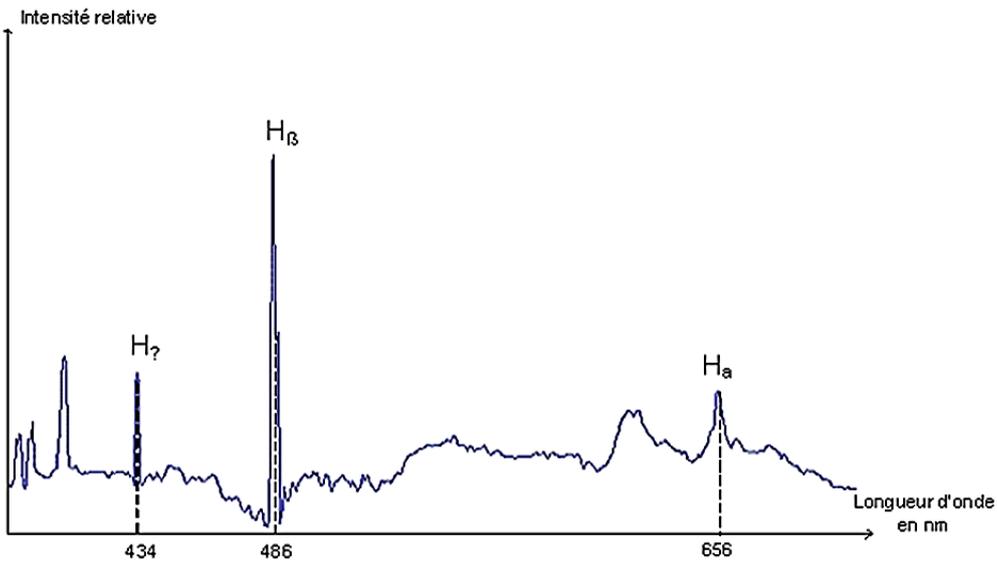


QUAND LES ASTROPHYSICIENS VOIENT ROUGE ...

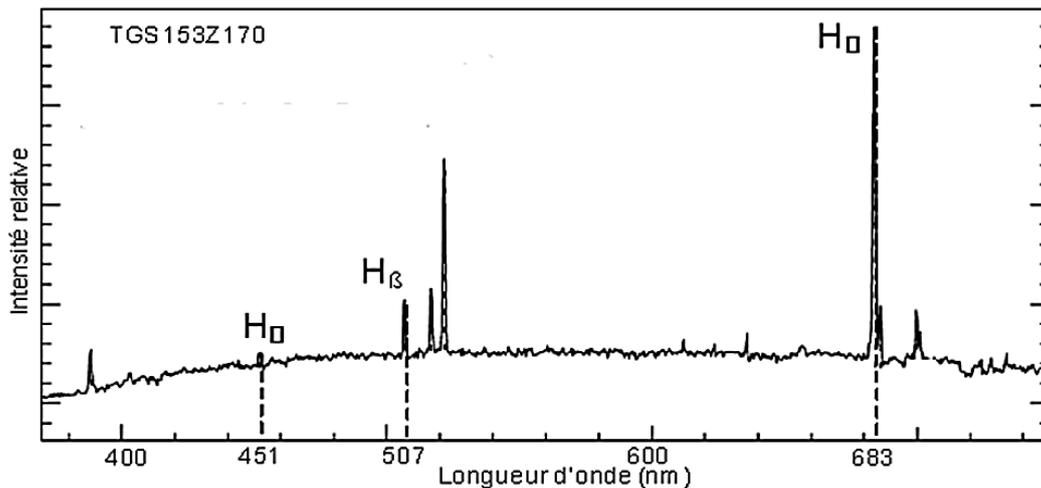
Document 1 : Principe de l'effet Doppler.

 <p>observateur source</p>	 <p>observateur source</p>
<p>L'observateur mesure la longueur d'onde λ_0 du signal lumineux émis par une source immobile.</p>	<p>L'observateur mesure la longueur d'onde λ' du signal lumineux émis par la même source s'éloignant à la vitesse v. On obtient $\lambda' > \lambda_0$.</p>

Document 2 : Spectre d'émission de l'hydrogène mesuré sur Terre obtenu avec une source présente au laboratoire.

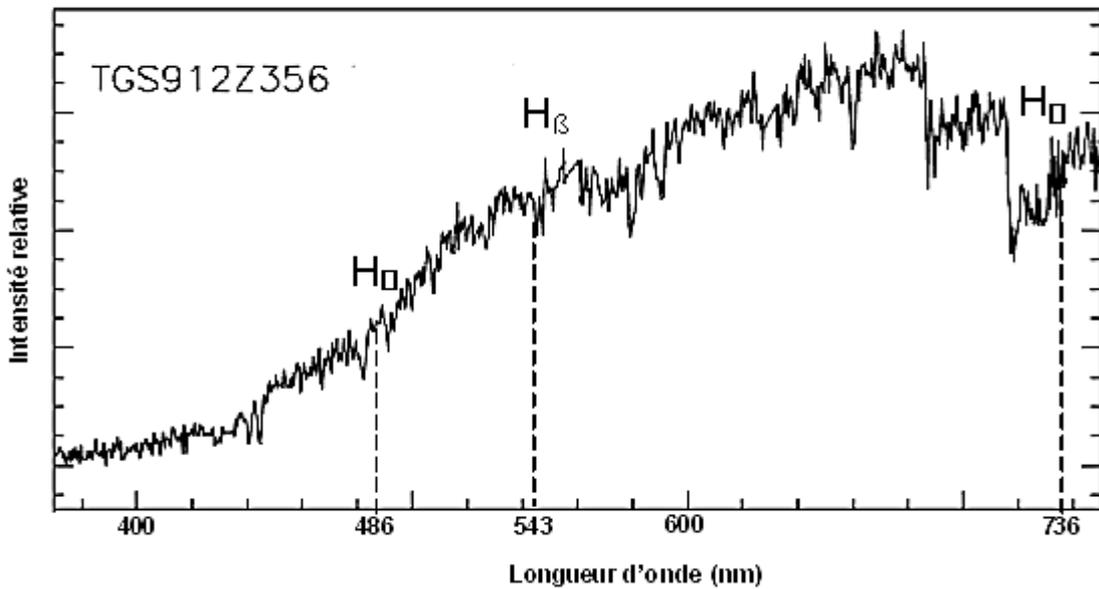


Document 3 : Spectre de la galaxie TGS153Z170 avec indexage des raies



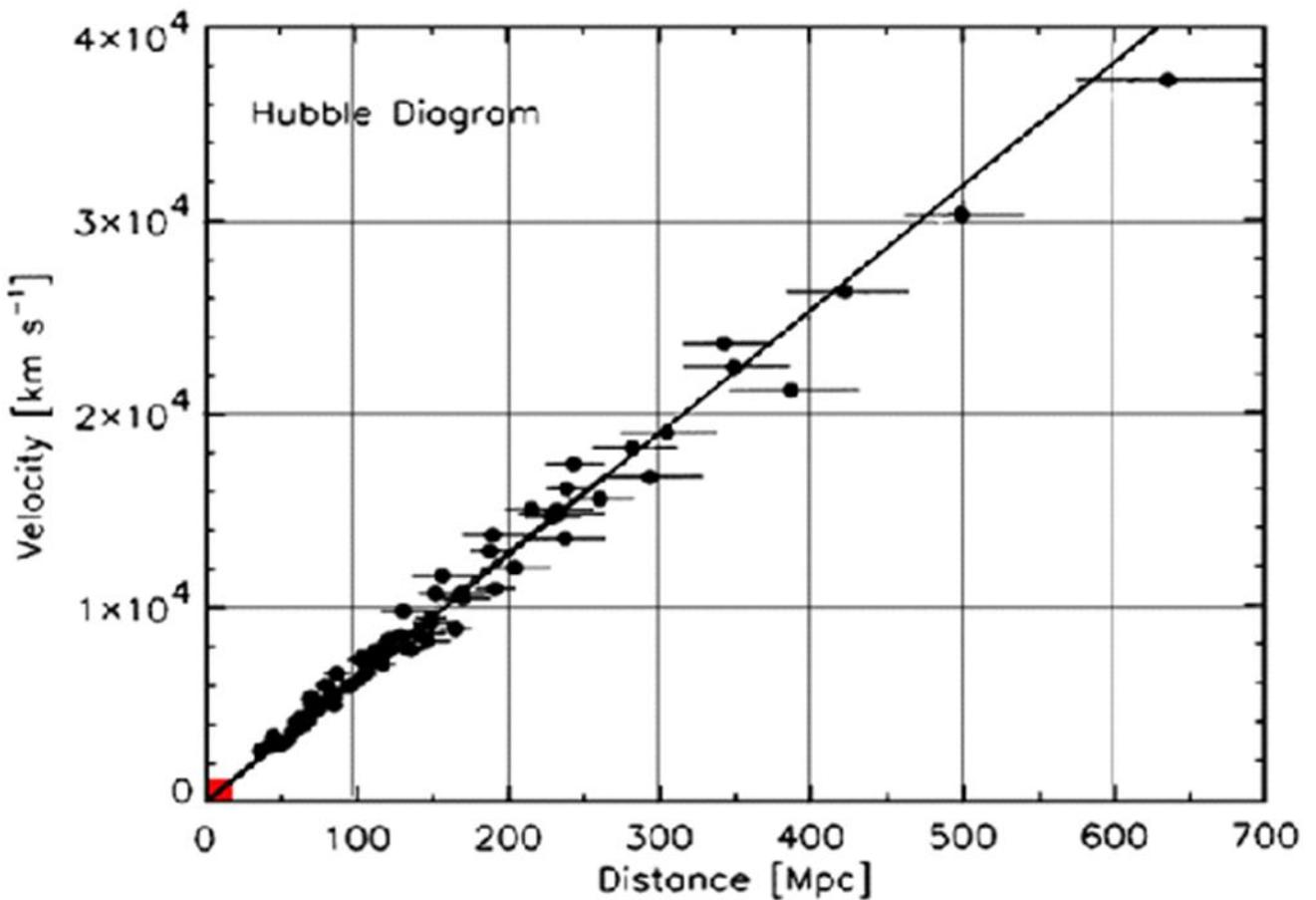
M. Colless et al. The 2dF Galaxy Redshift Survey: spectra and redshifts, Mon. Not. R. Astron. Soc. 328, 1039–1063 (2001)

Document 4 : Spectre de la galaxie TGS912Z356 avec indexage des raies



M. Colless et al., The 2dF Galaxy Redshift Survey: spectra and redshifts, Mon. Not. R. Astron. Soc. 328, 1039–1063 (2001)

Document 5 : Diagramme de Hubble



Kirshner R P PNAS 2004;101:8-13)

Document 6 : Données

- vitesse de propagation la lumière dans le vide :
 $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

- Le parsec est une unité de longueur utilisée par les astronomes de symbole pc :

$$1 \text{ pc} = 3,08 \times 10^{16} \text{ m}$$

Document 7 : Déplacement vers le rouge

La mesure du déplacement vers le rouge, par effet Doppler, de raies caractéristiques des spectres émis par des sources lointaines (galaxies, quasars etc...) est la preuve d'un univers en expansion, aussi bien que le moyen de mesurer la vitesse d'éloignement de ces objets lointains. En faisant appel à des modèles cosmologiques, on peut tirer des informations sur la distance de ces sources à la Terre.
D'après Boratav & R. Kerner, Relativité, Ellipse, 1991.

Dans cet exercice, on se propose de déterminer la vitesse d'éloignement d'une galaxie puis sa distance par rapport à un observateur terrestre.

PARTIE I. L'effet Doppler (voir document 1)

Pour des vitesses largement inférieures à la célérité c de la lumière, on se place dans le cadre non-relativiste. Choisir, en justifiant, la relation entre λ_0 , la longueur d'onde mesurée en observant une source immobile, et λ' , la longueur d'onde mesurée en observant la même source s'éloignant à la vitesse v :

- | | |
|--|---|
| (1) $\lambda' = \frac{v}{c} \cdot \lambda_0$ | (2) $\lambda' = \lambda_0 \left(1 - \frac{v}{c}\right)$ |
| (3) $\lambda' = \lambda_0 (c - v)$ | (4) $\lambda' = \lambda_0 \left(1 + \frac{v}{c}\right)$ |

PARTIE II. Détermination de la vitesse d'une galaxie

- Rechercher les longueurs d'onde des raies H_α , H_β et H_γ pour le spectre de l'hydrogène sur Terre et les longueurs d'onde de ces mêmes raies lorsqu'elles sont issues de la galaxie TGS153Z170. Compléter les deux premières colonnes du tableau donné ci-après.

Nom de la raie	Longueur d'onde de référence λ_0 (nm)	Longueur d'onde mesurée λ' (nm)	Décalage spectral relatif z
H_α			
H_β			
H_γ			

2. Choix du modèle d'étude

- En se plaçant dans le cadre non-relativiste montrer que l'expression de la vitesse v de la galaxie

est : $v = c \left(\frac{\lambda'}{\lambda_0} - 1 \right)$.

- 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 : $\Delta v = \sqrt{2} c \frac{\Delta \lambda}{\lambda'}$. On exprimera le résultat sous la forme : $v \pm \Delta v$. Les valeurs numériques sur les spectres sont données à ± 1 nm.

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

$$v_{rel} = c \cdot \frac{\left(\frac{\lambda'}{\lambda_0}\right)^2 - 1}{\left(\frac{\lambda'}{\lambda_0}\right)^2 + 1}. \text{ Pour la galaxie TGS153Z170, on trouve } v_{rel} = (1,27 \pm 0,09) \times 10^7 \text{ m. s}^{-1}.$$

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.

3. Décalage vers le rouge

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

3.2. 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 la troisième colonne du tableau.

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

3.4. À l'aide de la définition de z montrer que $z = \frac{v}{c}$.

3.5. 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 **2.2**.

PARTIE III. Détermination de la distance d'une galaxie

En 1929, Edwin Hubble observe depuis le Mont Wilson aux USA le décalage Doppler de dizaines de galaxies. Ses mesures lui permettent de tracer le diagramme qui porte son nom. Il en déduit une relation simple entre la vitesse d'éloignement v d'une galaxie et sa distance d par rapport à la Terre : $v = H \cdot d$ où H est la constante de Hubble.

1. Déterminer la valeur de la constante de Hubble H en $\text{km.s}^{-1}.\text{Mpc}^{-1}$.

2. Établir l'expression de la distance d de la galaxie à la Terre en fonction de c , z et H . En déduire la distance en Mpc de la galaxie TGS153Z170 à la Terre.

PARTIE IV. Comparaison des spectres de deux galaxies

1. Lequel des spectres des galaxies TGS153Z170 et TGS912Z356 est un spectre d'absorption ?

2. De ces deux galaxies, laquelle est la plus éloignée de la Terre ? Justifier.

LA LUMIÈRE : UNE ONDE

Document 1 : La nature de la lumière

Le texte ci-dessous retrace succinctement l'évolution de quelques idées à propos de la nature de la lumière.

Huyghens (1629-1695) donne à la lumière un caractère ondulatoire par analogie à la propagation des ondes à la surface de l'eau et à la propagation du son.

Pour Huyghens, le caractère ondulatoire de la lumière est fondé sur les faits suivants :

– « le son ne se propage pas dans une enceinte vide d'air tandis que la lumière se propage dans cette même enceinte. La lumière consiste dans un mouvement de la matière qui se trouve entre nous et le corps lumineux, matière qu'il nomme éther ».

– « la lumière s'étend de toutes parts^① et, quand elle vient de différents endroits, même de tout opposés^②, les ondes lumineuses se traversent l'une l'autre sans s'empêcher^③ »

– « la propagation de la lumière depuis un objet lumineux ne saurait être ^④ par le transport d'une matière, qui depuis cet objet s'en vient jusqu'à nous ainsi qu'une balle ou une flèche traverse l'air ».

Fresnel (1788-1827) s'attaque au problème des ombres et de la propagation rectiligne de la lumière. Avec des moyens rudimentaires, il découvre et il exploite le phénomène de diffraction.

Il perce un petit trou dans une plaque de cuivre. Grâce à une lentille constituée par une goutte de miel déposée sur le trou, il concentre les rayons solaires sur un fil de fer.

Extraits d'articles parus dans l'ouvrage « Physique et Physiciens » et dans des revues « Sciences et Vie ».

① de toutes parts = dans toutes les directions

③ sans s'empêcher = sans se perturber

② de tout opposés = de sens opposés

④ ne saurait être = ne se fait pas

Document 2 : Diffraction par un fil

On réalise une expérience de diffraction à l'aide d'un laser émettant une lumière monochromatique de longueur d'onde λ .

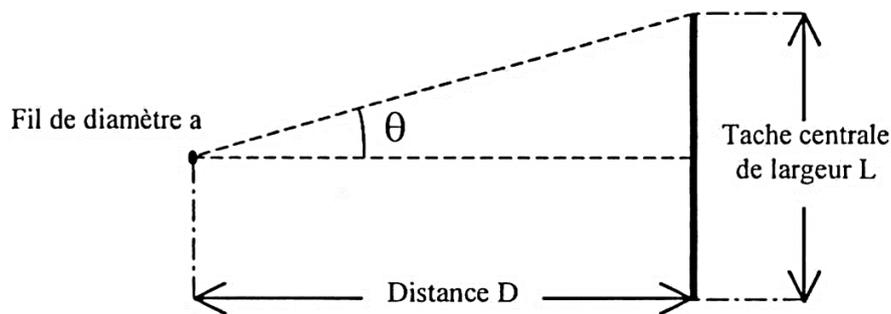


Figure 1 – vue de dessus

À quelques centimètres du laser, on place successivement des fils verticaux de diamètres connus. On désigne par a le diamètre d'un fil.

La figure de diffraction obtenue est observée sur un écran blanc situé à une distance $D = 1,60$ m des fils. Pour chacun des fils, on mesure la largeur L de la tache centrale.

Document 3 : Écart angulaire θ

À partir des mesures et des données, il est possible de calculer l'écart angulaire θ du faisceau diffracté.

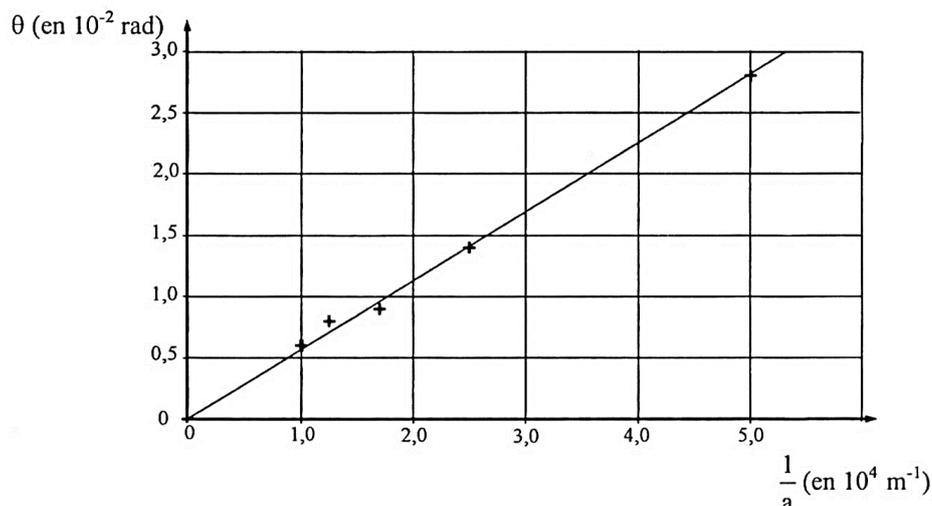


Figure 2

PARTIE I. Texte concernant Huygens et Fresnel

1. Texte concernant Huyghens

1.1. Quelle erreur commet Huyghens en comparant la propagation de la lumière à celle des ondes mécaniques?

1.2. Citer deux propriétés générales des ondes que l'on peut retrouver dans le texte de Huyghens.

2. Texte concernant Fresnel

2.1. Fresnel a utilisé les rayons solaires pour réaliser son expérience.

Une telle lumière est-elle monochromatique ou polychromatique?

2.2. Fresnel exploite le phénomène de diffraction de la lumière par un fil de fer.

Le diamètre du fil a-t-il une importance pour observer le phénomène de diffraction? Si oui, indiquer quel doit être l'ordre de grandeur de ce diamètre.

PARTIE II. DIFFRACTION

1. L'angle θ étant petit, θ étant exprimé en radian, on a la relation: $\tan \theta \approx \theta$.

Donner la relation entre L et D qui a permis de calculer θ pour chacun des fils.

2. Donner la relation liant θ , λ et a. Préciser les unités de θ , λ et a.

3. On trace la courbe $\theta = f(1/a)$. Celle-ci est donnée sur la figure 2 ci-dessus :

Montrer que la courbe obtenue est en accord avec l'expression de θ donnée à la question 2. précédente

4. Comment, à partir de la courbe précédente, pourrait-on déterminer la longueur d'onde λ de la lumière monochromatique utilisée ?

5. En utilisant la figure 2, préciser parmi les valeurs de longueurs d'onde proposées ci-dessous, quelle est celle de la lumière utilisée.

560cm ; 560mm ; 560 μ m ; 560nm

6. Si l'on envisageait de réaliser la même étude expérimentale en utilisant une lumière blanche, on observerait des franges irisées.

En utilisant la réponse donnée à la question 2. précédente, justifier succinctement l'aspect « irisé » de la figure observée.

PARTIE III. DISPERSION

Un prisme est un milieu dispersif : convenablement éclairé, il décompose la lumière du faisceau qu'il reçoit.

1. Quelle caractéristique d'une onde lumineuse monochromatique est invariante quel que soit le milieu transparent traversé ?

2. Donner la définition de l'indice de réfraction n d'un milieu homogène transparent, pour une radiation de fréquence donnée.

3. Rappeler la définition d'un milieu dispersif.

Pour un tel milieu, l'indice de réfraction dépend-il de la fréquence de la radiation monochromatique qui le traverse?

4. À la traversée d'un prisme, lorsqu'une lumière monochromatique de fréquence donnée passe de l'air (d'indice $n_a = 1$) à du verre (d'indice $n_v > 1$), les angles d'incidence (i_1) et de réfraction (i_2), sont liés par la relation de Descartes-Snell: $\sin(i_1) = n_v \sin(i_2)$

Expliquer succinctement, sans calcul, la phrase « Un prisme est un milieu dispersif : convenablement éclairé, il décompose la lumière du faisceau qu'il reçoit ».

COMMENT SONT POSITIONNÉES LES FRETTES SUR LE MANCHE D'UNE GUITARE ?

Document 1 : Carlo Domeniconi, guitariste virtuose italien

Comme le montre la photographie ci-contre, pour modifier la hauteur du son émis, le guitariste appuie sur la corde au niveau d'une case, de façon à modifier la longueur de la corde utilisée. Des pièces métalliques, nommées frettes, délimitent les cases sur le manche d'une guitare.

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Carlo-domeniconi>



Document 2 : Description du manche d'une guitare

La photographie ci-dessous montre le manche d'une guitare classique. La longueur d'une corde à vide L_0 est de 65,2 cm.

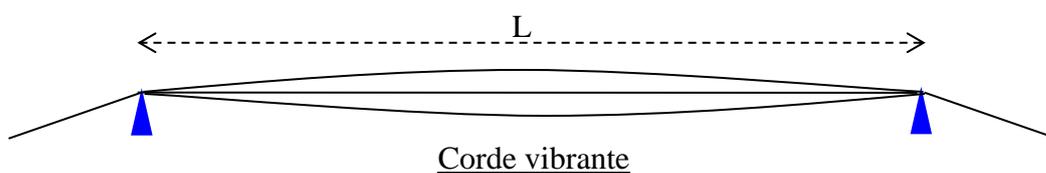


Document 3 : Corde vibrante

Si l'on considère une corde vibrante maintenue entre ses deux extrémités, la hauteur du son émis dépend de la longueur L de la corde, de sa masse par unité de longueur μ et de la tension T de la corde.

La composition spectrale du son émis est complexe et la fréquence f du fondamental est donnée par

la relation : $f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$.



Document 4 : Gamme tempérée

- Les notes se suivent dans l'ordre Do, Ré, Mi, Fa, Sol, La, Si, Do ; un « cycle » correspond à une octave.
- On envisage 10 octaves numérotées de 1 à 8.
- Chaque note d'une gamme est caractérisée par sa fréquence. Par convention, le La₃ (diapason des musiciens) de l'octave numérotée 3 a une fréquence de 440 Hz.
- Le passage d'une note à la note du même nom à l'octave supérieure multiplie sa fréquence par deux ; ainsi la fréquence du La₂ est égale à 220 Hz et celle du La₄ à 880 Hz.
- Dans la gamme tempérée, le quotient de la fréquence d'une note sur la fréquence de la note précédente est égal à $(2)^{\frac{1}{12}} \approx 1,059$. Si l'on note f la fréquence de la note Do, note fondamentale d'une octave donnée, les fréquences des notes successives de cette octave sont regroupées dans le tableau suivant :

note	fréquence
Do	f
Do# Réb	$(2)^{\frac{1}{12}} \times f = 1,059 \times f$
Ré	$(2)^{\frac{2}{12}} \times f = 1,122 \times f$
Ré# Mib	$(2)^{\frac{3}{12}} \times f = 1,189 \times f$
Mi Fab	$(2)^{\frac{4}{12}} \times f = 1,260 \times f$
Mi# Fa	$(2)^{\frac{5}{12}} \times f = 1,335 \times f$
Fa# Solb	$(2)^{\frac{6}{12}} \times f = 1,414 \times f$
Sol	$(2)^{\frac{7}{12}} \times f = 1,498 \times f$
Sol# Lab	$(2)^{\frac{8}{12}} \times f = 1,587 \times f$
La	$(2)^{\frac{9}{12}} \times f = 1,682 \times f$
La# Sib	$(2)^{\frac{10}{12}} \times f = 1,782 \times f$
Si Dob	$(2)^{\frac{11}{12}} \times f = 1,888 \times f$
Do Si#	$2f$

- Pour une corde donnée, pour passer par exemple d'un Ré à un Ré#, le guitariste bloque cette corde sur la case située juste à côté de celle utilisée pour jouer le Ré, de façon à raccourcir la corde.

En s'appuyant sur les documents donnés, répondre aux questions suivantes :

1. Discuter qualitativement de l'influence de la longueur, de la tension et de la masse par unité de longueur de la corde sur la fréquence du son émis par une corde vibrante.
2. Expliquer qualitativement comment un guitariste passe d'une note jouée Sol à la note La de la même octave et à l'aide de la même corde.
3. Déterminer les fréquences de Do₃ et Do₄.
4. Prévoir les positions approchées en cm des quatre premières frettes. Effectuer ensuite quelques vérifications simples à l'aide de la photo du document 1.