I \frac{d\Omega}{dt} = rT$ b) $(I + mr^2) \frac{d\Omega}{dt} = rT$ c) $-I \frac{d\Omega}{dt} = rT$ d) $(I - mr^2) \frac{d\Omega}{dt} = rT$

38. On suppose (*questions 38 et 39*) que le roulement sur le plan incliné se fait sans glissement.

a) $T = fN$ b) $T \leq fN$ c) $T = -\frac{2}{5}m\ddot{x}$ d) $\dot{x} = -r\Omega$

39. On note E_c l'énergie cinétique du solide.

a) $\ddot{x} = \frac{5}{3}g \sin \alpha$ b) $T = \frac{2}{3}mg \sin \alpha$ c) $\frac{dE_c}{dt} = mg \dot{x} \sin \alpha$ d) $E_c = \frac{7}{4}I\Omega^2$

40.

a) Le roulement sans glissement s'effectue si : $\tan \alpha \leq \frac{3}{2}f$.

b) Le roulement sans glissement s'effectue si : $\tan \alpha = \frac{7}{2}f$.

c) Il y a roulement avec glissement si : $\tan \alpha = \frac{3}{2}f$.

d) Il y a roulement avec glissement si : $\tan \alpha \geq \frac{7}{2}f$.