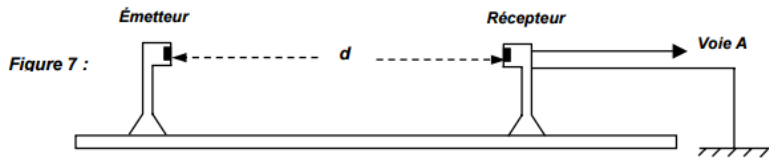


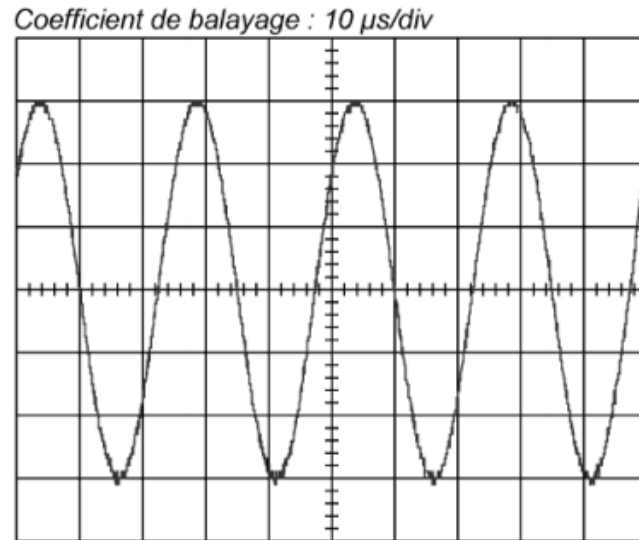
ONDES MECANQUES

Exercice 1

On place un émetteur à ultrasons à une distance d d'un récepteur.

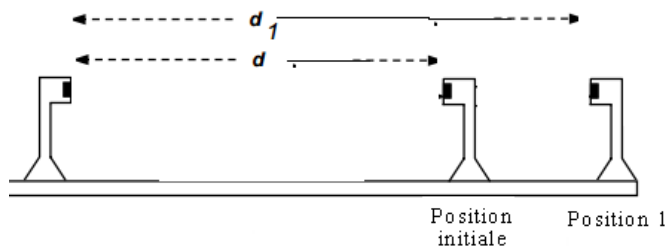


On obtient l'oscillogramme suivant :



Données : $v_{\text{son}} = 340 \text{ m/s}$

- 1) Définir une onde longitudinale.
- 2) Déterminer la fréquence de l'onde ultrasonore et sa longueur d'onde.
- 3) On place le récepteur à une distance $d_1 = 1,5 \text{ m}$ de l'émetteur. On mesure un retard de 4 ms . A quelle distance d se situe initialement le récepteur de l'émetteur.



Exercice 2

On se propose d'étudier le fonctionnement d'un sondeur acoustique.

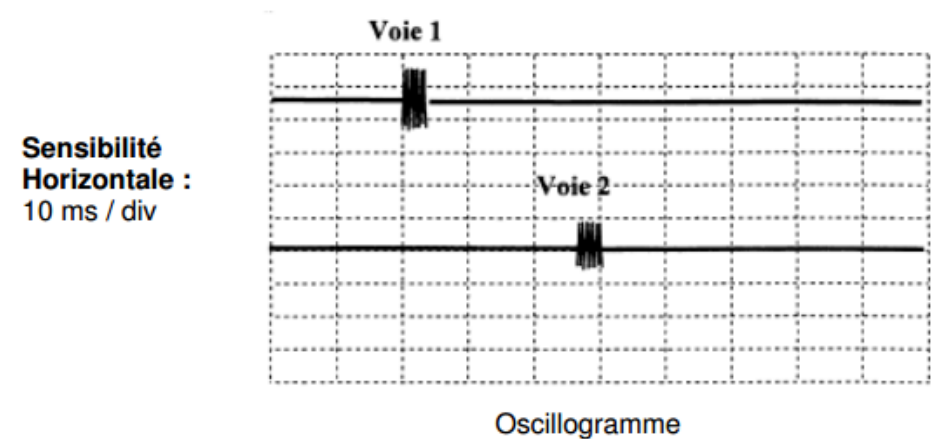
Document 1 :

Un sondeur acoustique classique est composé d'une sonde comportant un émetteur et un récepteur d'onde ultrasonore de fréquence $f = 200 \text{ kHz}$ et d'un boîtier de contrôle ayant un écran qui visualise le relief des fonds sous-marins. La sonde envoie des salves d'ultrasons verticalement en direction du fond à des intervalles de temps réguliers ; cette onde ultrasonore se déplace dans l'eau à une vitesse constante v_{eau} . Quand elle rencontre un obstacle, une partie de l'onde est réfléchiée et renvoyée vers la source. La détermination du retard entre l'émission et la réception du signal permet de calculer la profondeur p .



Document 2 :

Voie 1 : onde émise ; Voie 2 : onde réfléchiée.



Quelle est la profondeur du fond marin ?

Données : $v_{\text{eau}} = 1500 \text{ m/s}$

Exercice 3 (petites applications)

Partie 1 :

Une onde se déplace à la célérité $v = 4,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ dans un milieu.

- ♦ Calculer avec quel retard elle arrivera à 240 cm de sa source.

Partie 2 :

- ♦ Donner l'expression de la célérité d'une onde qui parcourt la distance $d = 140 \text{ cm}$ pendant la durée $\Delta t = 3,2 \mu\text{s}$ et calculer sa valeur.

Partie 3 :

- ♦ Calculer la distance parcourue en 34 min par une onde si sa célérité est $v = 2,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Partie 4 :

Une onde sinusoïdale a pour longueur d'onde $\lambda = 3,0 \text{ mm}$. Sa célérité est $v = 2,5 \times 10^{-6} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

- ♦ Calculer sa période puis sa fréquence.

Partie 5 :

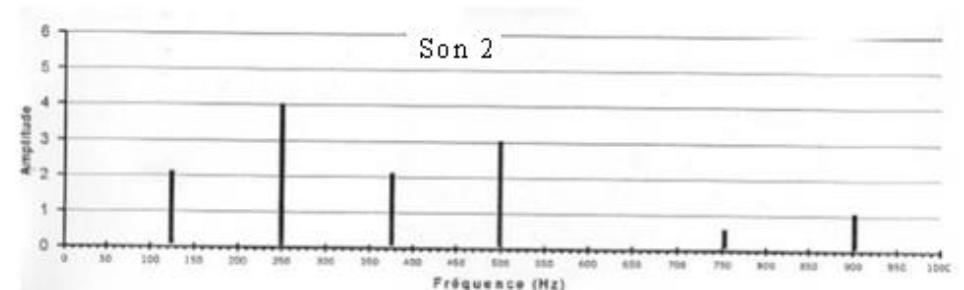
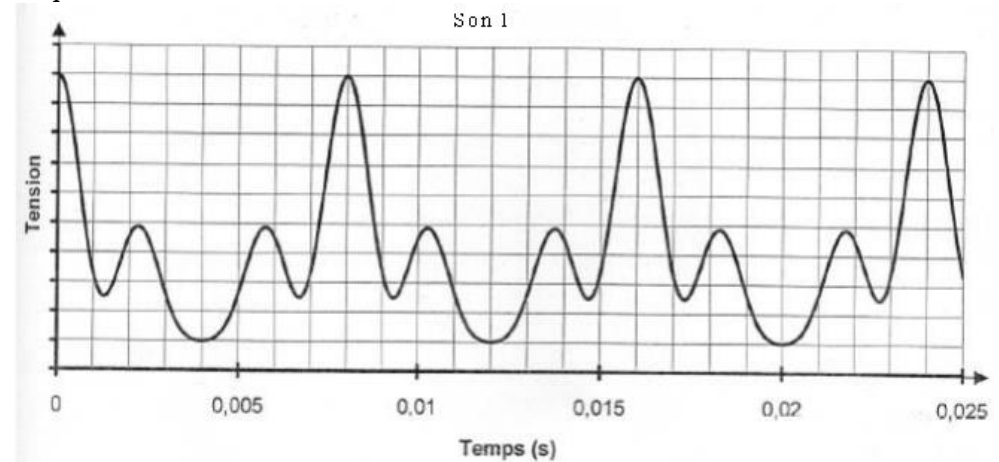
Une onde sonore sinusoïdale a pour fréquence $f = 980 \text{ Hz}$. Sa célérité est $v = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

- ♦ Calculer sa longueur d'onde.

Exercice 4

PARTIE A :

A l'aide d'un logiciel d'analyse spectrale, on obtient les spectres en fréquences de deux sons :



- 1) Les deux sons sont-ils des sons purs ou complexes ? Justifier.
- 2) Quelle est la hauteur du son 1 ? Quelle est la fréquence de la deuxième harmonique du son 1 ?
- 3) Le son 1 possède une harmonique de fréquence 500 Hz. Quelle est le rang de cette harmonique ?
- 4) Les sons 1 et 2 sont-ils identiques ? Justifier.

PARTIE B :

Le son 2 est émis par une source sonore dont l'intensité est le double du son 1. Lorsque les deux sons sont émis en même temps, le niveau sonore est de 60 dB.

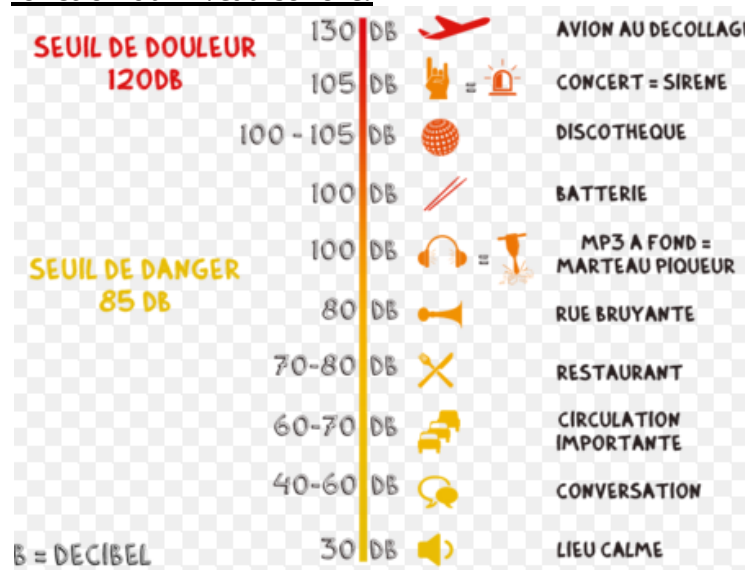
Document 1 :

On rappelle que l'intensité d'un son notée I est caractérisée par son niveau sonore noté L

$$L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

$$I_0 = 1,0 \cdot 10^{-12} \text{ W.m}^{-2} \quad L \text{ est en dB}$$

Document 2 : Echelle de dangerosité du son en fonction du niveau sonore.



5) L'écoute du son 1 seul est-elle dangereuse pour la santé ?

6) Quelle est la puissance du son 1 capté par un récepteur de surface 100 cm^2 ?

Exercice 5

Dans cet exercice on cherche à évaluer le niveau sonore auquel peut être exposé un ouvrier sur un chantier de construction et on présente une technologie innovante de lutte contre le bruit.

1. Technologie « ANR ».

- 1.1. Nommer le phénomène ondulatoire utilisé par la technologie « ANR » pour réduire le bruit reçu.
- 1.2. Expliquer théoriquement et à l'aide de schémas simples comment ce phénomène peut annuler la perception d'une onde progressive sinusoïdale.

2. On considère un bruit extérieur, reçu par une personne sur un chantier, caractérisé par une intensité sonore $I_1 = 1,0 \times 10^{-3} \text{ W.m}^{-2}$ à la fréquence de 500 Hz.

- 2.1. Calculer le niveau sonore L_1 du son reçu par cette personne (sans casque).
- 2.2. En déduire le niveau sonore L_2 du son à travers un casque de protection « NoiseMaster® », puis calculer l'intensité sonore I_2 correspondante.

3. Sur un chantier de travaux publics, un ouvrier (sans casque) est placé à une distance $R = 1,0 \text{ m}$ d'un engin émettant un bruit de fréquence moyenne 125 Hz avec une puissance sonore $P = 15 \text{ mW}$.

- 3.1. Déterminer, en justifiant, si le bruit perçu par cet ouvrier présente un danger pour son système auditif.
- 3.2. L'ouvrier met son casque avec protection « NoiseMaster® ». Quel est alors le niveau sonore ressenti ? Le danger persiste-t-il ?
- 3.3. L'ouvrier retire son casque et s'éloigne pour se positionner à 10 m de l'engin. Cette opération est-elle plus efficace que celle décrite en 3.2. en termes de protection contre le bruit ?

Document 1 : Quelques données.

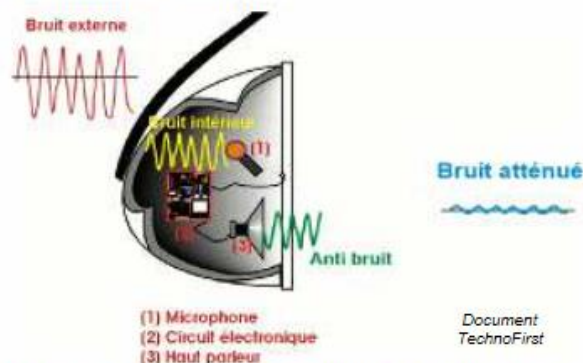
- Relation entre le niveau sonore L (dB) et intensité sonore I (W.m^{-2}) : $L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$ avec $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$, intensité sonore de référence.
- L'intensité sonore I à une distance R d'une source émettant dans toutes les directions est reliée à la puissance sonore P de cette source par la relation $I = \frac{P}{S}$ où S représente la surface de la sphère de rayon R ($S = 4\pi R^2$).

Document 2 : Échelle de niveaux sonores.

Niveau sonore (dB)	0	60	85	90	120
Effet sur l'auditeur	Limite d'audibilité	Bruit gênant	Seuil de risque	Seuil de danger	Seuil de douleur

Document 3 : Casque actif anti bruit.

La société TechnoFirst® a développé la gamme de casques NoiseMaster® équipés de la technologie ANR® (Active Noise Reduction®).



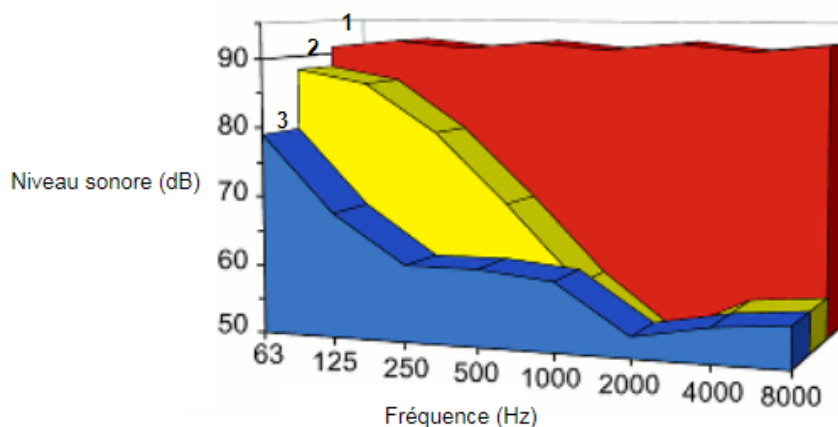
La technologie ANR® repose sur un système électronique miniaturisé (2) placé à l'intérieur de la coquille du casque. Ce système est connecté d'une part à un petit microphone (1) qui capte le bruit ambiant et d'autre part à un petit haut-parleur (3) qui génère le « contre bruit » à proximité de l'oreille de façon à atténuer considérablement le bruit qui arrive au tympan. Ce casque nécessite l'utilisation de piles électriques.

Source : www.technofirst.com

Document 4 : Les différents types de casques antibruit.

Il existe deux types de casques antibruit : les casques passifs et les casques actifs.

Le graphe ci-dessous donne les atténuations des niveaux sonores apportés par ces deux types de casques. Pour un niveau sonore de bruit donné (courbe 1), la courbe 2 donne le niveau sonore après atténuation apportée par un casque passif et la courbe 3 celle apportée par un casque actif.



Exercice 6 :

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

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.

À partir de ces mesures et des données, il est possible de calculer l'écart angulaire θ du faisceau diffracté (voir figure 1 ci-après).

Figure 1
(Vue du dessus)

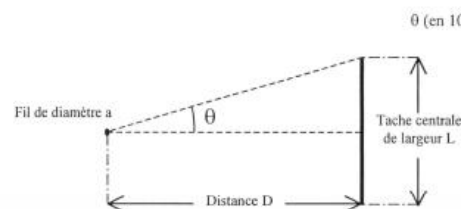
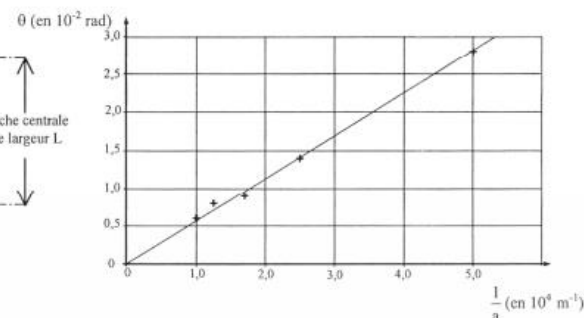


Figure 2



2.1. 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.

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

2.3. On trace la courbe $\theta = f(\frac{1}{a})$. 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 2.2.

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

2.5. 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 μm ; 560nm

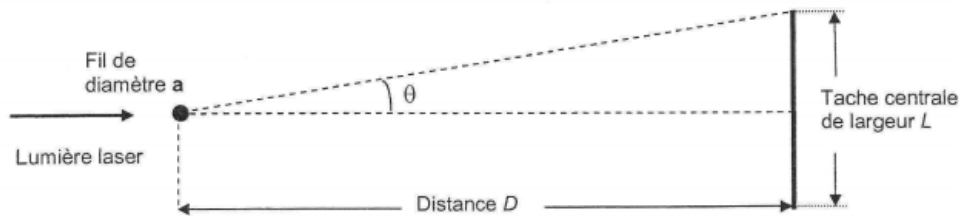
2.6. Si l'on envisageait de réaliser la même étude expérimentale en utilisant une lumière blanche, on observerait des franges irisées.

En utilisant la réponse donnée à la question 2.2., justifier succinctement l'aspect « irisé » de la figure observée.

Exercice 7

Ou souhaite déterminer le diamètre d'un fil. Pour cela, on réalise une expérience de diffraction :

Vue de dessus



Données :

$$L = 1,3 \pm 0,1 \text{ cm}$$

$$D = 2,0 \pm 0,1 \text{ m}$$

Le laser a une longueur d'onde égale à $633,0 \pm 0,1 \text{ nm}$.

Calcul de l'incertitude :

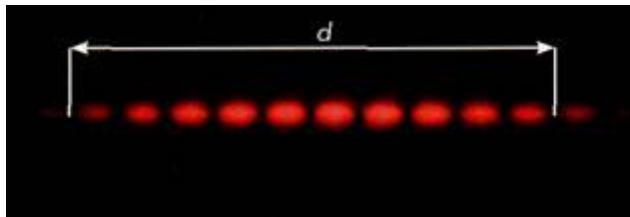
$$\frac{U(a)}{a} = \sqrt{\left(\frac{U(L)}{L}\right)^2 + \left(\frac{U(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{U(\lambda)}{\lambda}\right)^2}$$

Déterminer un encadrement du diamètre du fil a.

Exercice 8

Deux fentes étroites et parallèles, séparées par une distance $a=0,20 \text{ mm}$, sont éclairées par un faisceau de lumière monochromatique de longueur d'onde λ , dans le vide. On observe sur un écran, placé à la distance $D=1,00 \text{ m}$ du plan de ces fentes, une alternance de franges brillantes et sombres. La distance séparant les milieux de deux franges brillantes (ou sombres) consécutives est appelée « interfrange » et notée i .

1) Afin de déterminer l'interfrange, on mesure la distance d comme indiqué sur le schéma ci-dessous. On obtient $d=30 \text{ mm}$. Calculer l'interfrange i .



2) a) On sait que $\delta = \frac{bx}{D}$ avec x la position d'une tache lumineuse. Déterminer i en fonction de b , D et λ

b) En déduire la longueur d'onde λ de la lumière.

3) Pourquoi a-t-on mesuré plusieurs interfranges ?

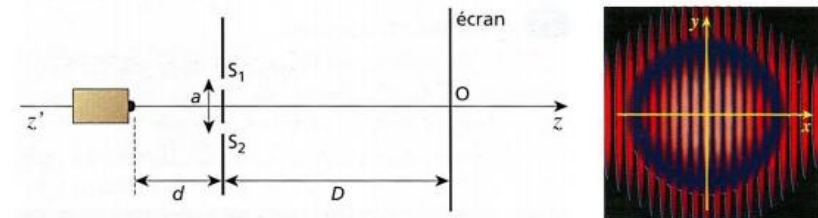
Exercice 9

Voulant observer des interférences, Julien perce un petit trou avec la pointe de son compas dans un carton. En voulant l'agrandir, il se trompe et perce un deuxième trou juste à côté du premier.

Après avoir éclairé le carton avec une source laser rouge, il observe des raies lumineuses et sombres sur un écran placé loin du carton : il vient de réaliser une expérience d'interférences (cf. figure ci-dessous) !

Le dispositif de Julien comprend donc une plaque percée de deux trous distants de $a = 500 \mu\text{m}$.

La source émettrice S est un laser hélium-néon, de longueur d'onde $\lambda = 633 \text{ nm}$. La plaque est placée à une distance $d = 20 \text{ cm}$ de la source, et l'écran à une distance $D = 4,0 \text{ m}$ de la plaque. Les deux trous S_1 et S_2 de même diamètre sont placés à égale distance de la source et se comportent comme deux sources synchrones.



1. Indiquer les conditions pour que deux sources émettrices d'ondes S_1 et S_2 puissent interférer.
2. Au point O, la frange est-elle brillante ou sombre ? Justifier votre réponse par un calcul.
3. Les franges brillantes sont équidistantes. La distance qui les sépare est appelée interfrange et notée i . On cherche à connaître les paramètres dont peut dépendre i (nature de la source, distances a , d , D) et à en donner une expression parmi les propositions suivantes :

$$\textcircled{1} \frac{\lambda D}{a} \quad \textcircled{2} \lambda D^2 \quad \textcircled{3} \frac{Da}{\lambda} \quad \textcircled{4} \frac{\lambda a}{D} \quad \textcircled{5} \frac{\lambda d}{a}$$

- a. Par une analyse dimensionnelle, éliminer l'une des propositions.
- b. En réalisant plusieurs expériences, où l'on fait varier un seul paramètre en laissant les autres identiques, on effectue les constatations suivantes :
 - L'utilisation d'un laser vert (à la place du laser hélium-néon rouge) montre que l'interfrange diminue.
 - Si on éloigne l'écran, l'interfrange augmente.
 - La position du laser S sur l'axe zz' ne modifie pas l'interfrange.
 - Les deux trous étant rapprochés de l'axe, les franges s'écartent les unes des autres.

Pour chacun des 4 points précédents :

- algébriser la constatation associée,
- et indiquer les relations qui ne sont pas compatibles.

En déduire l'expression correcte de l'interfrange i .

4. Calculer la valeur de i obtenue avec le laser hélium-néon à partir de l'expression retenue.

Exercice 10 :

À partir du début des années 80, le disque audio (CD) a supplanté les vinyles en raison d'une grande facilité d'utilisation et de la quantité d'information stockable. Nous allons, dans un premier temps, étudier un Compact-Disc, puis nous nous intéresserons à la technologie Blu-ray.

Les documents nécessaires à la résolution sont regroupés en fin d'énoncé.

1. Le Compact-Disc.

1.1 Montrer que la surface « utile » S du CD, correspondant à la surface grisée (document 1), s'exprime par : $S = \pi(R_2^2 - R_1^2)$.

1.2 On peut estimer la longueur L de la piste par l'expression $L \approx \frac{S}{a}$ où a est le pas de la spirale. Évaluer la longueur de la piste de ce CD.

1.3 En déduire la durée théorique totale de lecture du CD en minutes.

1.4 Lorsque le spot laser se réfléchit autour d'une alvéole, il y a interférences entre la partie de l'onde qui se réfléchit sur le plat et celle qui se réfléchit sur le creux.

1.4.1 Déterminer la différence de parcours entre l'onde qui se réfléchit sur un creux et celle qui se réfléchit sur un plat.

1.4.2 Ce parcours ayant lieu dans le polycarbonate, déterminer le retard de l'onde réfléchie dans un creux par rapport à l'onde réfléchie sur un plat au niveau du capteur.

1.4.3 Comparer ce retard à la période de l'onde émise par le laser.

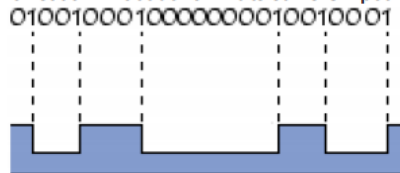
1.4.4 En déduire le type d'interférences (constructives ou destructives) entre l'onde réfléchie par un creux et celle réfléchie par un plat au niveau du capteur. La réponse s'appuiera sur un schéma.

1.4.5 Dans ce cas, le signal reçu par le capteur est-il maximal ou minimal ? Commenter.

1.5 Déterminer la capacité totale théorique d'information (en Mo) que l'on peut enregistrer sur ce CD.

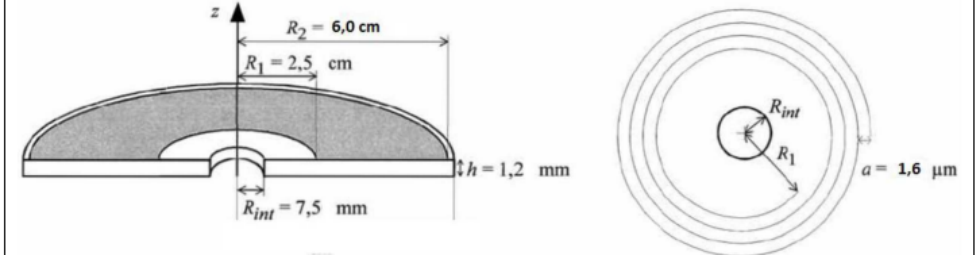
Document 4 : Codage de l'information.

La taille d'un bit sur le CD correspond à la distance parcourue par le faisceau lumineux en 231,4 ns (nanosecondes). Le passage d'un creux à un plat ou d'un plat à un creux équivaut à 1. Pour le stockage d'information sur un CD, on utilise le standard EFM (Eight-to-Fourteen Modulation). Chaque octet d'information est converti en des mots codés de 14 bits de longueur auxquels s'ajoutent 3 bits supplémentaires de synchronisation. Il faut donc 17 bits sur le CD pour enregistrer un octet.



Document 1 : Structure d'un CD.

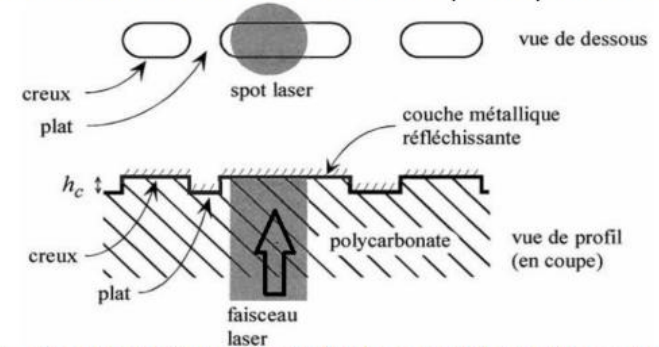
Sur un Compact-Disc, les informations sont stockées sous forme de « creux » et de « plats » le long d'une piste métallique réfléchissante en forme de spirale. Celle-ci commence à une distance $R_1 = 2,5$ cm de l'axe du CD et se termine à une distance $R_2 = 6,0$ cm. La portion grisée correspond à la partie du CD occupée par la piste métallique. Un extrait de la piste est représenté à côté. Le pas de la spirale est $a = 1,6$ μm .



Lors de la rotation du disque, les structures porteuses de l'information défilent devant un système optique à la vitesse linéaire constante $V = 1,2$ m.s^{-1} .

Document 2 : Principe optique de lecture d'un CD.

La piste physique est constituée d'alvéoles d'une largeur de $0,67$ μm , d'une profondeur $h_c = 0,12$ μm et de longueur variable. On nomme « creux » le fond d'une alvéole et « plat » l'espace entre deux alvéoles.



La tête de lecture est composée d'un laser émettant un faisceau lumineux et d'une cellule photoélectrique chargée de capter le faisceau réfléchi. Le laser utilisé pour lire les CD a une longueur d'onde $\lambda_0 = 780$ nm dans l'air et $\lambda = 503$ nm dans le polycarbonate.

La profondeur h_c des creux est liée à la longueur d'onde λ du laser dans le polycarbonate par : $2h_c = \frac{\lambda}{2}$

La vitesse de propagation de la lumière émise par le laser dans le polycarbonate vaut $1,93 \times 10^8$ m.s^{-1} .

Exercice 11 :

Cet exercice propose d'étudier le principe de l'effet Doppler sonore.

Un véhicule muni d'une sirène est immobile.

La sirène retentit et émet un son de fréquence $f = 680$ Hz. Le son émis à la date $t = 0$ se propage dans l'air à la vitesse $c = 340 \text{ m.s}^{-1}$ à partir de la source S. On note λ la longueur d'onde correspondante.

Le véhicule se rapproche d'un observateur immobile à la vitesse v inférieure à c .

1) En quoi consiste l'effet Doppler ?

2) Montrer que :

$$f' = f \cdot \frac{c}{c - v} \quad (f' \text{ étant la fréquence sonore perçue par l'observateur}).$$

3) Le son perçu par l'observateur est-il plus aigu ou plus grave que le son émis par la source immobile ?

3. Exprimer, puis estimer en km.h^{-1} , en arrondissant les valeurs à des nombres entiers, la vitesse du véhicule qui se rapproche de l'observateur sachant que ce dernier perçoit alors un son de fréquence $f' = 716$ Hz.

Exercice 12

Etude d'un cinémomètre Doppler

Ce type d'appareil utilise une onde électromagnétique monochromatique. Il comprend essentiellement : un émetteur qui génère une onde de fréquence $f_0 = 24,125$ GHz, un récepteur qui reçoit cette onde après réflexion sur la "cible" et une chaîne de traitement électronique qui compare le signal émis et le signal reçu.

Si la "cible" visée a une vitesse non nulle par rapport au cinémomètre, l'appareil produit un signal périodique dont la fréquence, appelée « *fréquence Doppler* », est proportionnelle à la vitesse de la "cible".

Données :

- Relation, en première approximation, entre la « fréquence Doppler » et la vitesse de la "cible" :

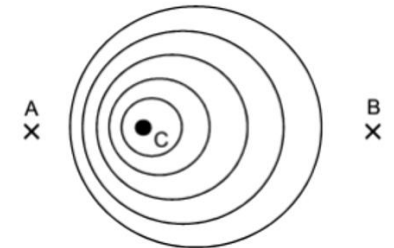
$$f_D = \frac{2 \cdot f_0 \cdot v_r}{c} \quad \begin{array}{l} f_D : \text{fréquence Doppler} \\ f_0 : \text{fréquence de l'émetteur} \\ v_r : \text{vitesse relative à la "cible" par rapport à l'émetteur} \\ c : \text{vitesse de la lumière dans le vide} \end{array}$$

- Célérité des ondes électromagnétiques dans le vide ou dans l'air :
 $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

1.1. Les cinémomètres Doppler utilisent l'effet Doppler. Expliquer en quelques lignes en quoi consiste ce phénomène.

Un cinémomètre Doppler immobile est utilisé pour mesurer la vitesse d'une "cible" qui s'approche de lui. Les ondes électromagnétiques émises sont réfléchies par la "cible" avant de revenir au cinémomètre.

1.2. La figure ci-contre modélise de manière très simplifiée l'allure des ondes réfléchies par cette "cible", notée C. Déterminer, en explicitant le raisonnement suivi, si le cinémomètre Doppler est situé au point A ou au point B.



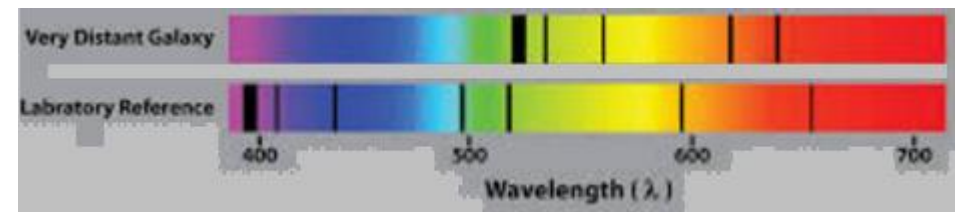
1.3. Un cinémomètre Doppler est utilisé pour mesurer la vitesse des balles de tennis lors des principaux tournois internationaux comme celui de Roland Garros. Au cours de ce tournoi, lors d'un service, l'appareil mesure une fréquence Doppler de valeur $f_D = 7416$ Hz.

1.3.1. Calculer la valeur de la vitesse de cette balle.

1.3.2 Cette valeur vous paraît-elle cohérente ?

Exercice 13

On observe les spectres de l'hydrogène d'un échantillon immobile dans le laboratoire et en provenance d'une lointaine galaxie.



1) Quelle est la nature de ses spectres ? (émission ou absorption)

2) La galaxie s'éloigne-t-elle ou se rapproche-t-elle de la Terre ?

