A 99 PHYS. I

ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES,
ÉCOLES NATIONALES SUPÉRIEURES DE L'AÉRONAUTIQUE ET DE L'ESPACE,
DE TECHNIQUES AVANCÉES, DES TÉLÉCOMMUNICATIONS,
DES MINES DE PARIS, DES MINES DE SAINT-ÉTIENNE, DES MINES DE NANCY,
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS DE BRETAGNE,
ÉCOLE POLYTECHNIQUE (FILIÈRE TSI)

CONCOURS D'ADMISSION 1999

PREMIÈRE ÉPREUVE DE PHYSIQUE

Filière PC

(Durée de l'épreuve : 3 heures)

Sujet mis à disposition du concours ENTPE

Les candidats sont priés de mentionner de façon apparente sur la première page de la copie :

PHYSIQUE I -PC

L'énoncé de cette épreuve, particulière aux candidats de la filière PC, comporte 5 pages et un transparent.

• Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

• Tout résultat fourni dans l'énoncé peut être utilisé pour les questions ultérieures, même s'il n'a pas été démontré.

• Il ne faudra pas hésiter à formuler les commentaires (incluant des considérations numériques) qui vous sembleront pertinents, même lorsque l'énoncé ne le demande pas explicitement. Le barème tiendra compte de ces initiatives ainsi que des qualités de rédaction de la copie.

Premier problème : les Moirés

1. Les franges de moirés

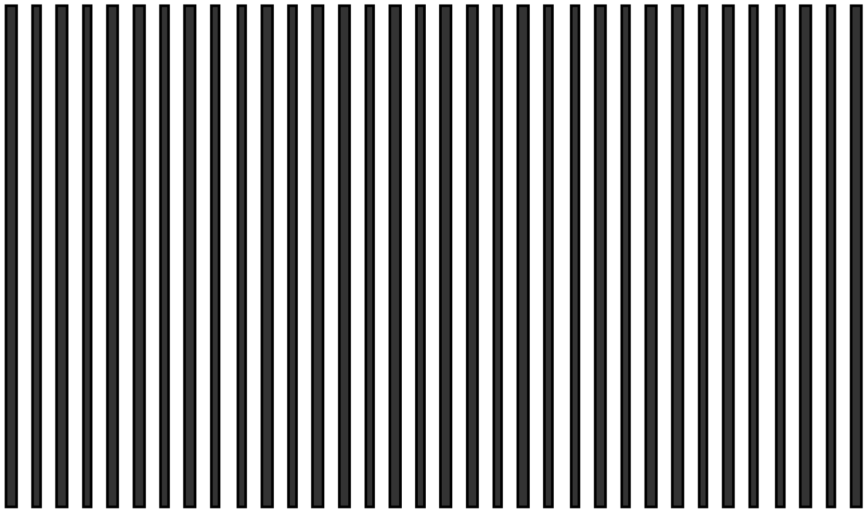
Observer la figure formée par la superposition des deux mires M_1 et M_2 de périodes spatiales p_1 et p_2 jointes en annexe. La mire M_1 figure en page 2 et la mire M_2 est dans le transparent joint. Placer les traits des deux mires bien parallèles. Constater l'apparition d'un nouveau phénomène périodique, de période p supérieure aux deux périodes p_1 et p_2 : c'est le phénomène des *franges de moirés*. Elles sont ici observées en réflexion.

Interprétation qualitative

En se déplaçant sur l'axe Ox orthogonal aux traits des mires, on rencontre périodiquement des zones où les traits noirs d'une mire coïncident avec les traits noirs de l'autre mire (zone de coïncidence) et des zones où les traits noirs de l'une sont décalés par rapport aux traits noirs de l'autre (zone d'anti-coïncidence).

❑ **1** – Les zones de coïncidence correspondent-elles à des maximums de lumière réfléchie (franges brillantes) ou à des minimums de lumière réfléchie (franges sombres).

❑ **2** –Avec l'origine O sur un trait noir commun aux deux mires, les traits noirs de chaque mire sont repérés par les abscisses $x_1 = k_1 p_1$ et $x_2 = k_2 p_2$ où k_1 et k_2 sont des entiers. Que peut-on dire de $k_1 - k_2$ sur une frange de moiré brillante ?



Mire M_1

❑ **3** – En déduire la période p des moirés.

Interprétation quantitative

Imaginons le phénomène observé en transmission. Les transparences T_1 et T_2 des deux mires sont des fonctions de type créneau dont le développement de Fourier est de la forme :

$$T_1 = T_{01} + \sum_m A_m \cos 2\pi m \frac{x}{p_1} \qquad T_2 = T_{02} + \sum_n A_n \cos 2\pi n \frac{x}{p_2}$$

où m et n sont des entiers. La transparence des deux mires superposées que l'œil détecte est $T = T_1 \times T_2$.

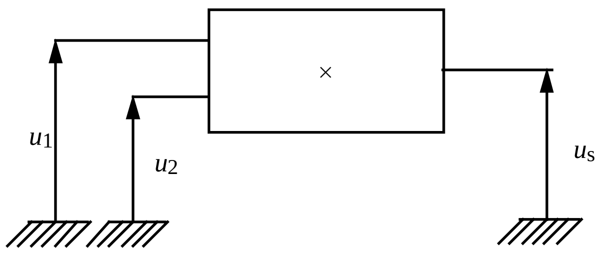
❑ **4** – Quel est dans le spectre de Fourier de T le terme dont la période correspond au phénomène de moiré ? L'œil agit comme un filtre passe-bas de période limite p_{lim}. Donner une condition mathématique faisant intervenir p_1 et p_2 pour que le phénomène de moiré soit effectivement observable.

À titre documentaire : la limite de résolution est fixée conventionnellement à 1' pour l'œil normal ; pratiquement elle varie beaucoup selon l'objet observé et les conditions d'observation.

❑ **5** – Faites glisser une mire sur l'autre en conservant le parallélisme des traits. La périodicité du moiré change-t-elle ? Comment expliquer les changements qui surviennent ?

2. Analogie électrique

L'expression de la tension de sortie u_s du multiplicateur représenté ci-dessous, alimenté par les signaux u_1 et u_2, est $u_s = k u_1 u_2$, où k est une constante. Les tensions d'entrée sont sinusoïdales de fréquences ν_1 et ν_2 : $u_1 = u_{01}\cos 2\pi\nu_1 t \qquad u_2 = u_{02}\cos 2\pi\nu_2 t$.

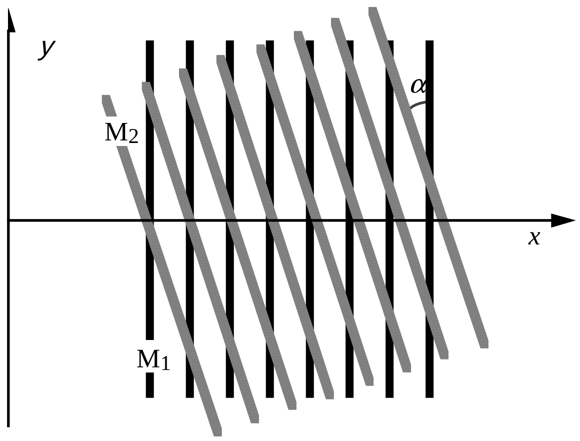


❑ **6** – On dispose d'une résistance R et d'un condensateur de capacité C. Comment doit-on les brancher à la sortie du multiplicateur pour obtenir uniquement le signal analogue au signal de moiré? On fera un schéma explicatif.

❑ **7** – Donner une valeur possible de la résistance si C = 1 µF, $\nu_1 = 1000\,\text{Hz}$ et $\nu_2 = 1200\,\text{Hz}$.

3. Étude générale

❑ **8** – On superpose désormais deux mires identiques de type M_1. Les traits des mires sont parallèles. Qu'observe-t-on ?



Suivant la figure ci-contre, les traits noirs de la première mire sont verticaux et leurs abscisses sont données par $x_1 = k_1 p_1$; les traits noirs de la deuxième font un angle α avec l'axe Oy.

❑ **9** – Montrer que les traits noirs de la deuxième mire ont pour équation $y_2 = -\dfrac{x_2}{\tan\alpha} + k_2\dfrac{p_1}{\sin\alpha}$

❑ **10** – Montrer que les franges de moiré brillantes sont des droites d'équation : $y = \left(\dfrac{1}{\sin\alpha} - \dfrac{1}{\tan\alpha}\right)x + n\dfrac{p_1}{\sin\alpha}$, où n est un entier.

❑ **11** – Déterminer l'angle φ que font les franges de moiré avec l'axe Oy.

❑ **12** – Déterminer l'interfrange i des moirés en fonction de p_1 et de α.

❑ **13** – Mesurer approximativement la période p_1 ainsi que l'interfrange i lorsque $\alpha = \dfrac{\pi}{4}$ et vérifier la concordance avec le calcul.

4. Une application des moirés

On dispose en travaux pratiques de réseaux de 140 traits par mm ou de 500 traits par mm. Ils jouent le même rôle que les mires M_1 et M_2 étudiées auparavant.

❑ **14** – L'éclairage se faisant en lumière blanche, que voit l'oeil à travers l'un de ces réseaux : une intensité nulle ? une intensité uniforme ? une intensité périodique ? Justifier.

❑ **15** – On dispose de deux réseaux R_1 (140 traits/mm) et d'un réseau R_2 (500 traits/mm) non repérés. Comment s'y prendre en faisant référence au problème en éclairage naturel pour identifier R_2 ?

❑ **16** – Comment vérifier le bon choix si on dispose un laser Hélium-Néon en utilisant le phénomène de diffraction ?

FIN DE CE PROBLÈME

Second problème : la mécanique de la marche

1. La marche

Par un beau matin d'été, un physicien délaisse son laboratoire pour une randonnée pédestre à travers la campagne. Après 10 km de marche sur un chemin horizontal, il s'assoit à l'ombre d'un arbre et soliloque : «*Je suis fatigué. Pourtant, je n'ai pas travaillé. Comment est-ce possible ? ».*

❑ **17** – Le physicien effectue une marche de L kilomètres à vitesse constante sur une route horizontale (g = 9,8 $\mathrm{m.s}^{-2}$). On suppose que le centre de masse du promeneur conserve une altitude constante pendant la marche et que le contact sol-promeneur se fait sans glissement. Quel est le travail mécanique effectué par l'homme au cours de la marche ?

Le corps humain n'est pas un corps solide. Au cours de la marche, le centre de marche effectue des oscillations. L'ordre de grandeur de l'amplitude de ces oscillations est a = 2 cm pour chaque pas effectué. Quand le centre de masse s'élève, l'énergie élastique musculaire est transformée en énergie potentielle. Quand le centre de masse s'abaisse, l'énergie potentielle est convertie en énergie thermique (« *chaleur* »). La machine humaine n'est pas réversible. Fixons les ordres de grandeur pour une marche de L = 10 km, une longueur de pas p = 0,75 m et un homme de masse M = 70 kg.

❑ **18** – Montrer que cette marche est équivalente pour le travail fourni à l'escalade d'une montagne d'une hauteur H que l'on calculera.

❑ **19** – Calculer l'énergie mécanique fournie et comparer cette énergie à l'énergie de la ration alimentaire quotidienne, de l'ordre de grandeur de 10^6 J, d'un homme sédentaire. Que peut-on en conclure ?

❑ **20** – Pour marcher l'homme prend appui sur une jambe et laisse "penduler" l'autre jambe autour de l'articulation fémorale. On modélise la jambe par une barre homogène, de masse m, de longueur l = 1 m, de moment d'inertie autour de l'articulation $J = \frac{1}{3} m l^2$. Quelle est la période des petites oscillations ? En déduire la vitesse moyenne du marcheur en km/h. Quelle conséquence peut-on en tirer ?

❑ **21** – Sachant que g_{Lune} = 1,6 $\mathrm{m.s}^{-2}$, quelle serait la vitesse moyenne du même marcheur sur la Lune ?

2. Le repos !

❑ **22** – L'être humain est modélisé par un parallélépipède rectangle de dimensions

$h \times l \times e$ (hauteur × largeur × épaisseur) ; ses vêtements sont assimilés à une couche d'air isolante et immobile d'épaisseur δ et de conductivité thermique K_{air}. La personne, dont la température corporelle est T_c, est immobile dans un local dont la température est T_L. Calculer la dépense d'énergie correspondant à une durée D, pour les valeurs numériques suivantes :

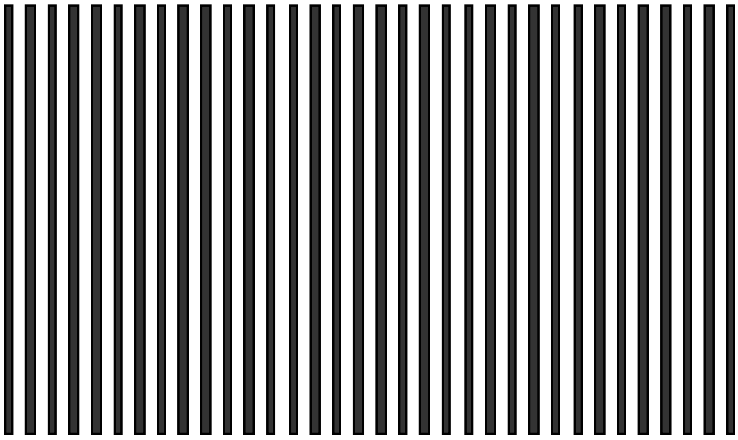
$h = 1{,}70\ \mathrm{m}$ $\quad l = 0{,}35\ \mathrm{m}$ $\quad e = 0{,}25\ \mathrm{m}$, $\quad \delta = 1\ \mathrm{cm}$ $\quad T_L = 20°\ \mathrm{C}$ $\quad T_c = 37°\ \mathrm{C}$

$D = 24\ \mathrm{h}$ $\quad K_{air} = 0{,}023\ \mathrm{J.m^{-1}.s^{-1}.K^{-1}}$

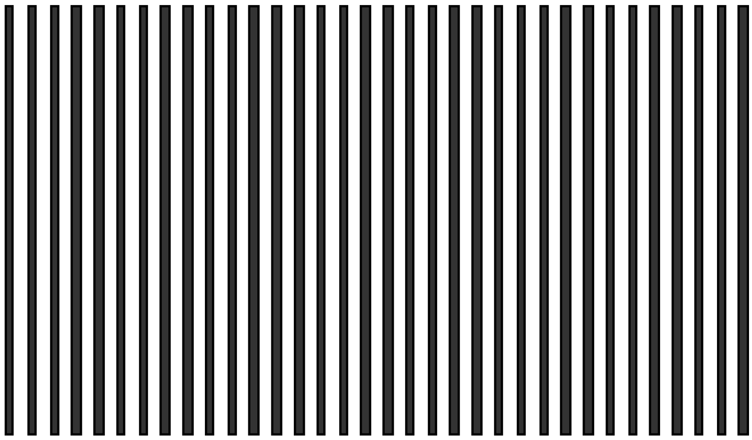
❑ **23** – Calculer la durée nécessaire pour que la même personne, plongée dans l'eau à 20° C $\left(K_{eau} = 0{,}6\ \mathrm{J.m^{-1}.s^{-1}.K^{-1}}\right)$ perde la même quantité d'énergie que dans la question précédente. Quelle explication microscopique peut-on donner à la différence de valeur de conductivité thermique pour un gaz et pour un liquide ?

FIN DE CE PROBLÈME

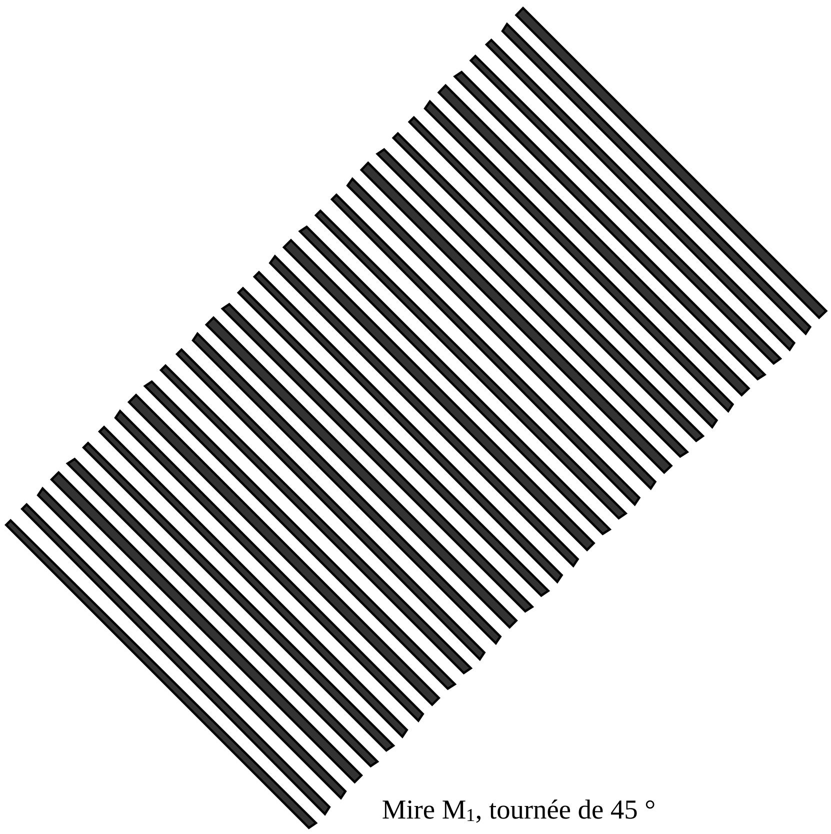
FIN DE L'ÉPREUVE



Mire M_1



Mire M_2



Mire M_1, tournée de 45 °