

*Bruit d'hélicoptère*

Un hélicoptère fait du sur-place à quelques dizaines de mètres au-dessus d'un lac gelé sur lequel un promeneur se déplace. Le promeneur entend un son assez grave et dont l'intensité est maximale lorsque l'hélicoptère se trouve dans une direction faisant un angle  $\alpha$  proche de  $45^\circ$  avec l'horizontale.

1. Rappeler l'équation d'onde vérifiée par les ondes sonores dans l'air assimilé à un fluide parfait. Rappeler la gamme de fréquences correspondant au domaine audible, ainsi que les longueurs d'onde associées dans l'air.
2. Proposer une forme plausible pour l'onde de surpression émise par l'hélicoptère. Que peut-on dire du champ de vitesse associé au niveau du promeneur ?
3. Justifier que l'observation du promeneur ne peut pas s'interpréter si ce dernier ne perçoit que l'onde lui arrivant directement de l'hélicoptère. Quel(s) phénomène(s) faut-il faire intervenir ?
4. Dans la glace, la propagation des ondes acoustiques est également régie par une équation d'onde de d'Alembert. On admet que la célérité  $c'$  de ces ondes ne dépend que de la masse volumique de la glace et de son module d'Young, dont les valeurs sont les suivantes
  - masse volumique :  $\mu_{\text{gl}} = 917 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  ;
  - module d'Young :  $E = 9,33 \text{ GPa}$ .
  - a. Par analyse dimensionnelle, donner l'expression de  $c'$  en fonction de  $\mu_{\text{gl}}$  et de  $E$ .
  - b. En considérant que les propriétés structurales des ondes acoustiques sont analogues dans l'air et dans la glace, expliquer pourquoi on peut considérer que la réflexion d'une onde sonore à l'interface air-glace est quasiment totale. (On privilégiera un raisonnement physique plutôt qu'un calcul de coefficient de réflexion.)
5. Déterminer un ordre de grandeur de la fréquence du son émis par l'hélicoptère.