EXERCICE I - DU « BANG » D'UN AVION AU CLAQUEMENT D'UN COUP DE FOUET
Bac S 2012 Métropole (6,5 points)

Lorsqu'un avion vole en vitesse subsonique (vitesse inférieure à la célérité du son dans l'air), il crée des ondes dites de pression qui se propagent à la célérité du son (**figure 1**). Lorsqu'il accroît sa vitesse et qu'il atteint la célérité du son, les ondes de pression s'accumulent devant le nez de l'avion (**figure 2**). Lorsqu'il dépasse la célérité du son (on dit qu'il passe le mur du son), il se produit alors des ondes de compression et de dilatation qui provoquent ce fameux « bang » perceptible à plusieurs dizaines de kilomètres à la ronde. Pour une vitesse supérieure à la célérité du son, les ondes se propagent derrière l'avion dans un cône appelé cône de Mach (**figure 3**).

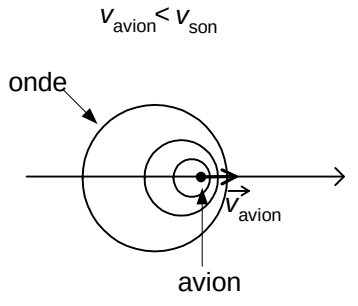


Figure 1

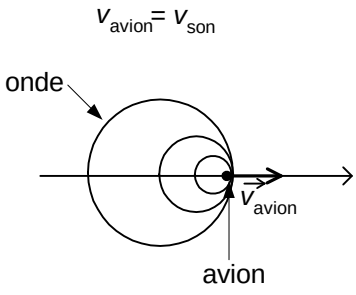


Figure 2

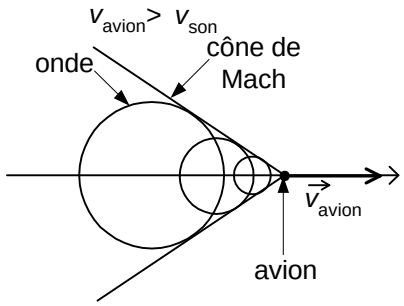


Figure 3

Aussi incroyable que cela puisse paraître, c'est le même phénomène de passage du mur du son qui explique le claquement produit par un coup de fouet.

Les deux premières parties de cet exercice traitent des ondes mécaniques, la troisième partie se rapporte à la chimie et est indépendante.

1. Étude des ondes sonores

Dans cette partie, les ondes sonores se propagent dans l'air.

1.1. Quelques caractéristiques des ondes sonores

1.1.1. Pourquoi peut-on dire qu'il s'agit d'ondes mécaniques ?

1.1.2. Choisir la (ou les) bonne(s) caractéristique(s) qui qualifie(nt) une onde sonore, en expliquant la signification des caractéristiques choisies :

a) progressive b) tridimensionnelle c) transversale d) longitudinale

1.1.3. Choisir dans la liste le (ou les) «milieu(x)» dans lequel le son ne se propage pas :

a) acier b) béton c) vide d) eau

1.2. Ondes sonores produites par un avion

Un avion vole à la vitesse v_{avion} = 800 km.h^{-1} à une altitude d'environ 10 km. On veut savoir s'il se déplace à une vitesse supérieure à la célérité du son sachant que cette dernière dépend de la température.

1.2.1. La célérité du son peut se calculer en première approximation par la relation

$$v_{son}(\theta) = v_{son}(0°C) \times \sqrt{1 + \frac{\theta}{273}}$$

avec θ la température en degré Celsius et v_{son} (0°C) = 3,3×10^2 m.s^{-1}.

Calculer la célérité des ondes sonores à l'altitude de 10 km en considérant que la température θ de l'air vaut - 50°C.

1.2.2. Comparer cette valeur avec la vitesse de l'avion. Celui-ci a-t-il passé le mur du son ?

2. Le claquement d'un coup de fouet

Un artiste de cirque veut faire claquer son fouet ; pour ce faire, il génère, d'un mouvement de poignet, un ébranlement qui se déplace à la célérité v le long de la lanière en cuir du fouet.

2.1. Cette célérité v dépend de la tension F de la lanière et de sa masse linéique μ (masse par unité de longueur) suivant la relation $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$.

Montrer, par une analyse dimensionnelle, l'homogénéité de cette relation.

2.2. On simule à l'aide d'un logiciel la propagation de la perturbation le long de la lanière et on obtient la position de l'ébranlement à différentes dates séparées d'un intervalle de temps $\Delta t = 3{,}5\times10^{-2}$ s (voir **figure 4**).

La lanière du fouet a une longueur $L = 3{,}0$ m.

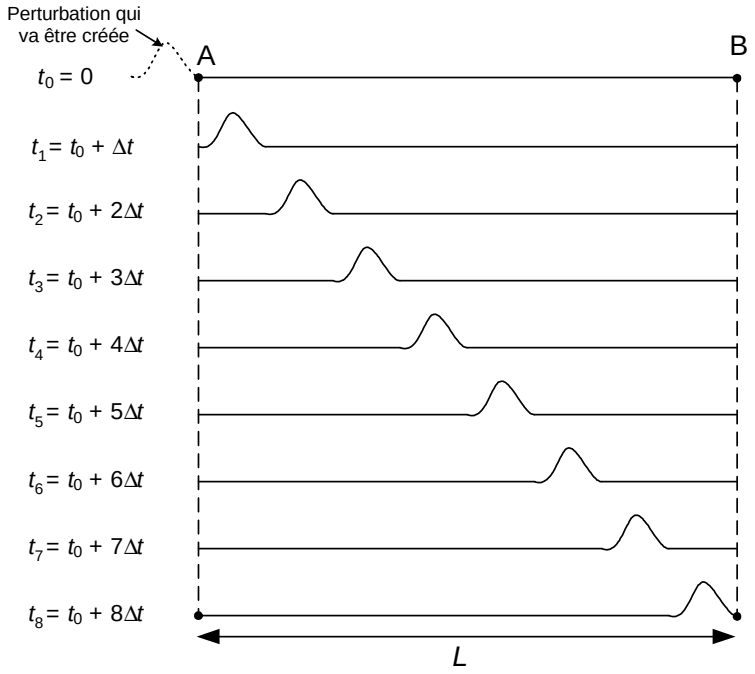


Figure 4. Propagation de la perturbation le long de la lanière

2.2.1. Calculer la durée τ mise par l'onde pour parcourir toute la lanière.

2.2.2. En déduire la valeur de la célérité v de l'onde.

2.2.3. En réalité, la section de la lanière du fouet diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la poignée ; la masse linéique μ diminue donc. Si on suppose que la tension F est constante, comment évolue la célérité de l'onde le long de la lanière, de la poignée à son extrémité ?

2.3. On s'intéresse maintenant à la vitesse de déplacement transversal de la mèche qui correspond à l'extrémité du fouet.

On enregistre son mouvement avec une caméra ultra-rapide. La fréquence de prise de vue est de 4000 images par seconde. Entre deux images successives, la mèche, du fait de la propagation de la vibration, se déplace d'une distance $d = 11$ cm (voir **figure 5**).

En déduire la vitesse v' de déplacement de la mèche. Dans ces conditions, le mur du son a-t-il été passé par la mèche ?

Donnée : célérité du son dans l'air à 20°C : $v_{son} = 340$ m.s^{-1}

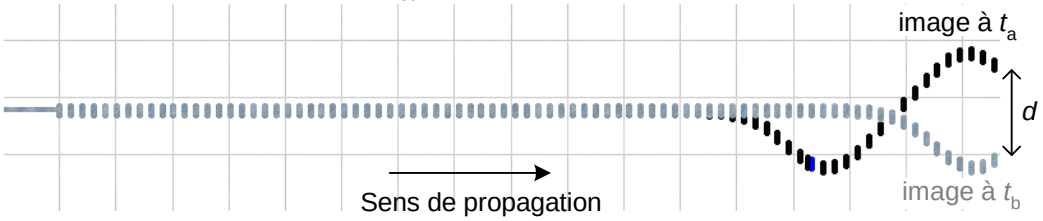


Figure 5. Positions de la mèche du fouet à deux instants t_a et t_b

3. Entretien du fouet

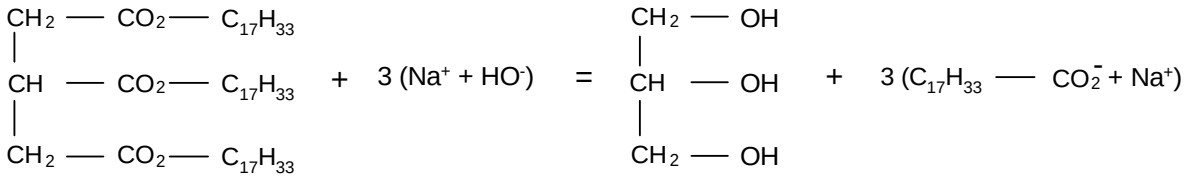
Qu'il soit synthétique ou naturel, le matériau de la lanière doit être entretenu. On utilise souvent un mélange de savon et de corps gras.

3.1. On peut fabriquer le savon à partir d'huile d'olive et d'une solution commerciale de Destop® que l'on assimile à une solution d'hydroxyde de sodium ($Na^+(aq) + HO^-(aq)$) dont la concentration vaut $c = 6{,}15\ mol.L^{-1}$.
À l'aide du montage représenté à la **FIGURE A1 DE L'ANNEXE PAGE 10 à rendre avec la copie**, le mélange réactionnel en milieu alcoolique est porté à ébullition pendant environ une heure.

3.1.1. Légender la **FIGURE A1 DE L'ANNEXE PAGE 10** en indiquant les noms demandés des éléments constitutifs du montage.

3.1.2. Quel est le nom de ce type de montage ?
Quel est le rôle de la partie désignée par la flèche 1 sur la **FIGURE A1 DE L'ANNEXE PAGE 10** ?

3.1.3. La réaction se produisant entre l'huile d'olive et l'hydroxyde de sodium s'écrit :



a. Donner le nom de ce type de réaction.
b. Donner des caractéristiques de cette réaction.

3.2. On veut préparer une masse de savon $m_s = 100$ g.

Données :
- masse molaire du savon : $M_S = 304{,}0\ g.mol^{-1}$;
- masse molaire de l'huile d'olive : $M_h = 884{,}0\ g.mol^{-1}$.

3.2.1. Calculer la quantité de matière n_s de savon correspondante.

3.2.2. Calculer la quantité de matière minimale n_h d'huile d'olive nécessaire.

3.2.3. En déduire la masse m_h d'huile d'olive correspondante.

3.2.4. On souhaite que le Destop® soit mis en excès dans le milieu réactionnel. Quel volume minimal de Destop® V_D faut-il utiliser ?

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

ANNEXE DE L'EXERCICE I

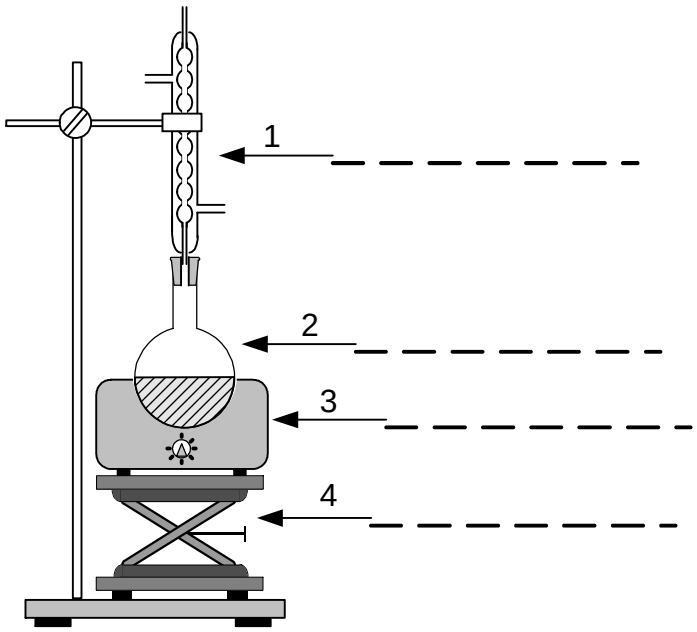


Figure A1. Schéma du montage utilisé pour la synthèse du savon de la partie 3