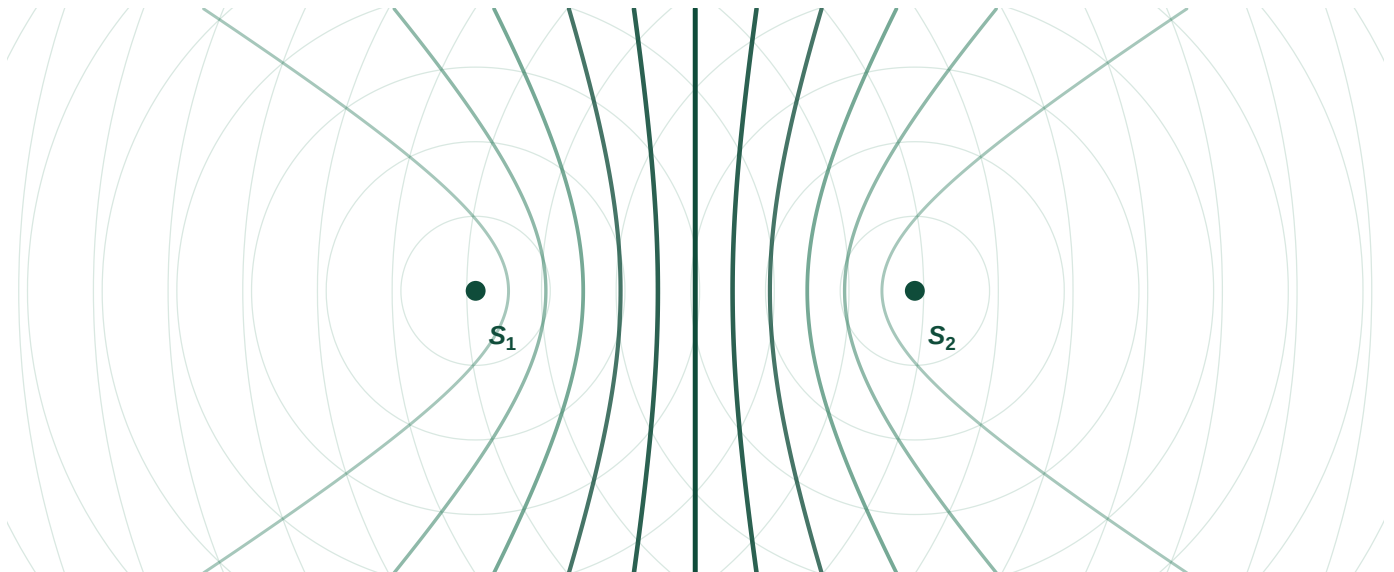




Ondes et phénomènes ondulatoires

son, diffraction, interférences & effet Doppler

Douze exercices progressifs, entièrement corrigés, pour maîtriser les quatre phénomènes du chapitre : niveau d'intensité sonore et atténuation, diffraction, interférences et trous d'Young, effet Doppler. Exactement le niveau attendu le jour du baccalauréat.



12

EXERCICES
CORRIGÉS

18

CARTES
FORMULES

3

NIVEAUX
PROGRESSIFS

100 %

DU PROGRAMME
OFFICIEL

Programme d'enseignement de spécialité physique-chimie, classe terminale de la voie générale · Partie « Caractériser les phénomènes ondulatoires » · Toutes les capacités exigibles sont couvertes, y compris la capacité mathématique (logarithme décimal) et la capacité numérique (superposition de deux signaux).

POUR COMMENCER

Comment travailler ce cahier	3
Le programme, capacité par capacité	3
Mémo de cours · 18 cartes formules	6
Quiz de positionnement · 16 questions	18
Corrigé du quiz & par où commencer	19

NIVEAU ★ · DÉCOUVERTE

01 Décibels et logarithmes	VRAI/FAUX · QCM	20
02 Quand l'onde contourne l'obstacle	DIFFRACTION	21
03 Constructif ou destructif ?	À TROUS	22
04 La sirène qui passe	GUIDÉ	24

NIVEAU ★★ · MAÎTRISE

05 Le mur antibruit	ATTÉNUATION	26
06 Mesurer un cheveu au laser	EXPÉRIMENTAL	27
07 Fentes d'Young & Python	NUMÉRIQUE	28
08 Le train qui passe	DOPPLER	30

NIVEAU ★★★ · TYPE BAC

09 Le concert et la réglementation	ANALYSE CRITIQUE	31
10 Deux mesures d'une même λ	CONFRONTATION	32
11 Le radar de la gendarmerie	ONDES EM	33
12 Une nuit à l'observatoire	LE DÉFI	34

CORRIGÉS DÉTAILLÉS

Exercices 01 à 04	37
Exercices 05 à 08	43
Exercices 09 à 12	48

POUR FINIR

Fiche synthèse — tout le chapitre en 1 page	54
---	----

TROIS NIVEAUX, UNE PROGRESSION

★ **DÉCOUVERTE** Un phénomène à la fois, énoncés guidés, formats variés (vrai/faux, QCM, texte à trous).
Objectif : installer les automatismes.

★★ **MAÎTRISE** Plusieurs étapes enchaînées, lecture de graphiques, données expérimentales, script Python.

★★★ **TYPE BAC** Format et exigences de l'épreuve : analyse, calcul, esprit critique sur le modèle. Le n° 12 croise les quatre phénomènes et est volontairement plus dur que tout le reste.

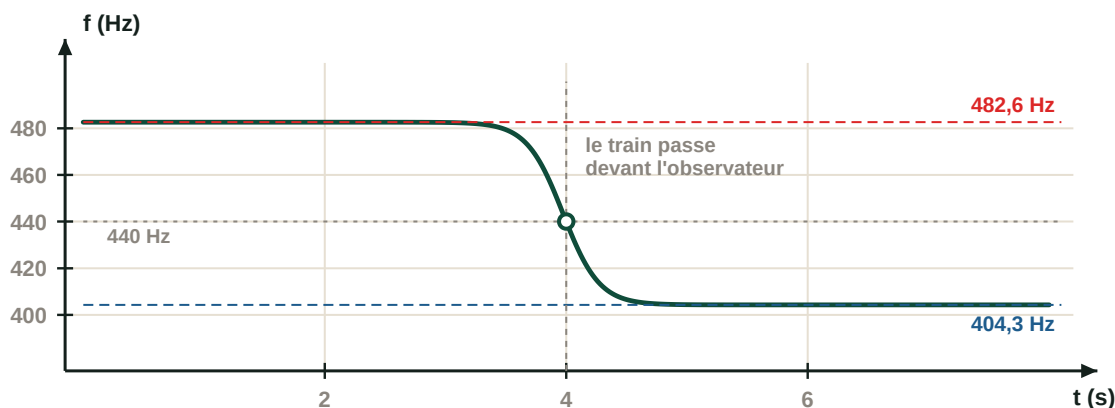


Une mesure de vitesse réalisable avec un simple smartphone. L'astuce de l'exercice tient en une ligne : **former le rapport des deux fréquences** fait disparaître la fréquence émise, qui est justement inconnue.

DONNÉES

Un élève, immobile près d'une voie ferrée rectiligne, enregistre le klaxon d'un train qui passe. Un logiciel d'analyse spectrale fournit la fréquence perçue au cours du temps.

Paliers relevés : $f_a = 482,6$ Hz avant le passage, $f_r = 404,3$ Hz après. Célérité du son : $v = 340$ m · s⁻¹ · la note la_3 du diapason a pour fréquence 440 Hz.



1. Décrire l'allure de l'enregistrement et expliquer qualitativement pourquoi la fréquence perçue passe d'un palier haut à un palier bas.
2. Écrire les deux relations donnant f_a et f_r en fonction de f_E , v et de la vitesse v_T du train.
3. Former le rapport $\frac{f_a}{f_r}$ et montrer qu'il ne dépend que de v et v_T .
4. En déduire l'expression de v_T en fonction de v , f_a et f_r , puis calculer v_T en m · s⁻¹ et en km · h⁻¹.
5. Calculer la fréquence f_E réellement émise par le klaxon.
6. Montrer que f_E est la **moyenne harmonique** de f_a et f_r , c'est-à-dire $f_E = \frac{2 f_a f_r}{f_a + f_r}$, et vérifier numériquement.
7. Un élève propose de prendre la moyenne **arithmétique** des deux paliers. Calculer cette valeur et l'écart avec la valeur exacte. L'erreur serait-elle détectable ?
8. Le klaxon émet-il la note la_3 ? Justifier.
9. Calculer le décalage Doppler Δf en rapprochement, puis la valeur qu'aurait donnée l'approximation $\Delta f \approx f_E \frac{v_T}{v}$. Chiffrer l'écart relatif et conclure sur la légitimité de cette approximation en acoustique.
10. En réalité, l'élève se tenait à quelques mètres de la voie et non exactement dessus. Expliquer l'effet de cet écart sur la mesure et dire si la vitesse trouvée est **surestimée** ou **sous-estimée**.
11. Citer **deux** précautions expérimentales permettant d'améliorer la fiabilité de la mesure.



$$\frac{f_a}{f_r} = \frac{v + v_T}{v - v_T}$$

Le rapport ne dépend donc plus que de v et v_T : **la fréquence émise a disparu**. C'est toute l'astuce de l'exercice, puisque f_E est justement inconnue.

- 4 De l'égalité $f_a(v - v_T) = f_r(v + v_T)$ on tire $v(f_a - f_r) = v_T(f_a + f_r)$, d'où

$$v_T = v \frac{f_a - f_r}{f_a + f_r} = 340 \times \frac{482,6 - 404,3}{482,6 + 404,3}$$

soit $v_T = 30,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, c'est-à-dire $v_T = 108 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

L'ordre de grandeur est parfaitement plausible pour un train régional.

- 5 En reportant dans la première relation : $f_E = f_a \frac{v - v_T}{v} = 482,6 \times \frac{340 - 30,02}{340}$, soit $f_E = 440 \text{ Hz}$.

- 6 En remplaçant v_T par son expression dans $f_E = f_a \frac{v - v_T}{v}$:

$$\frac{v - v_T}{v} = 1 - \frac{f_a - f_r}{f_a + f_r} = \frac{2f_r}{f_a + f_r} \implies f_E = \frac{2f_a f_r}{f_a + f_r}$$

Vérification : $\frac{2 \times 482,6 \times 404,3}{482,6 + 404,3}$, soit $f_E = 440 \text{ Hz}$ — identique à la question 5.

- 7 Moyenne arithmétique : $\frac{482,6 + 404,3}{2} = \frac{886,9}{2}$, soit $443,5 \text{ Hz}$.

L'écart avec la valeur exacte vaut $3,5 \text{ Hz}$, soit environ 0,8 %. C'est faible, mais **parfaitement détectable** : un accordeur électronique le verrait immédiatement, et deux sources distantes de 3,5 Hz produiraient des battements audibles. La moyenne arithmétique est donc une approximation commode mais fautive : la moyenne **harmonique** est la seule exacte.

- 8 Oui. La valeur trouvée, 440 Hz, coïncide avec le la_3 du diapason à mieux que 0,1 Hz près : **le klaxon est accordé sur le la du diapason**. Cette coïncidence est un excellent argument de validation du protocole.

- 9 Décalage exact en rapprochement : $\Delta f = 482,6 - 440,0$, soit $\Delta f = 42,6 \text{ Hz}$.

Valeur approchée (F16) : $f_E \frac{v_T}{v} = 440 \times \frac{30,02}{340}$, soit $38,8 \text{ Hz}$.

L'écart relatif vaut $\frac{42,6 - 38,8}{42,6}$, soit $8,8 \%$. **L'approximation n'est pas acceptable ici** : v_T/v n'est pas négligeable devant 1. En acoustique, utilise l'expression exacte (F15) ; l'approximation est réservée aux ondes électromagnétiques.

- 10 Si l'observateur est à une distance y de la voie, la vitesse **radiale** — seule responsable de l'effet — vaut $v_T \cos \theta$, où θ est l'angle entre la voie et la ligne de visée. Comme $\cos \theta \leq 1$, on a toujours $v_{\text{radiale}} \leq v_T$.

Les paliers sont donc **moins écartés** qu'ils ne le seraient sur la voie, et la vitesse déduite est **sous-estimée** : à 30° , on ne mesurerait plus que $26,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ au lieu de $30,0$.

- 11 Deux précautions parmi d'autres :

- Se placer au plus près de la voie (en sécurité), et relever les paliers **loin** du passage, là où la vitesse est quasi entièrement radiale : c'est ce qui légitime la configuration à une dimension.
- Choisir une **fenêtre d'analyse spectrale assez longue** pour bien résoudre la fréquence, tout en restant dans le palier — et mesurer par temps calme, le vent modifiant la célérité effective du son.

LE RÉFLEXE DU JOUR J

Dès qu'un exercice Doppler donne **deux** fréquences perçues et demande une vitesse, forme leur **rapport** : la fréquence émise disparaît et il ne reste qu'une équation à une inconnue.