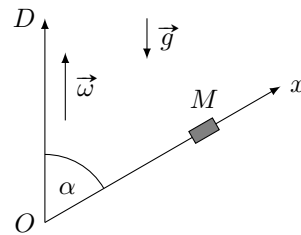


Colle n° 10 : Mécanique 4 - Thermo 2

Exercice 1 - Anneau sur une tige en rotation : Un axe matériel Ox est incliné d'un angle α par rapport à un axe vertical D . L'axe Ox est animé d'un mouvement de rotation uniforme de vitesse angulaire ω autour de D . Un solide M assimilable à un point matériel, de masse m , coulisse sans frottement sur l'axe Ox .



- Déterminer la position d'équilibre relatif M_0 de M sur Ox . On posera $\Omega = \omega \sin(\alpha)$.
- M est abandonné sans vitesse relativement à Ox à une distance a de M_0 , telle que $\overrightarrow{M_0 M}(t=0) = a\overrightarrow{u}_x$. Donner l'expression de $\xi = M_0M$ en fonction du temps. Quelle est la nature de la position d'équilibre M_0 ?
- Dans le cadre du mouvement décrit à la question précédente, calculer à l'instant t la composante de l'action de M sur Ox perpendiculaire au plan DOx .

Exercice 2 - Étude du TGV : Lors d'un essai réalisé durant la campagne préalable à la tentative de record sur une voie approximativement rectiligne et plus ou moins horizontale, on a relevé les données suivantes.

$t(\text{s})$	0	70	95	124	155	231	263	332
$V(\text{km/h})$	0	150	200	250	300	350	400	450

- Calculer, sur chaque intervalle de mesure, les valeurs de l'accélération moyenne de la rame. On exprimera ces valeurs en m/s^2 dans un tableau récapitulatif. Estimer la distance parcourue nécessaire pour atteindre la vitesse de 450 km/h.
- Un journaliste convié à cet essai avait apporté un petit pendule simple qu'il avait suspendu au plafond de la voiture. Il comptait, selon ses mots, « mettre en évidence la grande vitesse du train ». Sa méthode permettait-elle réellement de mettre la vitesse du train en évidence ? Quelle a été, en régime permanent, l'inclinaison maximale du pendule par rapport à la verticale durant l'essai ?

Sur le tronçon de la voie d'essai, il y avait quelques virages. Dans la suite, nous prendrons comme exemple le virage situé entre les points kilométriques 190 et 197 de la voie, de longueur d'arc $s = 6323 \text{ m}$ et de rayon de courbure $\chi = 16667 \text{ m}$ tournant à gauche. Ce virage est parcouru à la vitesse constante de 540 km/h. Les faces internes des rails sont distantes de $\ell_r = 1435 \text{ mm}$. Les centres de gravité des remorques sont approximativement situés à une hauteur $h = 2.5 \text{ m}$ du rail.

On considère le cas hypothétique d'une voie sans dévers, c'est-à-dire que les deux rails sont dans le même plan horizontal.

- La transition entre la voie rectiligne et la voie en virage se fait par l'intermédiaire d'un tronçon de raccordement parabolique de longueur 130 m. Quelle est la durée de cette phase de transition ? Qu'ont ressenti les passagers se tenant debout dans les voitures durant le franchissement du tronçon de transition ? On traduira ces effets de façon quantitative en exprimant les valeurs extrêmes de la force ressentie par un passager de masse $m_p = 75 \text{ kg}$ se tenant au centre du train.
- Un verre d'eau posé sur la tablette devant un passager mettrait en évidence la force d'inertie présente dans le virage de deux manières différentes. Lesquelles (on ne demande aucun calcul) ?
- À quelle vitesse maximale théorique le train peut-il parcourir le virage sans risque de décollement des roues ?

Exercice 3 - Comportement social thermorégulateur des manchots : Un manchot se modélise par un parallélépipède rectangle de section carrée de côté $a = 10 \text{ cm}$ et de hauteur $\ell = 50 \text{ cm}$. La manchot maintient sa température interne $T_i = 37^\circ\text{C}$ au moyen d'un apport métabolique $P_1 = 50 \text{ W}$ qui compense les pertes par conduction thermique au travers de son revêtement de plumes d'épaisseur $e = 1,0 \text{ cm}$ et de conductivité thermique λ .

- Déterminer la valeur de la conductivité thermique λ du revêtement de plume sachant que la température extérieures (y compris au niveau du sol) est $T_e = -20^\circ\text{C}$.
- Pour faire face à des températures extrêmes, neuf manchots se serrent les uns contre les autres formant un carré de 3×3 manchots. Le pavage est parfait, seules les faces supérieures inférieures et latérales périphériques sont sujettes aux pertes thermiques. De combien le métabolisme nécessaire au maintien de la température interne, rapporté à un manchot, est-il réduit lorsque les neuf manchots se serrent les uns contre les autres ?

Exercice 4 - Pas de petits mammifères marins ? : Tentons d'expliquer pourquoi il n'existe pas de tout petits mammifères marins ; en effet le plus petit d'entre eux est la marsouin du Pacifique, fortement menacé d'extinction, qui mesure environ 1.50 m à l'âge adulte. Modélisons un mammifère très schématiquement par une boule de muscles de centre O et de rayon R , dont le métabolisme dégage une puissance thermique uniforme \mathcal{P} par unité de volume. L'animal est plongé dans un milieu (air ou eau) de conductivité thermique κ , dont la température loin du mammifère est $T_\infty = 20^\circ\text{C}$. On s'intéresse à la température du milieu ambiant ($r > R$) en régime stationnaire, sans considérer de convection dans un premier temps.

1. Sans procéder à un bilan mésoscopique, établir l'équation différentielle vérifiée par la température $T(r)$ dans le fluide en régime stationnaire.
2. Un mammifère, marin ou terrestre, est notamment caractérisé par le fait qu'il ait le sang chaud. Par conséquent, il doit maintenir sa température cutanée $T_c = T(r = R)$ au-dessus d'une valeur critique de survie T_s . Établir l'expression du profil thermique $T(r)$ dans le milieu extérieur, en fonction de r , R , T_∞ , et \mathcal{P} . Discuter les rôles respectifs de la taille de l'animal et de la nature de l'environnement sur la température cutanée du mammifère.
3. Considérons un dauphin adulte de 300 kg pour 3 m de long. En supposant ce dauphin cylindrique, estimer la valeur R du rayon de notre modèle sphérique qui présenterait le même rapport surface/volume que le dauphin.
4. Quelle puissance volumique \mathcal{P} le métabolisme du mammifère doit-il développer pour maintenir sa peau à $T_c = 30^\circ\text{C}$, dans l'air, puis dans l'eau ? On utilisera les conductivités thermiques effectives $\kappa_{\text{air}} = 50 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ et $\kappa_{\text{eau}} = 250 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ pour rendre compte de l'efficacité de la convection dans le fluide. Commenter. En réalité, les conductivités thermiques de l'air et de l'eau sont égales à $\lambda_{\text{air}} = 0.026 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ et $\lambda_{\text{eau}} = 0.6 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.
5. Proposer une méthode pour estimer les valeurs effectives qui rendent compte de la convection dans le fluide.

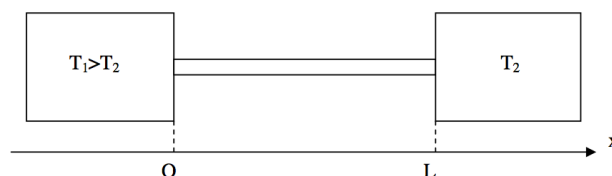
Exercice 5 - Étude d'un four industriel cylindrique : On étudie le fonctionnement en régime stationnaire d'un four cylindrique industriel dans une usine métallurgique. La paroi du four, de conductivité thermique $\lambda_p = 0.50 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, est délimitée par deux cylindres coaxiaux d'axe (Oz) et de rayons $R_1 = 30 \text{ cm}$ et $R_2 = 50 \text{ cm}$. On admettra que la longueur $L = 10 \text{ m}$ du four est suffisante pour supposer que $R_1, R_2 \ll L$. La température de la paroi intérieure est $T_1 = T(r = R_1) = 900 \text{ K}$, celle de la paroi extérieure $T_2 = T(r = R_2) = 300 \text{ K}$. Ce four est alimenté par du charbon dont la combustion permet de récupérer 13 MJ/kg.

1. Déterminer la température $T(r)$ de la paroi du four pour $R_1 \leq r \leq R_2$.
2. Calculer la masse m de charbon à brûler quotidiennement dans le four pour permettre à celui-ci de fonctionner en régime stationnaire.
3. Les échanges thermiques entre la paroi extérieure du four et l'atmosphère sont modélisés par la loi empirique de Newton. Déterminer la valeur du coefficient de conducto-convection h en sachant que la température extérieure est $T_0 = 290 \text{ K}$. Pourquoi peut-on considérer qu'il n'y a pas de conducto-convection à l'intérieur du four ?
4. L'usure thermique a endommagé une partie du four. La paroi a donc été remplacée sur une longueur $L/3$, avec un matériau de conductivité $\lambda_m = 0.20 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. Quelle est la nouvelle résistance thermique de l'installation, en tenant compte de la conducto-convection ?

Exercice 6 - Ailette de refroidissement : On considère l'atelier d'un souffleur de verre, disposant d'un four à la température T_f , dans lequel il introduit l'extrémité d'une perche en fonte, considérée pleine, de rayon $a = 1.0 \text{ cm}$ et de longueur $L = 2.0 \text{ m}$. Le reste de la perche baigne dans une atmosphère à la température T_a .

1. Établir l'équation différentielle qui modélise le transfert de chaleur dans la perche en régime stationnaire au contact de l'atmosphère.
2. Estimer à quelle distance on peut empoigner la perche sans risquer de se brûler. On considérera un four qui fonctionne à 1150°C en régime établi, une perche de conductivité thermique $\lambda_{\text{fonte}} = 55 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, et une atmosphère à 30°C qui présente au contact de la perche un coefficient de Newton $h = 10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Exercice 7 - Conductivité variable : Deux corps de capacité thermique infinie de températures T_1 et T_2 sont reliés par une barre de conductivité thermique dépendant de la température : $\lambda(T) = A/T$ avec A une constante.



Déterminer la température $T(x)$ dans la barre.