Spécialité : Le chant des dunes

Bac S 2014 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

Q Questions préalables. Comment vérifier dans le désert que le son d'une dune « chantante » est dû à une avalanche de sable et non au vent ? Par analogie avec un haut-parleur, expliquer comment l'écoulement des grains peut générer un son.

Avalanche ou vent. Il faut séparer les deux causes possibles :

- un jour sans vent, on provoque une avalanche en poussant du sable depuis la crête : si la dune chante, le vent n'est pas nécessaire ;
- un jour de vent, sans avalanche, on écoute la dune : si elle reste silencieuse, le vent ne suffit pas.

Analogie avec le haut-parleur. La membrane d'un haut-parleur effectue un va-et-vient qui met en vibration l'air à son contact : cette vibration se propage, c'est le son (document 2).

Lors d'une avalanche, la couche supérieure de grains glisse sur la couche inférieure : chaque grain doit monter sur le grain du dessous, puis redescend dans le creux suivant (document 1, figure 2). La surface de la dune se soulève et retombe donc périodiquement.

> La surface de la dune joue le rôle de la membrane : son mouvement périodique de montée et de descente fait vibrer l'air et produit un son de même fréquence.

PIÈGE
Répondre seulement « la dune vibre ». L'analogie attendue relie deux éléments précis, membrane et surface du sable, et un même mouvement : un va-et-vient périodique au contact de l'air.

MÉTHODE
Pour identifier la cause d'un phénomène, on ne fait varier qu'un facteur à la fois : une expérience avec avalanche et sans vent, une autre avec vent et sans avalanche.

P Problème. En estimant la distance parcourue par un grain passant d'un creux à un autre (schéma attendu), montrer que $f = 0{,}4\sqrt{\dfrac{g}{d}}$. Cette relation est-elle compatible avec les mesures effectuées sur site ? Argumenter et exercer un regard critique.

Données utiles $v = 0{,}4\sqrt{g\,d}$ (document 1) ; $g = 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; fréquences mesurées (document 3) ; tailles d des grains et leurs incertitudes (document 4)

1. Distance parcourue. Les grains sont des sphères identiques, empilées de façon compacte : deux creux voisins de la couche inférieure sont séparés par un grain, donc distants d'un diamètre. Un grain qui passe d'un creux au suivant parcourt la distance d (schéma).

2. Expression de la fréquence. Pendant ce trajet, la surface monte puis redescend une fois : sa durée est la période T du son. La vitesse étant constante :

$$v = \frac{d}{T} \quad \text{donc} \quad f = \frac{1}{T} = \frac{v}{d} = \frac{0{,}4\sqrt{g\,d}}{d}$$

Comme $d = \sqrt{d}\times\sqrt{d}$, on obtient bien $f = 0{,}4\sqrt{\dfrac{g}{d}}$.

3. Confrontation aux mesures. On calcule la fréquence prévue pour la taille d annoncée et pour les deux bornes de son intervalle, avec d en mètres. Exemple pour Oméga 1 ($d = 160\ \mu\text{m}$) :

$$f = 0{,}4\sqrt{\frac{10}{160\times10^{-6}}} = 1{,}0\times10^{2}\ \text{Hz}$$

La fréquence diminue quand d augmente : la plus grande taille donne la plus petite fréquence.

PIÈGE
Laisser d en micromètres dans le calcul : $160\ \mu\text{m} = 160\times10^{-6}$ m. Autre erreur : associer d maximal à la fréquence maximale, alors que f décroît quand d augmente.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs suffisent pour les fréquences prévues : d n'est connue qu'à 7 à 35 % près. Comparer une mesure à un modèle, c'est vérifier un recouvrement d'intervalles, pas une égalité de deux nombres.

MÉTHODE
Valider un modèle : calculer la grandeur prévue aux deux bornes de l'intervalle d'incertitude, regarder si la mesure y tombe, puis discuter les écarts (incertitudes non fournies, hypothèses simplificatrices, nombre de mesures).

Dune	d (µm)	$f(d)$	intervalle	f_{mes}
Oméga 1	160 ± 30	100	92 à 111	100
Al-Wagan	200 ± 70	89	77 à 111	80
C. Bramador	300 ± 20	73	71 à 76	70
Sand Mountain	243 ± 40	81	75 à 89	85
Eurêka	165 ± 50	98	86 à 118	90

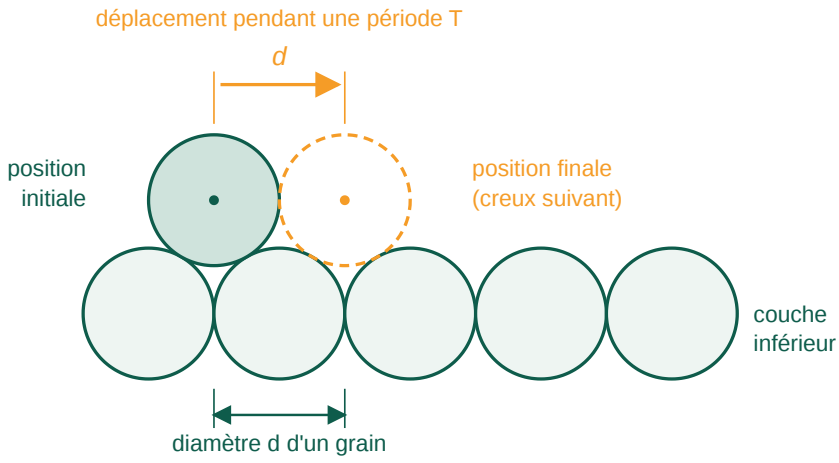
Fréquences en hertz : $f(d)$ prévue pour la taille annoncée, intervalle prévu compte tenu de l'incertitude sur d, f_{mes} mesurée (document 3).

Pour quatre dunes, la fréquence mesurée appartient à l'intervalle prévu. Pour le Cerro Bramador, elle en sort de 1 Hz seulement (70 Hz pour une borne à 71 Hz).

4. Regard critique.

- Le modèle donne le bon ordre de grandeur (autour de 100 Hz) et le bon sens de variation : les plus gros grains (Cerro Bramador) donnent le son le plus grave.
- Aucune incertitude n'accompagne les fréquences mesurées. Or les spectres du document 4 montrent des pics larges de plusieurs hertz : un écart de 1 Hz n'est pas significatif.
- Le coefficient 0,4 et $g = 10\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ n'ont qu'un chiffre significatif, et les grains réels ne sont ni sphériques ni identiques.
- Cinq dunes seulement, de tailles de grains voisines : il faudrait d'autres sables pour tester le modèle plus sévèrement.

$f = \dfrac{v}{d} = 0{,}4\sqrt{\dfrac{g}{d}}$; le modèle est compatible avec les mesures : accord pour quatre dunes sur cinq, écart de 1 Hz non significatif pour la cinquième.



P · Passage d'un grain de la couche supérieure d'un creux au creux suivant : il avance d'un diamètre d

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$0.4 \times \sqrt{\frac{10}{160 \times 10^{-6}}} \approx 100$$

$$0.4 \times \sqrt{\frac{10}{190 \times 10^{-6}}} \approx 91.76629$$

$$0.4 \times \sqrt{\frac{10}{130 \times 10^{-6}}} \approx 110.94$$

$$0.4 \times \sqrt{\frac{10}{320 \times 10^{-6}}} \approx 70.71068$$

$$0.4 \times \sqrt{\frac{10}{280 \times 10^{-6}}} \approx 75.59289$$