

TERMINALE SPÉCIALITÉ · PHYSIQUE-CHIMIE · ONDES ET SIGNAUX · CHAPITRE 19



R. RINGUET · 2026 – 2027

Sujet type bac Sons et effet Doppler

Deux exercices indépendants : le bruit d'une ligne de tramway, la rotation de la galaxie d'Andromède

Durée : 1 h 30 · calculatrice autorisée · 2 exercices indépendants · barème sur 20

Nom : Prénom : Classe : Note : / 20

★ CONSIGNES

Les deux exercices sont indépendants et peuvent être traités dans l'ordre choisi par le candidat. La qualité de la rédaction, la rigueur scientifique et le respect des unités et des chiffres significatifs entrent pour une part importante dans l'appréciation des copies. Toute expression littérale est établie avant l'application numérique ; toute démarche, même partielle, est valorisée. Formulaire : $L = 10 \log(I/I_0)$, $I = I_0 \times 10^{L/10}$

- émetteur mobile, récepteur fixe : $f_R = f_E \frac{c}{c \mp v}$ • onde lumineuse, $v \ll c$: $\frac{|\Delta\lambda|}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$.

Exercice 1 Le bruit d'une nouvelle ligne de tramway

12 pts ●●●

Une agglomération met en service une ligne de tramway, en remplacement d'une ligne de bus, dans une rue bordée d'immeubles d'habitation. Un bureau d'études acoustique est chargé de vérifier que la gêne subie par les riverains reste conforme à la réglementation, et de dimensionner les protections éventuelles.

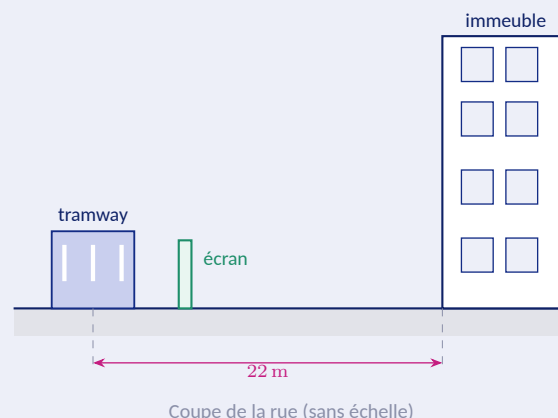
■ DONNÉES $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ • célérité du son dans l'air $c = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

■ DOCUMENT 1 — Les mesures au passage du tramway

Un sonomètre relève le niveau sonore *maximal* atteint au passage d'une rame, à différentes distances d de l'axe de la voie.

d (m)	7,5	15	30	60
L (dB)	76,0	73,0	70,0	67,0

La façade de l'immeuble le plus exposé se trouve à 22 m de l'axe de la voie. Chaque passage de rame dure 6,0 s et la ligne écoule 12 passages par heure en journée.



■ DOCUMENT 2 — Réglementation et niveau équivalent

La gêne due à un bruit intermittent n'est pas caractérisée par son niveau maximal mais par son *niveau équivalent* sur une heure : c'est le niveau du bruit continu qui apporterait à l'oreille la même énergie sur cette durée. Si une source de niveau $L_{\max}$ est active pendant une durée totale t au cours d'une période T :

$$L_{\text{éq}} = L_{\max} + 10 \log\left(\frac{t}{T}\right).$$

En façade d'un logement, le niveau équivalent diurne dû à une infrastructure de transport ne doit pas dépasser 60 dB.

Partie A — Caractériser la source de bruit

- 1.1 Montrer que le relevé du document 1 n'est pas compatible avec le modèle d'une source ponctuelle. Calculer les niveaux que ce modèle aurait prévus à 15 m et à 60 m.
- 1.2 Le tramway est en réalité modélisé par une source *linéique* : le niveau perd alors 3,0 dB chaque fois que la distance est doublée. Vérifier que le relevé est compatible avec ce modèle, puis établir que $L(d) = 76,0 \text{ dB} - 10 \log\left(\frac{d}{7,5}\right)$, avec d en mètres.
- 1.3 Calculer l'intensité sonore à 7,5 m de l'axe de la voie, puis le niveau sonore maximal en façade de l'immeuble le plus exposé.
- 1.4 À une station, deux rames se croisent et passent simultanément devant la façade. Calculer le niveau sonore maximal atteint dans ce cas. Commenter l'augmentation obtenue.

Partie B — La vitesse du tramway par effet Doppler

En s'approchant de la station, la rame actionne un signal sonore d'avertissement de fréquence f_E constante, qu'elle maintient après être passée devant l'immeuble. Un riverain enregistre ce signal depuis sa fenêtre : le logiciel d'analyse indique une fréquence $f_a = 688 \text{ Hz}$ longtemps avant le passage de la rame, et $f_r = 634 \text{ Hz}$ longtemps après. Loin de la fenêtre, la rame se déplace pratiquement sur la droite qui la joint au riverain.

- 1.5 Expliquer, en s'appuyant sur les fronts d'onde émis par la rame, pourquoi la fréquence perçue est plus élevée à l'approche qu'à l'éloignement.
- 1.6 Établir l'expression de la vitesse v de la rame en fonction de c , f_a et f_r , puis la calculer en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$.
- 1.7 Établir de même l'expression de f_E et la calculer.
- 1.8 L'incertitude-type sur la différence $f_a - f_r$ vaut 1,4 Hz; celle sur la somme $f_a + f_r$ est négligeable devant elle. On admet alors que $\frac{u(v)}{v} = \frac{u(f_a - f_r)}{f_a - f_r}$. Calculer $u(v)$ en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ et écrire le résultat de la mesure. La vitesse en centre-ville étant limitée à $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, peut-on affirmer que la rame est en infraction ?

Partie C — Protéger les riverains

- 1.9 Un écran acoustique de 3 m de haut, installé le long de la voie, apporte 9,0 dB d'atténuation en façade. Calculer le niveau sonore maximal en façade après sa pose.
- 1.10 À l'aide du document 2, calculer le niveau équivalent sur une heure dû au tramway en façade, après pose de l'écran. La réglementation est-elle respectée ? Expliquer pourquoi le niveau *maximal* et le niveau *équivalent* conduisent ici à des conclusions différentes.
- 1.11 La circulation automobile de la rue produit à elle seule, en façade, un niveau équivalent de 58,0 dB. Calculer le niveau équivalent total. La mise en service du tramway est-elle responsable de la gêne subie par les riverains ?
- 1.12 Recopier et compléter la ligne 5 du programme ci-dessous, qui calcule le niveau équivalent résultant de plusieurs sources indépendantes. Indiquer la valeur affichée.

```

1 from math import log10
2 niveaux = [58.0, 45.3, 51.0]    # niveaux equivalents de trois sources, en dB
3 somme = 0.0
4 for L in niveaux:
5     somme = somme + ...          # ligne a completer
6 print(round(10 * log10(somme), 1), "dB")

```

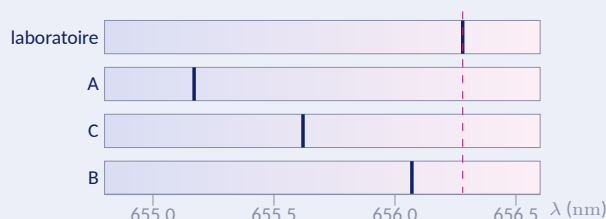
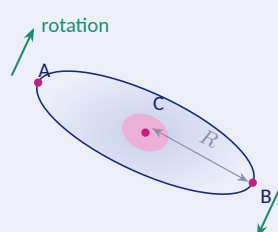
- 1.13 Le bureau d'études conclut que « le remplacement de la ligne de bus par le tramway améliore l'environnement sonore de la rue ». Citer deux limites du modèle utilisé dans cet exercice, puis proposer deux arguments, l'un favorable et l'autre défavorable, à cette conclusion.

Exercice 2 La galaxie d'Andromède tourne-t-elle ?

8 pts ●●●

La galaxie d'Andromède (M31) est la grande galaxie spirale la plus proche de la nôtre. Un spectrographe placé au foyer d'un télescope analyse successivement la lumière provenant de trois régions de M31 : le centre C, et deux points diamétralement opposés A et B situés sur le grand axe du disque, à la distance $R = 3,3 \times 10^4$ a.l. du centre. Dans chaque spectre, on mesure la longueur d'onde de la raie d'absorption $H\alpha$ de l'hydrogène, qui vaut $\lambda_0 = 656,28$ nm au laboratoire.

DOCUMENT 3 — Les trois régions analysées et leurs spectres



La raie $H\alpha$ dans les trois spectres ; en pointillé, sa position au laboratoire

DOCUMENT 4 — Mesures et données

région	A	C	B
λ (nm)	655,17	655,62	656,07

célérité de la lumière $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ • $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$ • masse du Soleil $1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$ • 1 a.l. = $9,46 \times 10^{15} \text{ m}$ • 1 an = $3,16 \times 10^7 \text{ s}$ • $H_0 = 70 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Mpc}^{-1}$.

- 2.1 Les trois longueurs d'onde mesurées sont inférieures à λ_0 . De quel type de décalage s'agit-il ? Qu'en déduit-on sur le mouvement d'ensemble de M31 par rapport à la Terre ?
- 2.2 Calculer la vitesse radiale du centre C de la galaxie, en $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$.
- 2.3 Calculer de même les vitesses radiales de A et de B. Expliquer pourquoi elles diffèrent de celle du centre, et pourquoi elles diffèrent entre elles. Lequel des deux points s'approche le plus vite de la Terre ?
- 2.4 On admet qu'en A et en B la vitesse de rotation du disque est dirigée selon la ligne de visée (on néglige l'inclinaison du disque). En déduire la vitesse v d'un point du disque situé à la distance R du centre, en $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$. Justifier que l'on prenne la demi-différence des deux vitesses radiales et non leur demi-somme.
- 2.5 Le mouvement de ce point étant supposé circulaire et uniforme, calculer la période de révolution correspondante, en secondes puis en années. Comparer à l'âge du Soleil, environ $4,6 \times 10^9$ an.
- 2.6 On admet que tout se passe comme si la masse M située à l'intérieur du rayon R était concentrée au centre de la galaxie. Établir, à partir de la deuxième loi de Newton appliquée dans le repère de Frenet, que $M = \frac{v^2 R}{G}$, puis calculer M en kilogrammes et en masses solaires.
- 2.7 Le recensement des étoiles et du gaz visibles à l'intérieur de ce rayon conduit à une masse d'environ 3×10^{10} masses solaires. Comparer les deux valeurs et proposer une interprétation.
- 2.8 La précision du spectrographe sur chaque longueur d'onde est de 0,01 nm. En déduire l'incertitude sur chaque vitesse radiale, puis le nombre de chiffres significatifs qu'il est légitime d'annoncer pour v .
- 2.9 Toutes les galaxies lointaines s'éloignent de nous selon la loi de Hubble $v = H_0 d$. Calculer la vitesse que cette loi prévoirait pour M31, située à 0,78 Mpc. Expliquer la contradiction avec le résultat de la question 2.2.