

Effet Doppler

Données :

- vitesse de propagation de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$;
- vitesse du son dans l'air : $v_{\text{son}} = 340 \text{ m.s}^{-1}$

I. Effet Doppler et ondes mécaniques :

Matthieu et Camille, basés au bord de la route, ont enregistré l'émission sonore du klaxon d'une voiture qui roule à vitesse constante en ville (C:\PC\TS\Klaxon-Mouvement.wav).

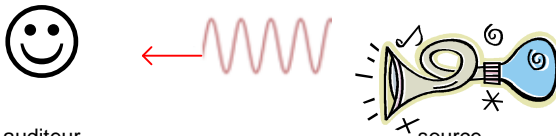
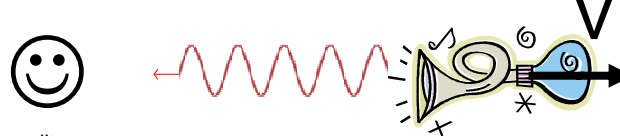
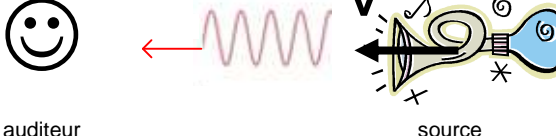
Ils ont également enregistré ce klaxon à l'arrêt (C:\PC\TS\Klaxon-Arret.wav).

Q1. À l'aide de ces documents sonores et des documents ci-après, déterminer si le conducteur peut être sanctionné pour excès de vitesse.

Consignes

- Rédiger une courte introduction.
- Par l'usage de logiciels adaptés, déterminer les grandeurs nécessaires à la résolution du problème.
- Mesurer ces grandeurs de façon à obtenir un intervalle de confiance faible.
- Rédiger clairement l'ensemble de votre résolution : graphes, grandeurs mesurées, calculs, réponse à la situation problème.
- Analyser les résultats, en rechercher les causes d'erreurs et y remédier.

Document 1 : Principe de l'effet Doppler.

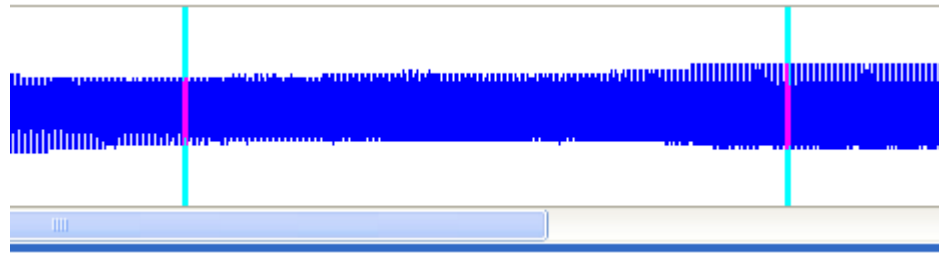
 <p>auditeur</p> <p>source</p>	 <p>auditeur</p> <p>source</p>
<p>L'auditeur mesure la fréquence f_{source} du signal sonore émis par une source immobile.</p>	<p>L'auditeur mesure la fréquence $f_{\text{reçue}}$ du signal sonore émis par la même source s'éloignant à la vitesse v. On obtient $f_{\text{reçue}} < f_{\text{source}}$.</p> $f_{\text{source}} - f_{\text{reçue}} = \frac{v}{v_{\text{son}}} \cdot f_{\text{source}}$
 <p>auditeur</p> <p>source</p> <p>L'auditeur mesure la fréquence $f_{\text{reçue}}$ du signal sonore émis par la même source s'approchant à la vitesse v. On obtient $f_{\text{reçue}} > f_{\text{source}}$.</p> $f_{\text{reçue}} - f_{\text{source}} = \frac{v}{v_{\text{son}}} \cdot f_{\text{source}}$	<p>Dans tous les cas, la fréquence $f_{\text{reçue}}$ (éloignement ou f_{approche}) peut correspondre à la fréquence fondamentale ou bien aux harmoniques.</p>

Document 2 : Analyse spectrale à partir d'un fichier sonore .wav.

Le logiciel Regavi permet d'ouvrir un fichier sonore wav.

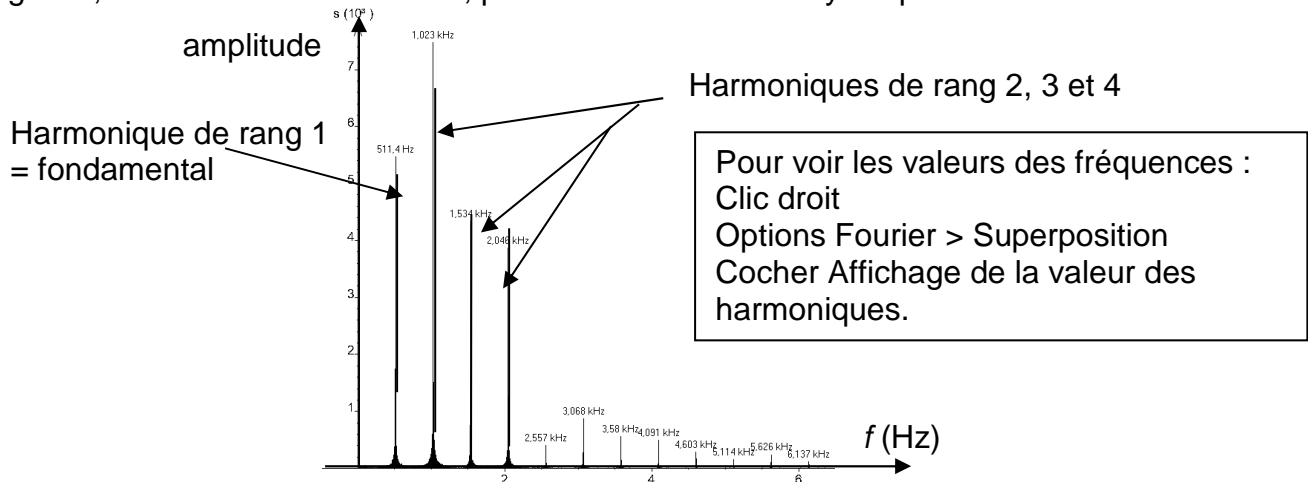
On peut sélectionner la partie du son intéressante en déplaçant les barres verticales.

En cliquant sur jouer, on entend l'extrait sonore sélectionné.



En cliquant sur l'icône regressi, on transfère les données dans ce logiciel.

Regressi, avec son module Fourier, permet de faire de l'analyse spectrale.



Document 3 : intervalle de confiance et incertitude

Le résultat d'une série de mesures peut être présenté sous la forme d'un intervalle de confiance :

$$M = \bar{M} \pm U(M).$$

Exemple : $\text{pH} = 8,7 \pm 0,2$ La valeur exacte (= vraie) du pH a 95% de chance de se trouver dans l'intervalle de confiance [8,5 ; 8,9].

\bar{M} est la moyenne.

$U(M)$ est appelée l'incertitude, elle ne compte qu'un seul chiffre significatif.

L'incertitude est déterminée à l'aide d'une série de mesures : $U(M) = \frac{2\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$, où σ_{n-1} est l'écart-type expérimental et n le nombre de mesures.

II. Effet Doppler-Fizeau et ondes électromagnétiques :

L'effet Doppler-Fizeau provient du mouvement relatif de la source lumineuse par rapport à l'observateur et cause une variation de la fréquence et de la longueur d'onde apparente reçue par ce dernier.

Quand un astre s'approche de l'observateur, les ondes émises par cet astre sont « comprimées » et la longueur d'onde diminue. Les raies du spectre d'un astre qui s'approche sont donc décalées vers les longueurs d'ondes plus courtes, soit vers le côté bleu du spectre (blueshift). Au contraire, quand un astre s'éloigne, les ondes sont « allongées » et les raies sont décalées vers les longueurs d'ondes plus longues, c'est-à-dire vers le côté rouge du spectre (redshift).

Pour des sources lumineuses s'éloignant à des vitesses inférieures à celle de la lumière, on a

$$v = c \cdot \left(\frac{\lambda' - \lambda_0}{\lambda_0} \right), \text{ où } \lambda_0 \text{ est la longueur d'onde mesurée en observant la source immobile,}$$

λ' la longueur d'onde mesurée en observant la source s'éloignant à la vitesse v.

Q2. Calculer la valeur de la vitesse de la galaxie TGS153Z170 en travaillant avec les valeurs de la raie H_β . On donne la relation d'incertitude suivante pour la vitesse : $u(v) = c \cdot \frac{u(\lambda)}{\lambda'} \sqrt{2}$.

On exprimera le résultat sous la forme : $v \pm u(v)$.

Les valeurs numériques sur les spectres sont données à ± 1 nm.

Rappel : l'incertitude est arrondie par excès à un chiffre significatif.

Q3. Dans le cadre relativiste ($v \approx c$), on montre que la vitesse v_{rel} a pour expression :

$$v_{\text{rel}} = c \cdot \frac{\left(\frac{\lambda'}{\lambda_0}\right)^2 - 1}{\left(\frac{\lambda'}{\lambda_0}\right)^2 + 1}$$

Pour la galaxie TGS153Z170, on trouve $v_{\text{rel}} = (1,27 \pm 0,09) \times 10^7 \text{ m.s}^{-1}$.

Si l'écart relatif entre les deux vitesses précédemment calculées est inférieur à 5%, on peut choisir le modèle non relativiste plus simple à utiliser. Justifier le choix du modèle non-relativiste pour la suite de l'exercice.

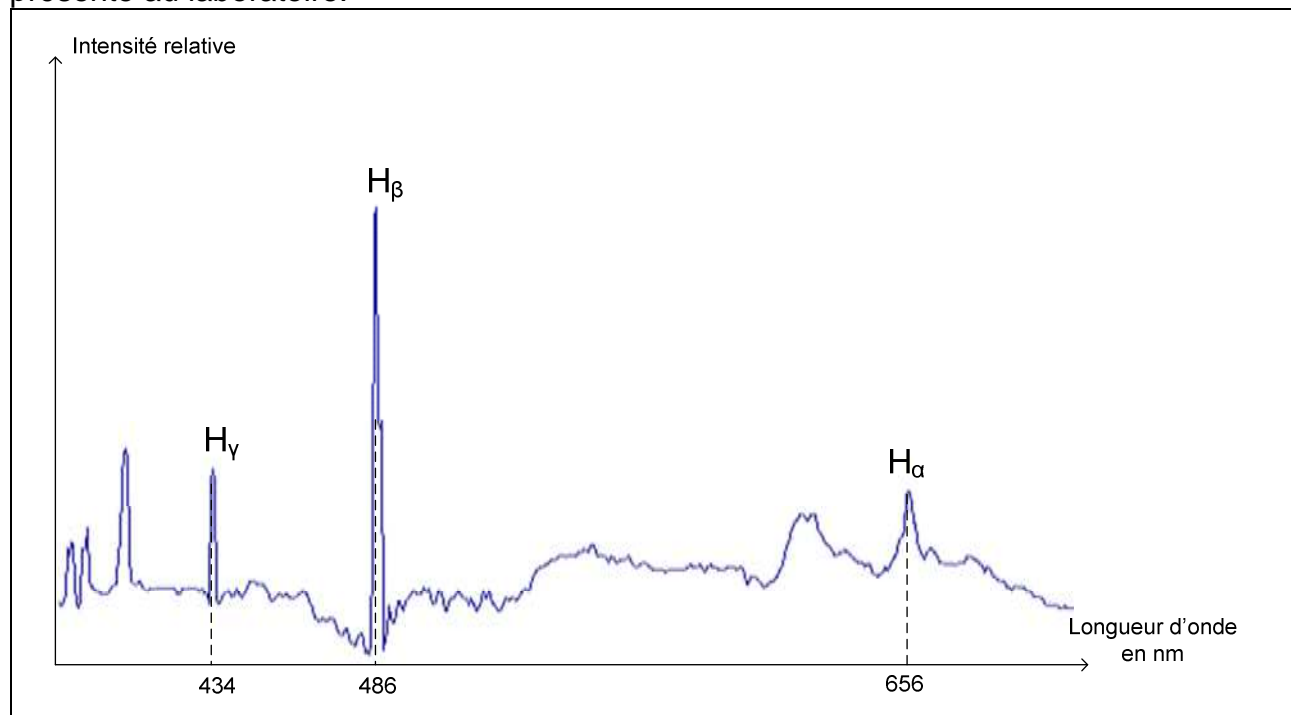
Q4. En comparant les longueurs d'onde λ_0 et λ' , justifier l'expression « décalage vers le rouge ».

Q5. On définit le décalage spectral relatif z défini par : $z = \frac{\lambda' - \lambda_0}{\lambda_0}$. On montre que z ne dépend pas de la raie choisie. Compléter le tableau donné en annexe.

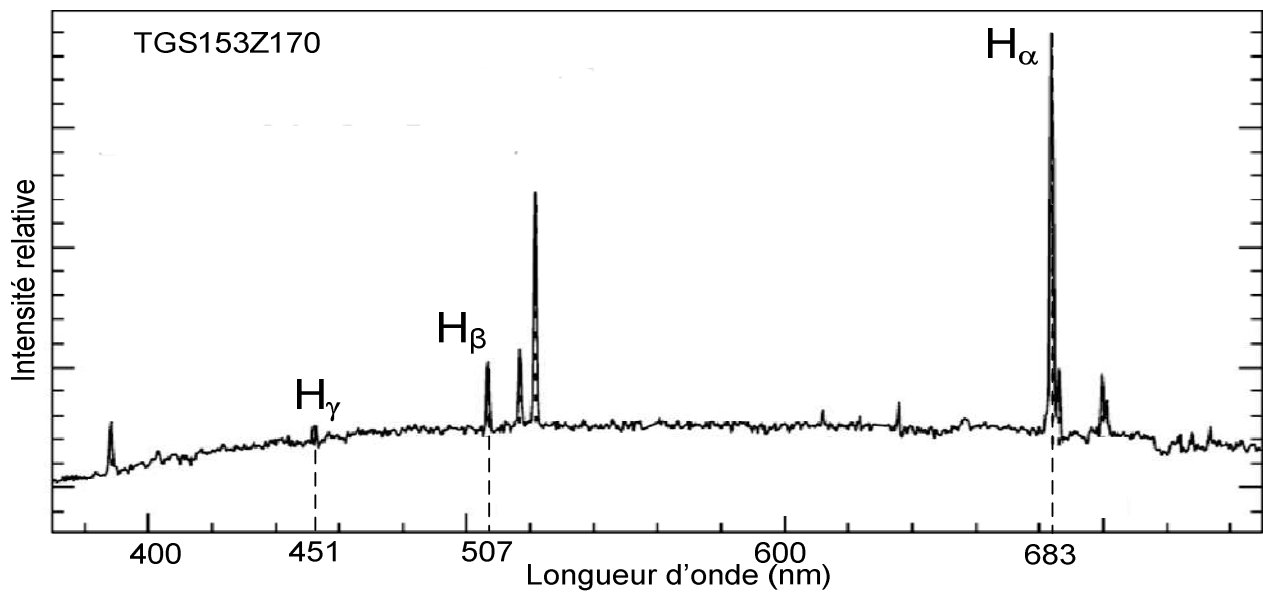
Q6. En déduire la meilleure estimation de z pour la galaxie TGS153Z170.

Q7. Calculer la nouvelle valeur de la vitesse d'éloignement de la galaxie. Expliquer pourquoi cette valeur est plus pertinente que celle calculée à la question Q2.

Document 4 : Spectre d'émission de l'hydrogène mesuré sur Terre obtenu avec une source présente au laboratoire.



Document 5 : Spectre de la galaxie TGS153Z170 avec indexage des raies (source M. Colless et al. *The 2dF Galaxy Redshift Survey: spectra and redshifts*, Mon. Not. R. Astron. Soc. 328, 1039–1063 (2001))



Question Q5. Annexe

Nom de la raie	Longueur d'onde de référence λ_0 (nm)	Longueur d'onde mesurée λ' (nm)	Décalage spectral relatif z
H γ			
H β			
H α			