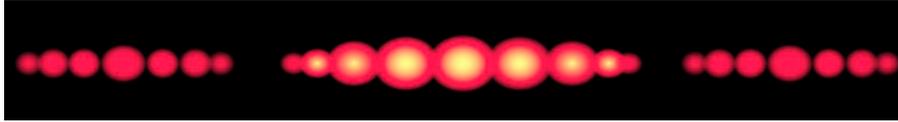


► Exercice 1

L'exercice suivant est destiné aborder les interférences et la diffraction de la lumière. Les deux parties sont totalement indépendantes.

1. Les fentes d'Young

Lorsqu'on envoie la lumière d'un laser de longueur d'onde $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ sur deux fentes verticales identiques d'ouverture a et distantes entre elles d'une longueur ℓ , on obtient l'image de la figure sur l'écran, situé à la distance $D = 2,0 \text{ m}$ des fentes.



- (a) Deux phénomènes caractéristiques des ondes se produisent ici.
 - i. Quels sont ces phénomènes ?
 - ii. Analyser la figure, en précisant la contribution de chaque phénomène.
- (b) On mesure un cart angulaire $\theta = 1,6 \times 10^{-3} \text{ rad}$.
 - i. Quel phénomène est caractérisé par l'écart angulaire ?
 - ii. Calculer l'ouverture des fentes a .

- (c) On mesure une distance de 9,5 cm entre 11 franges sombres.

La distance i entre deux franges sombres est donné par la relation :

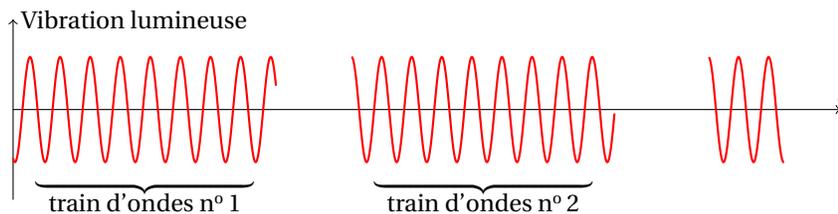
$$i = \frac{\lambda D}{\ell}$$

- i. Que peut-on dire quant aux deux ondes lumineuses au niveau des franges brillantes ? Sombres ?
- ii. Déterminer l'écart ℓ entre les deux fentes.
- (d) Prévoir l'évolution de la figure observé si l'on modifie les paramètres suivants, les autres paramètres expérimentaux restant inchangés :
 - i. on écarte les deux fentes ;
 - ii. on diminue l'ouverture des fentes ;
 - iii. on remplace le laser rouge par un laser vert.

Données : Domaine de longueur d'onde du rouge : de 620 nm ; du vert : de 500 à 578 nm.

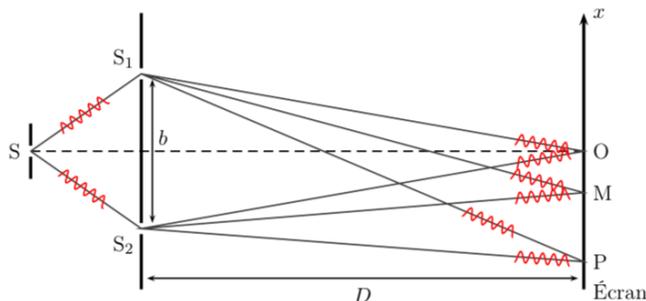
2. Interférences avec les raies du sodium

Dans une source de lumière monochromatique, par exemple une lampe à vapeur de sodium qui met une radiation jaune, les atomes excités par une décharge électrique mettent une onde de très courte dure $\tau = 10^{-11} \text{ s}$ environ. On parle alors de trains d'ondes. La source met de façon continue, car elle renferme un très grand nombre d'atomes qui se désexcitent puis sont à nouveau excités avant de se désexciter. Deux trains d'ondes mis successivement par le même atome ne sont pas cohérents, car le déphasage entre les deux trains est aleatoire. Les trains d'ondes mis par les autres atomes de la source sont également incohérents.



(a) *Durée et longueur de cohérence*

- i. La durée d'émission d'un train d'ondes par un atome est appelée durée de cohérence. Justifier cette expression. Quelle est la longueur d'un train d'ondes, appelée longueur de cohérence ?
Donnée : célérité des ondes lumineuses $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.
- ii. Calculer un ordre de grandeur du nombre d'oscillations d'un train d'ondes.
Donnée : la longueur d'onde de la raie jaune du sodium est $\lambda = 589 \text{ nm}$.
- iii. Sur le schéma proposé en figure, y a-t-il interférence visible en O, en M ou en P ? Justifier.



- iv. La largeur de la bande sur l'écran dans laquelle le phénomène d'interférence est visible sur l'écran est-elle plus grande lorsque les fentes sont proches l'une de l'autre (b petit), ou lorsqu'elles sont plus distantes (b grand) ? Justifier qualitativement.

(b) *Obtention d'interférences*

On se place maintenant uniquement dans la bande sur l'écran dans laquelle le phénomène d'interférence est visible. La source S est toujours à égale distance des sources S_1 et S_2 .

- i. Les deux sources S_1 et S_2 mettent-elles en phase ? Justifier.
- ii. Dans ces conditions, les interférences sont-elles constructives ou destructives au point O ? La frange centrale (en O sur le schéma) est-elle noire ou brillante ?
- iii. En un point M d'abscisse x de l'écran, la différence de marche est donnée par la relation :

$$\delta = \frac{b \cdot x}{D}$$

Où b est l'écart entre les sources S_1 et S_2 et D est la distance entre les sources et l'écran.

A quelle distance x du point O se trouve le milieu de la première frange sombre ? En déduire l'interfrange.

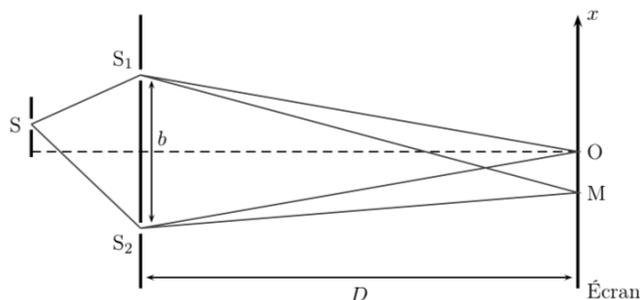
Donnée : $D = 200 \text{ cm}$ et $b = 200 \mu\text{m}$.

- iv. Le point d'abscisse $x = 11,8 \text{ mm}$ est-il au centre d'une frange brillante ou d'une frange sombre ? Justifier.

(c) *Effet d'un déplacement de la source*

On déplace la fente source S, parallèlement au plan des sources secondaires, vers le haut.

- i. Les deux sources secondaires S_1 et S_2 mettent-elles toujours en phase ? Quelle est la source qui est en retard par rapport à l'autre ?



- ii. On suppose que le déplacement de la fente source S correspond un retard d'une demi-période d'une source secondaire par rapport à l'autre. Quelle est maintenant la nature de la frange située en O ? Justifier.
- iii. L'interfrange est-il modifié ? Que se passe-t-il si l'on remplace la fente S par une source tendue, de largeur égale à la distance dont on a déplacé la fente S ?

► Exercice 2

La houle est un train de vagues régulier généré par un vent soufflant sur une grande étendue de mer sans obstacle, le fetch. En arrivant près du rivage, sous certaines conditions, la houle déferle au grand bonheur des surfeurs!

1. Etude de la houle

- Pourquoi peut-on dire que la houle est une onde mécanique progressive?
- Il est possible de simuler la houle au laboratoire de physique avec une cuve à ondes en utilisant une lame vibrante qui crée à la surface de l'eau une onde progressive sinusoidale de fréquence $f = 23 \text{ Hz}$. On réalise une photographie du phénomène observé.
Déterminer, en expliquant la méthode utilisée, la vitesse de propagation v de l'onde sinusoidale générée par le vibreur.
- Au large de la pointe bretonne, à une profondeur de 3000 m, la houle s'est formée avec une longueur d'onde de 60 m.
En utilisant le document 2, calculer la vitesse de propagation v_1 de cette houle. En déduire sa période T .
- Arrivée de la houle dans une baie.
 - Sur la photographie aérienne du document 4, quel phénomène peut-on observer? Quelle est la condition nécessaire à son apparition?
 - Citer un autre type d'onde pour lequel on peut observer le même phénomène.

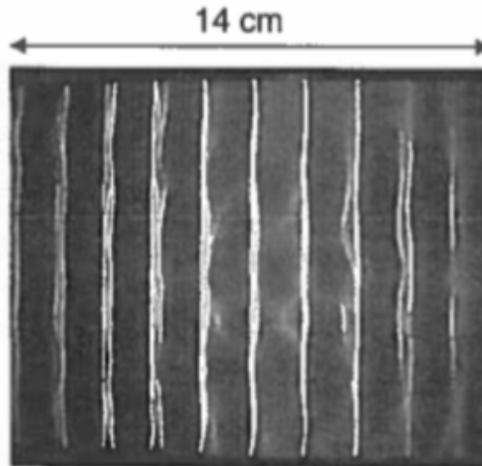
2. Etude des vagues

La houle atteint une côte sablonneuse et rentre dans la catégorie des ondes longues.

Calculer la nouvelle vitesse de propagation v_2 de la houle lorsque la profondeur est égale à 4,0 m, ainsi que sa nouvelle longueur d'onde λ_2 .

Documents

Document 1 : Simulation de la houle au laboratoire avec une cuve à ondes.



Document 2 : Vitesse de propagation des ondes à la surface de l'eau.

- Cas des ondes dites « courtes » (en eau profonde) : longueur d'onde λ faible devant la profondeur h de l'océan ($\lambda < 0.5 \cdot h$), célérité des ondes donnée par :

$$v = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$$

- Cas des ondes dites « longues » (eau peu profonde) : longueur d'onde λ très grande devant la profondeur de l'eau ($\lambda > 10 \cdot h$), célérité des ondes donnée par :

$$v = \sqrt{gh}$$

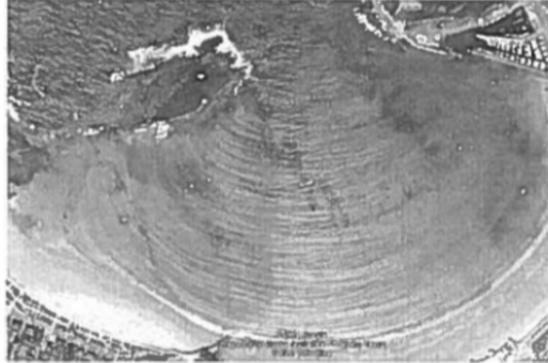
g est l'intensité de la pesanteur terrestre :

$$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Document 3 : Déferlement des vagues sur la côte.

En arrivant près de la côte, la houle atteint des eaux peu profondes. Dès que la profondeur est inférieure à la moitié de la longueur d'onde, les particules d'eau sont freinées par frottement avec le sol. La houle est alors ralentie et sa longueur d'onde diminue. Ces modifications des caractéristiques de l'onde s'accompagnent d'une augmentation d'amplitude. La période est la seule propriété de l'onde qui ne change pas à l'approche de la côte. Ainsi en arrivant près du rivage, la vitesse des particules sur la crête est plus importante que celle des particules dans le creux de l'onde, et lorsque la crête n'est plus en équilibre, la vague déferle.

Document 4 : Photographie aérienne de l'arrivée de la houle dans une baie.



► **Exercice 3**

La mesure du déplacement vers le rouge, par effet Doppler, de raies caractéristiques des spectres mis 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.

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

1. L'effet Doppler (voir le document 1)

Pour des vitesses largement inférieures à la célérité 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) $\lambda' = \lambda_0 \left(1 + \frac{v}{c}\right)$

2. Détermination de la vitesse d'une galaxie

(a) 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.

(b) *Choix du modèle d'étude*

i. En se plaçant dans le cadre non relativiste, montrer que l'expression de la vitesse v de la galaxie est :

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

ii. 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 ± 1 nm.

iii. Dans le cadre relativiste ($v \simeq c$), 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 $v_{\text{rel}} = (1,27 \pm 0,09) \times 10^7$ m/s.

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.

(c) *Décalage vers le rouge*

- i. En comparant les longueurs d'onde λ_0 et λ' , justifier l'expression décalage vers le rouge .
- ii. On définit le décalage spectral relatif z 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.

- iii. En déduire la meilleure estimation de z pour la galaxie TGS153Z170.
- iv. A l'aide de la définition de z , montrer que :

$$z = \frac{v}{c}$$

- v. Calculer la nouvelle valeur de la vitesse d'éloignement de la galaxie. Expliquer pourquoi cette valeur est plus pertinente que celle calculée auparavant.

3. 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 la Terre :

$$v = H \cdot d$$

où H est la constante de Hubble.

- (a) Déterminer la valeur de la constante de Hubble H en $\text{km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{M}^{-1}$.
- (b) Etablir l'expression de la distance d de la galaxie la Terre en fonction de c , z et H . En déduire la distance en M de la galaxie TGS153Z170 la Terre.

4. Comparaison des spectres de deux galaxies

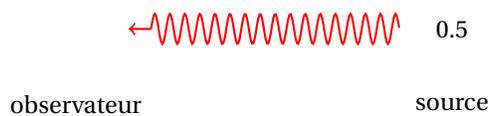
- (a) Lequel des spectres des galaxies TGS153Z170 et TGS912Z356 est un spectre d'absorption ?
- (b) De ces deux galaxies, laquelle est la plus éloignée de la Terre ? Justifier.

Documents

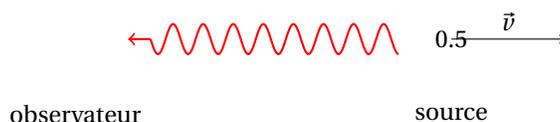
Données :

- Vitesse de propagation de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m/s}$;
- Le parsec est l'unité de longueur utilisé par les astronomes, de symbole : $1 \text{ pc} = 3,08 \times 10^{16} \text{ m}$.

Document 1 : Principe de l'effet Doppler.

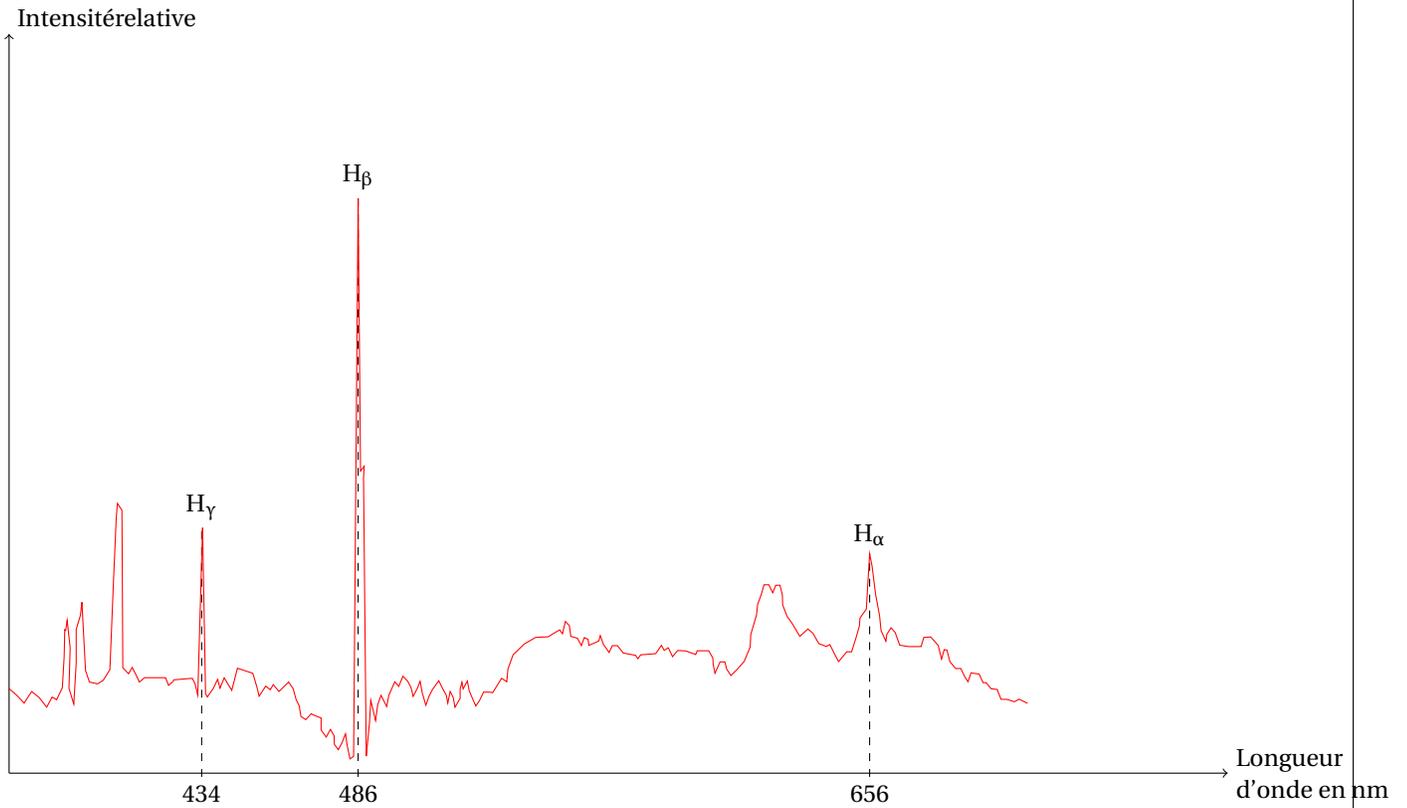


L'observateur mesure la longueur d'onde λ_0 du signal lumineux émis par une source immobile. On obtient $\lambda' = \lambda_0$.

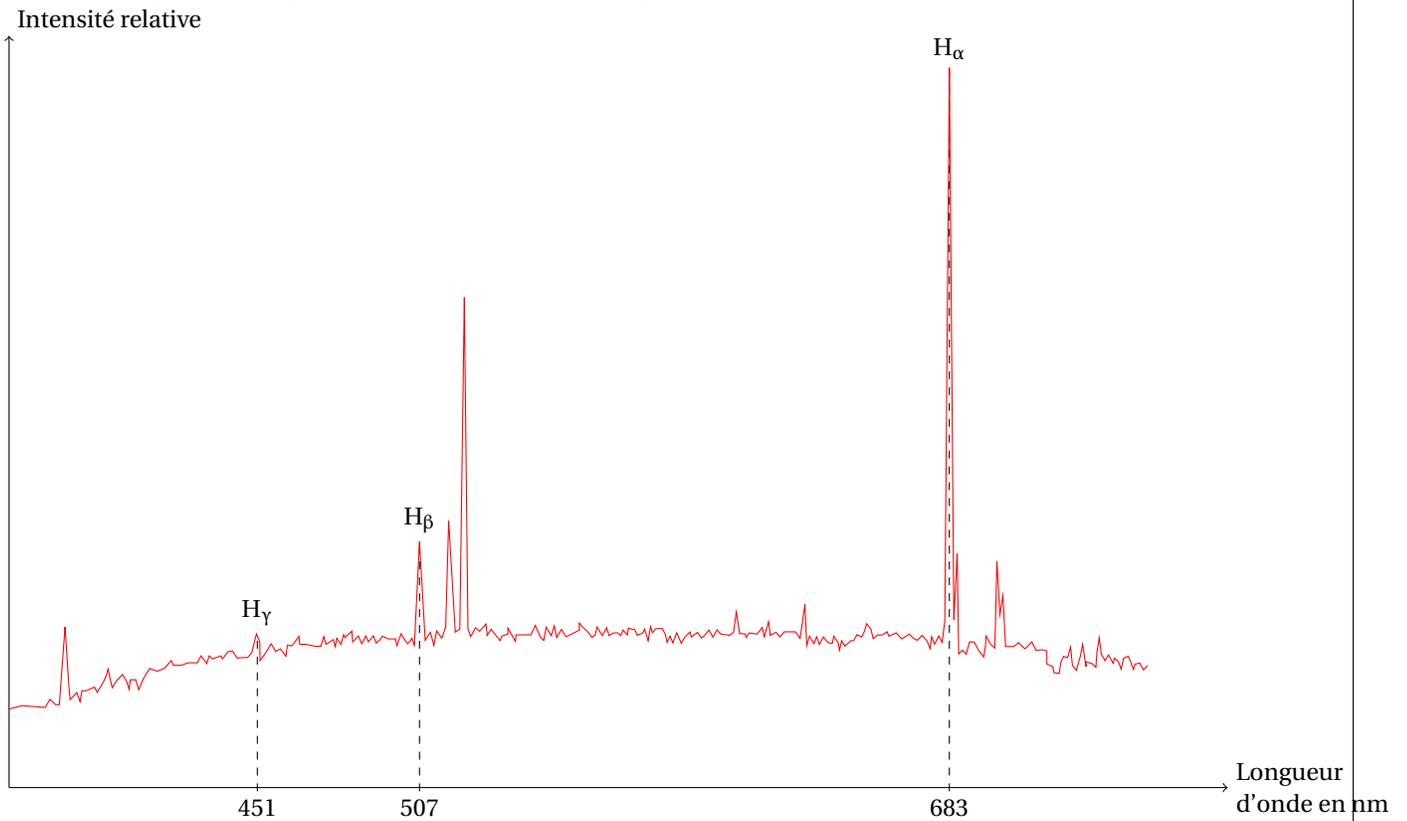


L'observateur mesure la longueur d'onde λ' du signal lumineux émis par la même source s'éloignant la vitesse v . On obtient $\lambda' > \lambda_0$.

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

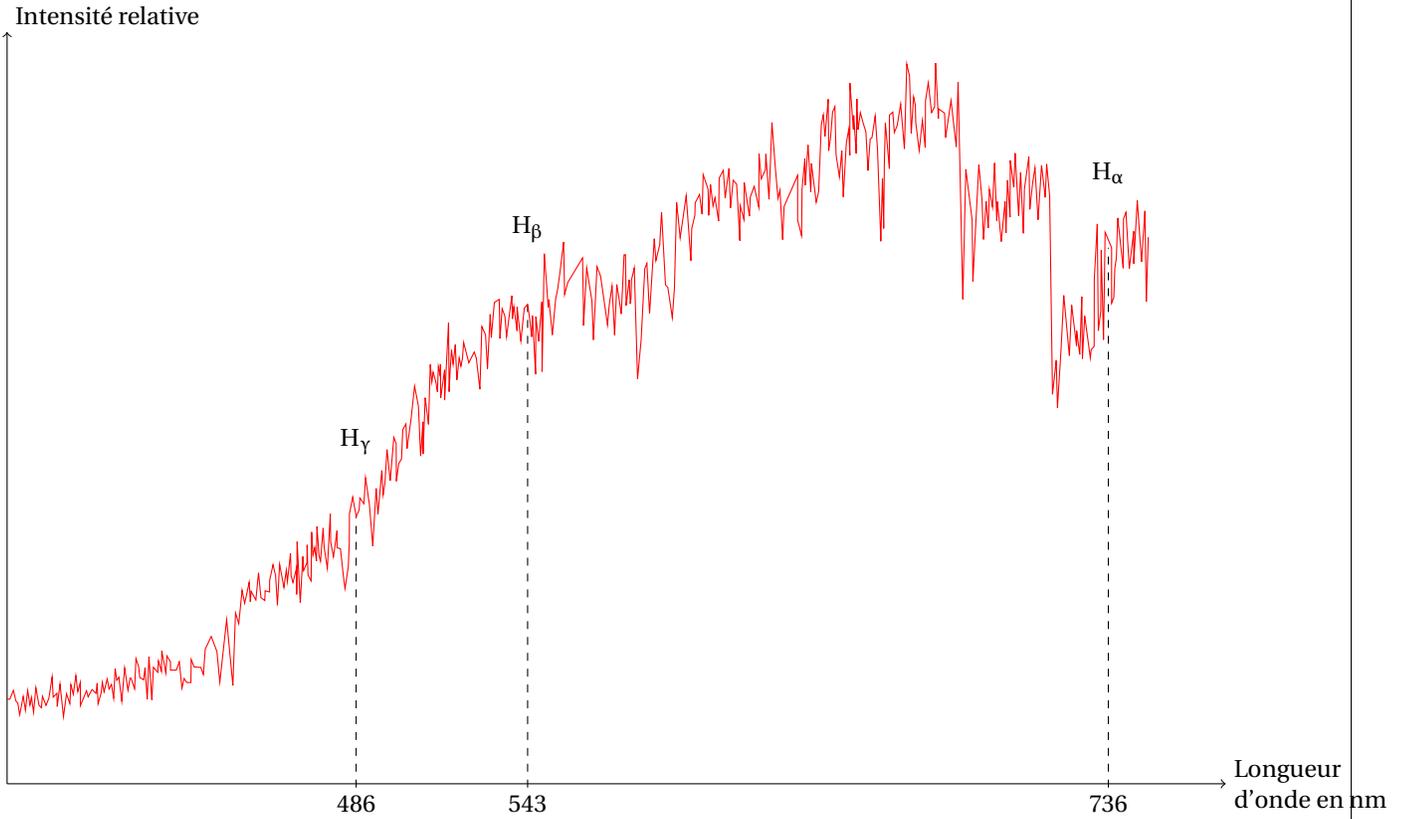


Document 3 : Spectre de la galaxie TGS153Z170 avec indexage des raies.



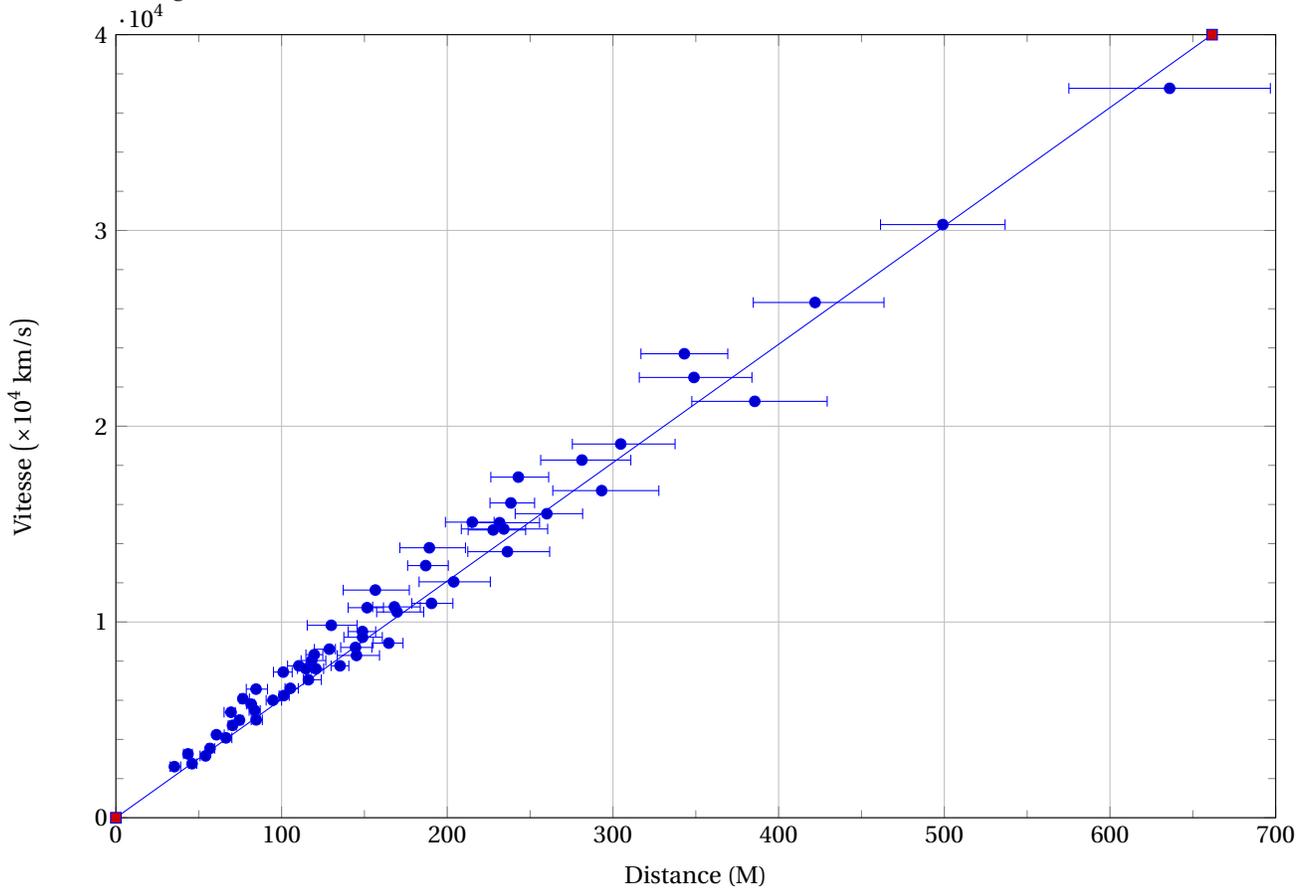
M. COLLESS et coll. *The 2dF Galaxy Redshift Survey : spectra and redshifts*, Mon. Not. R. Astron. Soc. 328, 1039D1063 (2001).

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



M. COLLESS et coll. *The 2dF Galaxy Redshift Survey : spectra and redshifts*, Mon. Not. R. Astron. Soc. 328, 1039D1063 (2001).

Document 5 : Diagramme de HUBBLE.



R. P. KIRSHNER, PNAS 2004 ;101:8-13.

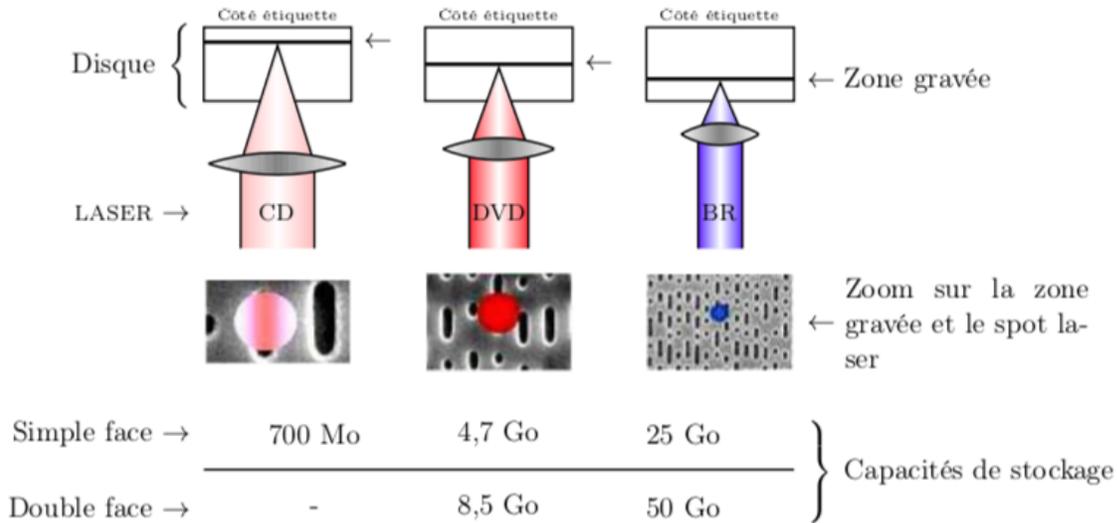
► Exercice 4

Saviez-vous que si vous regardez des DVD, naviguez sur le web, scannez les codes barre et si certains peuvent [suite à une opération] se passer de leurs lunettes, c'est grâce à l'invention du LASER, il y a 50 ans !

Intéressons-nous aux lecteurs CD et DVD qui ont envahi notre quotidien. La nouvelle génération de lecteurs comporte un laser bleu (le blu-ray) dont la technologie utilise une diode laser fonctionnant à une longueur d'onde $\lambda_B = 405 \text{ nm}$ d'une couleur bleue (en fait violacée) pour lire et écrire les données. Les CD et les DVD conventionnels utilisent respectivement des lasers infrarouges et rouges. Les disques Blu-ray fonctionnent d'une manière similaire à celle des CD et des DVD.

Le laser d'un lecteur blu-ray émet une lumière de longueur d'onde différente de celles des systèmes CD ou DVD, ce qui permet de stocker plus de données sur un disque de même taille (12 cm de diamètre), la taille minimale du point sur lequel le laser grave l'information étant limitée par la diffraction.

Pour stocker davantage d'informations sur un disque, les scientifiques travaillent sur la mise au point d'un laser ultra violet.

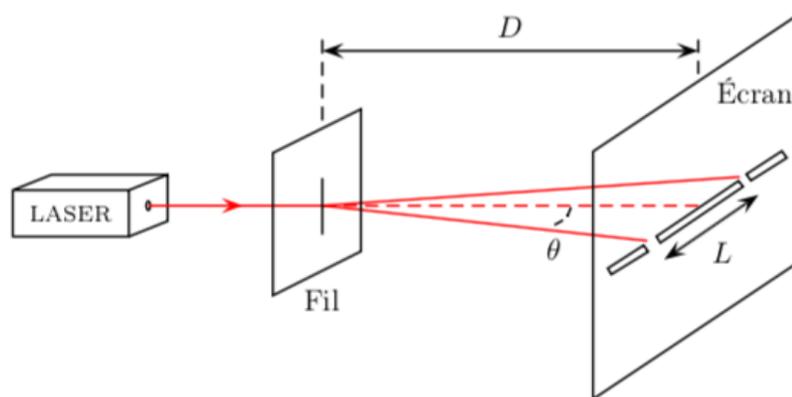


1. A propos du texte

- Quel est le nom du phénomène physique responsable de l'irisation d'un CD ou d'un DVD éclairé en lumière blanche ?
- Calculer la valeur de la fréquence ν_B de la radiation utilisée dans la technologie blu-ray.
Donnée : Célérité de la lumière dans le vide et dans l'air : $c = 3,008 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
- Comparer la longueur d'onde du laser blu-ray à celle des systèmes CD ou DVD.

2. Diffraction

On veut retrouver expérimentalement la longueur d'onde λ_D de la radiation monochromatique d'un lecteur DVD. On utilise pour cela le montage suivant, a étant le diamètre du fil, θ le demi-écart angulaire.



1. Expression de λ

- Etablir la relation entre θ , L (largeur de la tache centrale de diffraction) et D (distance entre le fil et l'écran). On supposera θ suffisamment petit pour considérer $\tan \theta \approx \theta$ avec θ en radian.
- Donner la relation entre θ , λ_D et a , en indiquant l'unité de chaque grandeur.
- En déduire la relation :

$$\lambda_D = \frac{La}{2D}$$

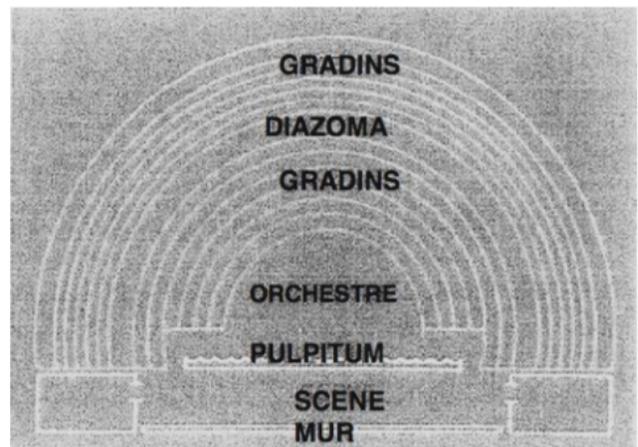
2. Détermination de la longueur d'onde λ_D de la radiation d'un laser de lecteur DVD.

Pour la figure de diffraction obtenue avec un laser « DVD », on mesure $L = 4,8$ cm.

On remplace alors le laser « DVD » par le laser utilisé dans le lecteur blu-ray, sans modifier le reste du montage. On obtient une tache de diffraction de largeur $L' = 3,0$ cm.

A partir de ces deux expériences, calculer la valeur de la longueur d'onde λ_D de la radiation monochromatique d'un lecteur DVD.

► Exercice 5



Le théâtre antique d'Aspendos (50 km d'Antalya, en Turquie) est le mieux conservé de toute l'Asie Mineure. Construit au II^{ème} siècle après J.C., sa célébrité est due à son excellent état de conservation, mais aussi à son acoustique remarquable qui, comme l'ensemble des théâtres antiques, révèle la réussite de son architecte. Les spectateurs assis au dernier rang de ce théâtre, doté d'une capacité d'accueil de 15 000 personnes, peuvent en effet entendre très distinctement les paroles d'un acteur situé sur la scène à une distance de plusieurs dizaines de mètres!

Cet exercice a pour objectif de comprendre comment les architectes ont réussi, par ce type de construction, à obtenir de tels résultats acoustiques.

1. Généralités

- Le son est une onde mécanique progressive. Définir les termes soulignés.
- Dans un espace à combien de dimensions se propage une onde sonore ?

2. Utilisation d'un émetteur ultrasonore

Un émetteur ultrasonore est utilisé pour réaliser cette simulation. On rappelle les informations suivantes :

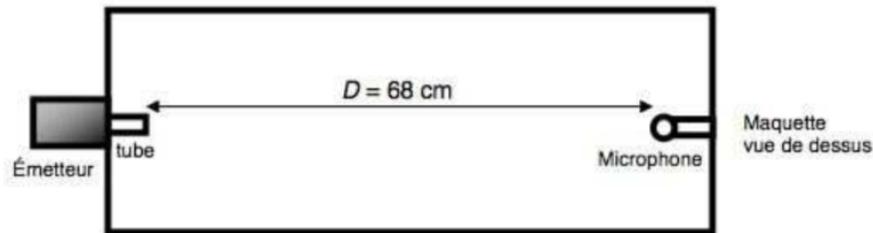
- les sons audibles par l'oreille ont une fréquence f comprise entre 20 Hz et 20 kHz ;
- lorsque la fréquence f est supérieure à 20 kHz, on parle d'ultrasons ;
- ordre de grandeur de la célérité des sons émis par la voix et des ultrasons dans l'air dans les conditions habituelles :
 $v = 340 \text{ m.s}^{-1}$.

- Définir en une phrase ce qu'est la longueur d'onde λ .
- Donner la relation existant entre la longueur d'onde λ , la célérité v et la fréquence f d'une onde.
- Déduire, de ce qui précède, que la longueur d'onde des ultrasons est inférieure à celle des sons moyens de la voix. Justifier précisément la réponse.
- Justifier alors l'intérêt d'utiliser ce type d'ondes dans le cadre d'une simulation avec une maquette.
- Définir ce qu'on appelle un milieu dispersif.
- L'air est-il un milieu dispersif pour les ondes sonores et ultrasonores ? Justifier la réponse.

3. Influence du plafond

Les salles de concert couvertes n'ont pas la même acoustique que les théâtres en plein air. On se propose dans cette partie d'étudier l'impact d'un plafond recouvrant totalement la salle de concert sur l'acoustique de cette salle. Pour cela on utilise une maquette rectangulaire dont le couvercle est amovible.

Une des parois latérales est traversée par un tube, relié comme précédemment à un émetteur ultrasonore. La longueur d'onde du son émis est là encore réduite dans le rapport indiqué par l'échelle de la maquette. Sur la paroi opposée est disposé un microphone :



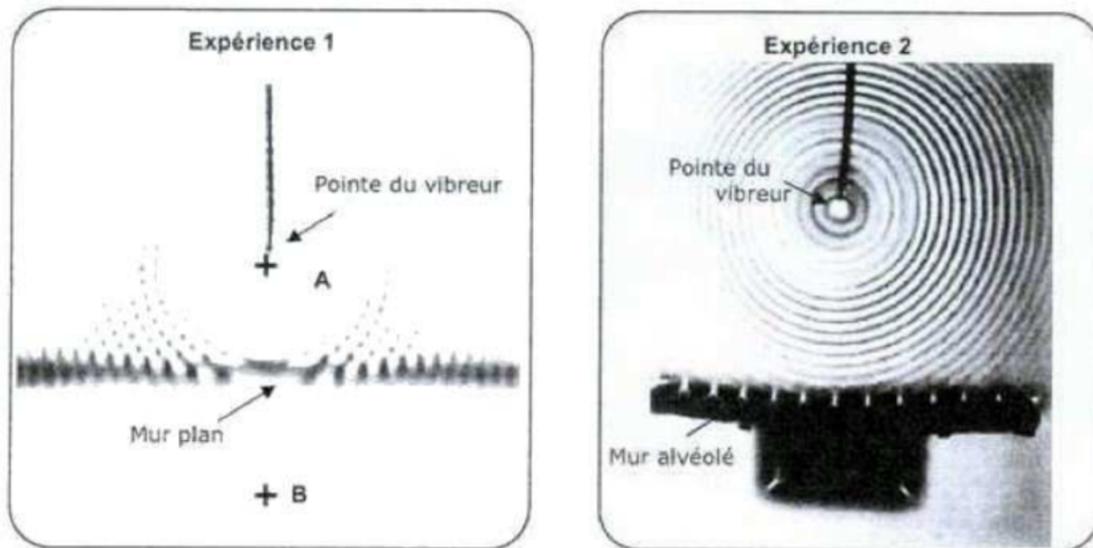
L'expérience consiste à envoyer pendant un temps très court (1 ms), un top d'émission (au niveau de l'extrémité du tube). Un microphone est situé à une distance D du tube.

Un oscilloscope permet de recevoir d'abord l'émission arrivant directement, puis tous les echos successifs. Le TOP est reçu avec un retard τ par rapport au TOP émis. On réalise 3 expériences :

- Expérience ① avec le couvercle ;
- Expérience ② avec un couvercle recouvert de moquette ;
- Expérience ③ sans couvercle.

Les résultats obtenus sont présentés en annexe.

- (a) A l'aide des données de l'énoncé (la célérité v des ultrasons dans l'air n'ayant pas changé), évaluer le retard τ entre l'émission et la réception du top par le microphone.
- (b) Comparer les résultats des trois expériences en termes d'amortissement de l'écho.
- (c) Parmi les trois expériences, quelle est la situation la plus intéressante d'un point de vue acoustique ? Justifier la réponse.
- (d) Justifier alors que le plafond des salles de concert est toujours recouvert de dalles alvéolées constituées d'un matériau très absorbant.



4. Règle du mur : simulation à l'aide d'une cuve à ondes

La propagation des ondes et leur comportement quand elles rencontrent une surface réfléchissante peuvent être assez bien matérialisés au moyen d'une cuve à ondes.

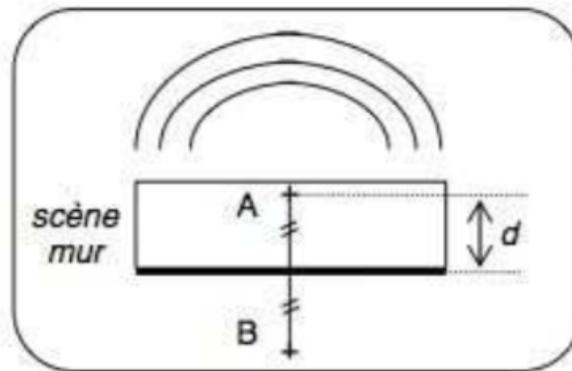
Un vibreur muni d'une pointe, frappe verticalement, avec une fréquence connue, la surface de l'eau contenue dans une cuve à ondes.

Expérience 1 : On réalise l'expérience en plaçant un mur plan. On constate la présence d'échos. Tout se passe comme s'il y avait une deuxième source.

Expérience 2 : On utilise cette fois-ci un mur alvéolé.

On obtient les images reproduites ensuite.

- Les ondes créées par le vibreur à la surface de l'eau sont-elles longitudinales ou bien transversales ? Justifier.
- Dans le cas de l'expérience 1, l'onde émise au point A rencontre le mur plan ce qui génère une onde réfléchie qui semble provenir de B, symétrique de A par rapport au plan formé par le mur. Celle-ci se superpose alors à l'onde incidente issue de A. En comparant les images de deux expériences, expliquez en quoi un mur plan est gênant pour la réception sonore dans les gradins.
- A l'aide du cliché en tenant compte de l'échelle du document, déterminer, le plus précisément possible, la valeur de la longueur d'onde λ en expliquant brièvement la méthode employée.
- En analysant les expériences 1 et 2, justifier la forme du pulpitum ainsi que la présence de niches et de colonnes dans le mur des théâtres antiques.
- Les ondes réfléchies par le mur ne pouvant être totalement évitées, l'essentiel est que tous ces échos n'arrivent pas avec un trop grand retard. En effet, ce sont les consonnes qui forment l'armature de la parole. Leur durée d'émission est très courte ce l'ordre de 1/25e de seconde. Pour qu'elles ne se juxtaposent pas, il faut que leur écho arrive avant la fin de leur émission.



Si l'orateur est placé en A, à une distance d du mur formant le fond de la scène, exprimer la distance AB en fonction de d .

- En déduire l'expression en fonction de d et de v du retard Δt entre l'onde sonore émise par l'orateur au point A et l'onde réfléchie par le mur, qui semble issue du point B.
- Déterminer la profondeur maximale d_{\max} de la scène qui permet à la parole de rester nettement compréhensible. Pour faciliter le calcul numérique, on considérera une célérité des ondes sonores égale à $350 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

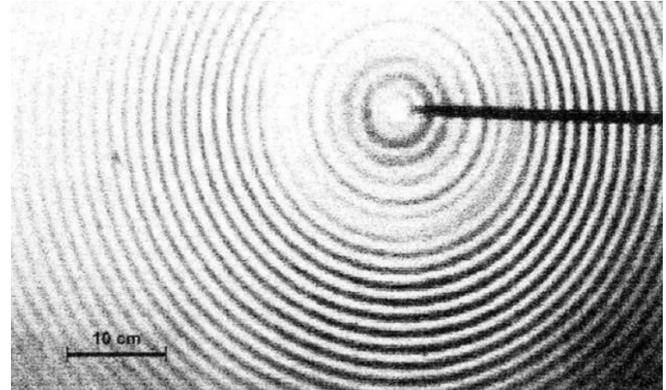
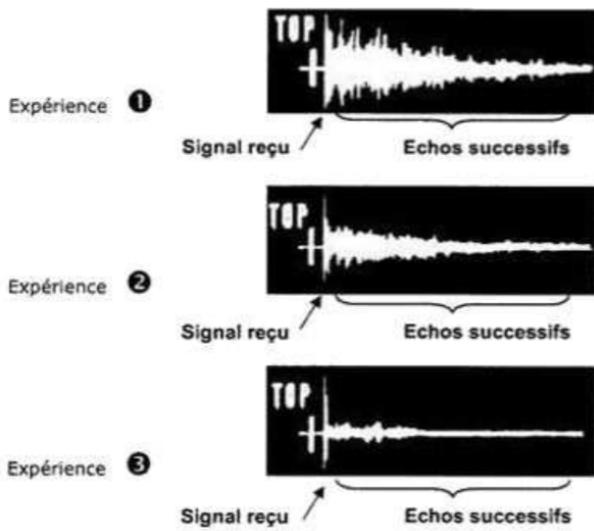
5. Conclusion (sans questions)

Une condition importante est aussi que les rayons n'arrivent pas affaiblis. Si les spectateurs étaient disposés dans un plan horizontal, leurs rangées successives absorberaient les ondes sonores et une faible énergie arriverait au dernier rang. Une inclinaison des gradins de 30° environ et croissante vers le haut empêche cette absorption.

Toutes ces remarques imposent les conditions suivantes :

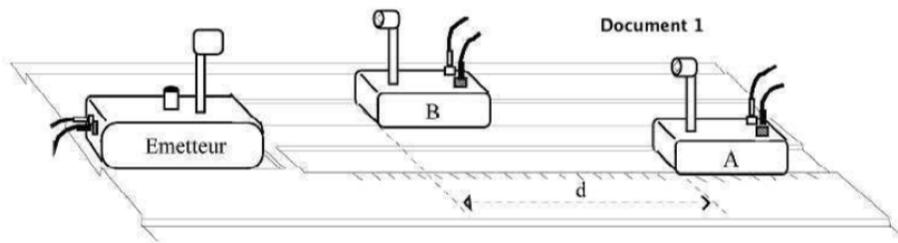
- Orchestre réfléchissant et bien dégagé ;
- Hauteur faible de la scène et profondeur généralement inférieure à 6,50 m ;
- Inclinaison moyenne des gradins de 30° environ.

Ainsi, la bonne audition en ces points n'avait pas échappé aux architectes de l'époque, et il est remarquable que tout cela a été fait sans l'emploi des moyens modernes d'investigation (microphones, haut-parleurs, oscilloscopes...), mais uniquement en utilisant l'oreille et la géométrie.

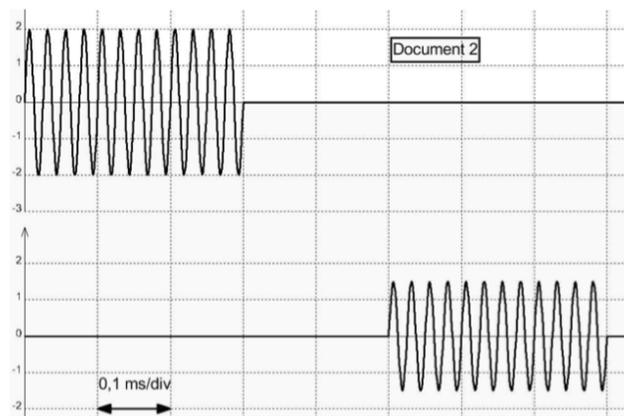


► Exercice 6

Un émetteur produit dans l'air des ultrasons par salves. Face à lui sont placés deux récepteurs distants de la distance $d = 17,1$ cm l'un de l'autre (voir ci-dessous). Les salves ultrasonores reçues par ces récepteurs sont transformées en signaux électriques visualisés sur un oscilloscope.



Le coefficient de balayage (ou base de temps) des deux voies de l'oscilloscope est de $0,10$ ms/div. Les oscillogrammes sont ceux des tensions produites par les deux récepteurs après réception d'une salve ultrasonore émise par l'émetteur.



1. Quel est le retard τ du récepteur 2 par rapport au récepteur 1 ?
2. Calculer la célérité v , en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, des ultrasons dans l'air.
3. Si on avait sélectionné le calibre de $0,5$ ms/div, quel serait le décalage (exprimés en divisions) entre les deux oscillogrammes ?
4. Si la distance séparant les deux récepteurs était $d = 9,0$ cm, de combien de divisions seraient décalés les deux oscillogrammes ? Le coefficient de balayage reste à de $0,10$ ms/div.
5. A l'aide des oscillogrammes, déterminer la période T puis la fréquence f des ondes ultrasonores émises.