

L'usage d'une calculatrice EST autorisé

Exercice 1 Diffraction de la lumière à travers un tamis (4points)

La production de certains catalyseurs nécessite de déposer un métal noble (Pd, Pt, Au) sur un support inerte comme de la silice (SiO_2). La silice commerciale se présente sous forme de petits grains blancs de tailles différentes : il est nécessaire de trier ces grains à l'aide de tamis pour fabriquer des catalyseurs tous identiques.

Le but de cet exercice est de vérifier la taille des mailles d'un tamis en effectuant une expérience de diffraction par un faisceau LASER.

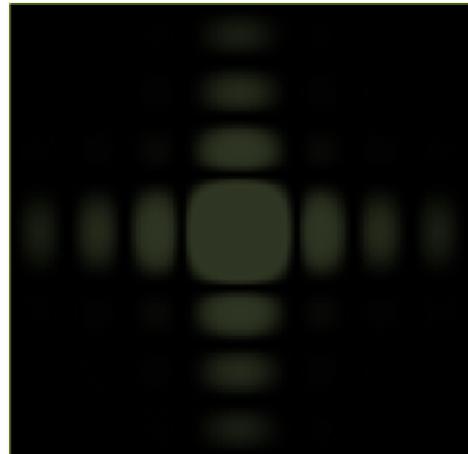
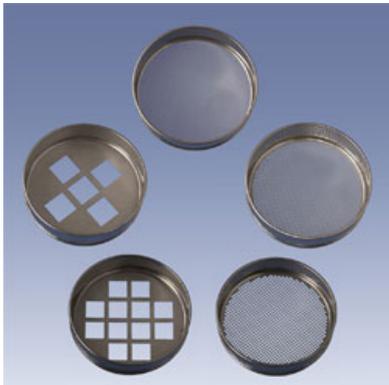
Partie 1 : Généralités sur les ondes

1.1. Définir la notion d'onde.

1.2. On différencie deux types d'onde selon la direction de la propagation et celle de la perturbation. Nommer chaque type et donner un exemple pour chacun.

Partie 2 : Lumière LASER

Un faisceau LASER monochromatique de longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 532 \text{ nm}$ et se propageant dans l'air, est dirigé vers un tamis de laboratoire (sorte de grille) à maille carrée de côté a . On observe sur un écran une figure de diffraction identique à celle représentée ci-dessous. La tache centrale est un carré de côté $L = 2,66 \text{ cm}$.



2.1. Quel caractère de la lumière l'apparition d'une figure de diffraction met-elle en évidence ?

2.2. Dans quelle condition ce phénomène est-il observable ?

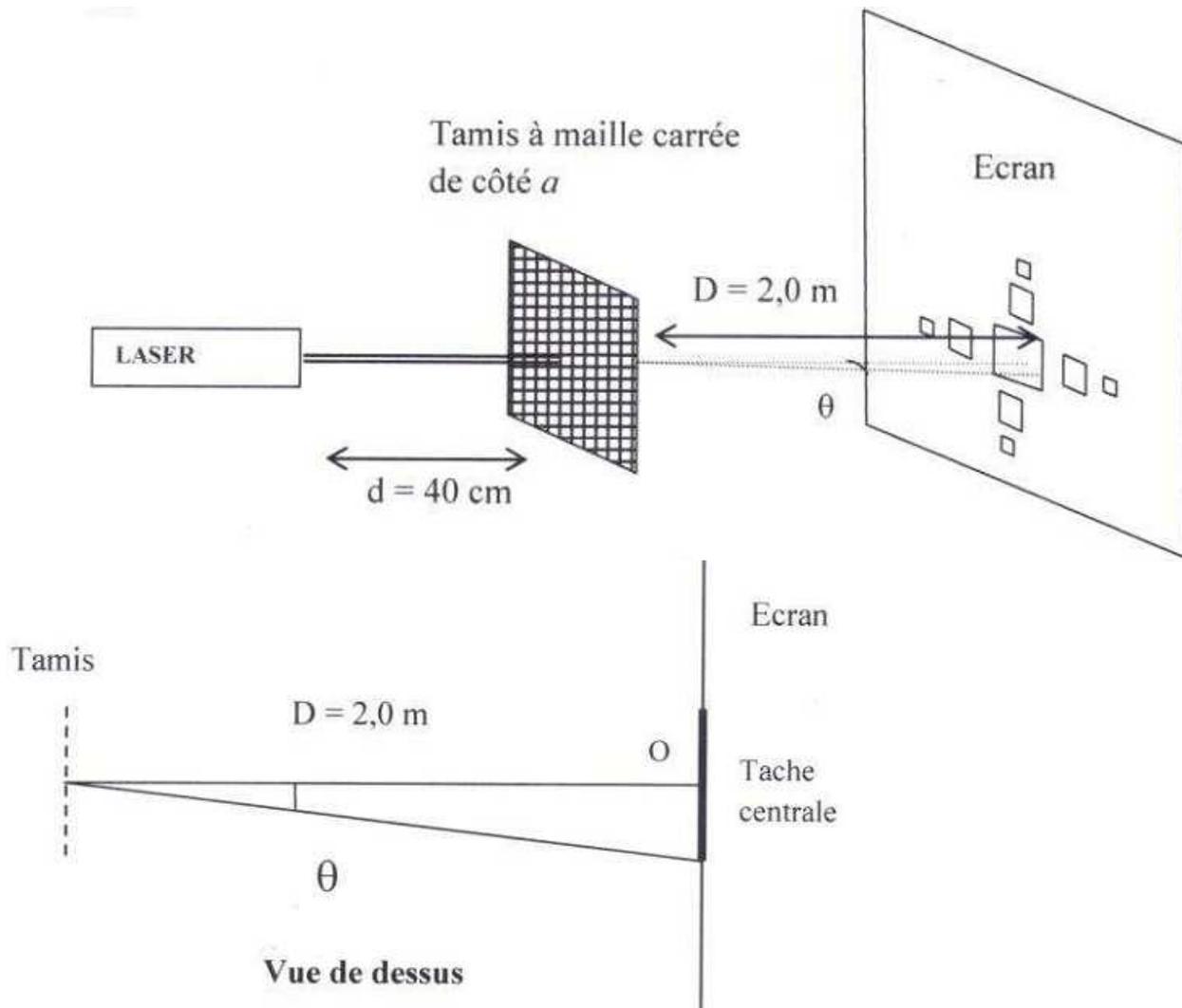
2.3. Une onde lumineuse est caractérisée par une périodicité spatiale et une périodicité temporelle. Nommer ces périodicités et préciser leur unité.

2.4. Rappeler la relation qui lie la longueur d'onde dans le vide λ_0 , la célérité de la lumière c dans le vide et la période T_0 . Exprimer puis calculer la valeur de la fréquence ν_0 correspondante.

2.6. On considérera par la suite que les longueurs d'onde dans l'air et dans le vide sont identiques. Quelle propriété de l'air, vis-à-vis de la lumière, permet de faire cette approximation ? Citer un milieu qui n'a pas cette propriété.

Partie 3 : Dimension des mailles du tamis

Le LASER est placé à une distance $d = 40$ cm du tamis ; la distance entre le tamis et l'écran vaut $D = 2,0$ m.



Un tamis à maille carrée possède des propriétés diffractantes identiques à celles observées lors de la superposition de deux fentes allongées de même largeur et disposées perpendiculairement l'une par rapport à l'autre.

3.1. Montrer, en s'aidant du schéma, que l'écart angulaire θ noté sur le schéma peut s'écrire $\theta = L / 2D$. On se placera dans l'approximation des petits angles : $\tan \theta = \theta$ (rad).

3.2. Rappeler la relation qui lie l'écart angulaire θ à la longueur d'onde λ et au côté a de la maille.

3.3. Exprimer puis calculer la dimension a d'une maille du tamis en utilisant les données expérimentales données ci-dessus.

Données : Constante de planck : $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s ;
 Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3 \times 10^8$ m.s⁻¹

Partie3 : Taille du cheveu

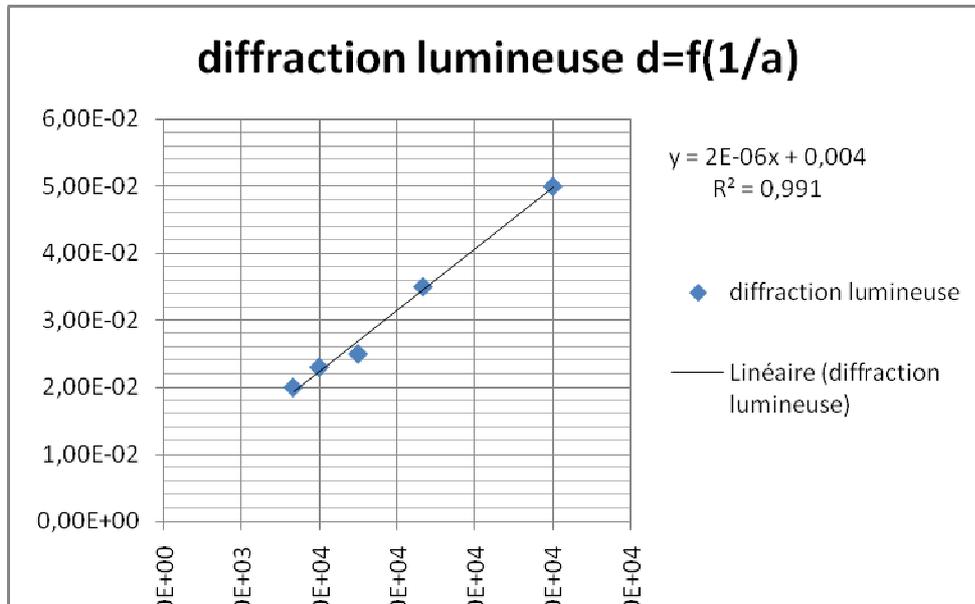
On mesure la taille d de la tache centrale de diffraction formée par différents fils calibrés de diamètre a (précis à deux chiffres significatifs)

La distance fils/écran est de $D= 3,00\text{m}$

On trace alors le graphe $d=f(1/a)$ d et a sont exprimés en mètre

3.1. Noter avec le bon nombre de chiffres significatifs, l'équation du modèle obtenu.

3.2. On mesure alors dans les mêmes conditions d'expérience la taille de la tache centrale de diffraction formée par un cheveu. On note $d= 6,0\text{ cm}$



Exercice 2 DES CINÉMOMÈTRES

La mesure de vitesse intervient dans un très grand nombre de procédés technologiques dans des domaines très variés : industrie, médecine, sport, transport, aérospatiale, ...

Les dispositifs de mesure de vitesse sont généralement appelés cinémomètres. Les cinémomètres les plus courants peuvent être classés en deux catégories : les « cinémomètres Doppler » et les « cinémomètres laser ».

Cet exercice s'intéresse à certains aspects du fonctionnement et de l'utilisation de ces deux types d'appareils pour mesurer la valeur de la vitesse d'une « cible » dont la nature dépend du domaine d'application.

1. Cinémomètre Doppler

Ce type d'appareil utilise une onde électromagnétique monochromatique. Il comprend essentiellement : un émetteur qui génère une onde de fréquence $f_0 = 24,125\text{ GHz}$, 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 " :

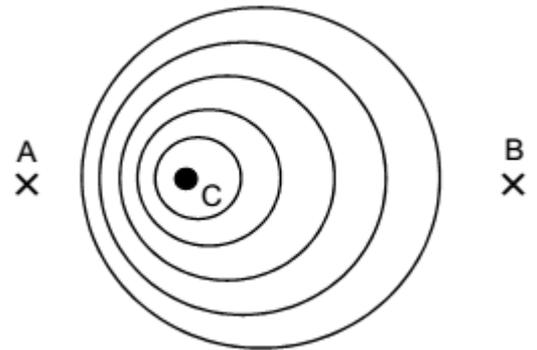
$$f_D = \frac{2 \cdot f_0 \cdot v_r}{c} \left| \begin{array}{l} f_D : \text{fréquence Doppler} \\ f_0 : \text{fréquence de l'émetteur} \\ v_r : \text{vitesse relative à la "cible" par rapport à l'émetteur} \\ c : \text{vitesse de la lumière dans le vide} \end{array} \right.$$

- 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 $f_D = 7416 \text{ Hz}$.

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

1.3.2. Ce résultat est-il cohérent avec celui affiché sur la photographie ci-dessous prise lors de ce service ?



EXERCICE 1 : DIFFRACTION DE LA LUMIÈRE PAR UN TAMIS (4 points) CORRECTION

1.1 (0,25) Une onde correspond à la propagation d'une perturbation sans transport de matière mais avec transport d'énergie.

1.2 (0,25) Une onde peut être **transversale**. C'est le cas d'une vague qui se propage à la surface d'un liquide.

(0,25) Une onde peut être **longitudinale**. C'est le cas du son.

2.1 (0,25) Il s'agit du caractère **ondulatoire** de la lumière par analogie avec les ondes qui elles aussi donnent lieu à des figures de diffraction.

2.2 (0,25) Le phénomène de diffraction est d'autant mieux observable que la taille de l'ouverture est petite face à la longueur d'onde de la lumière.

2.3 (0,25) La périodicité temporelle correspond à la **période T**, qui s'exprime en **secondes**.

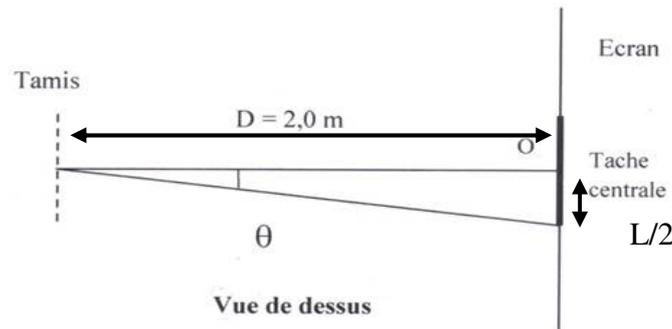
(0,25) La périodicité spatiale correspond à la **longueur d'onde λ** , qui s'exprime en **mètres**.

2.4 (0,5)
$$c = \frac{\lambda_0}{T_0} \quad \text{or } \nu_0 = \frac{1}{T_0} \quad c = \lambda_0 \cdot \nu_0$$

$$\nu_0 = \frac{c}{\lambda_0} \quad \nu_0 = \frac{c}{\lambda_0} \quad \nu_0 = \frac{3 \times 10^8}{532 \times 10^{-9}} = 6 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

2.6 (0,5) L'air n'est pas un milieu **dispersif** pour la lumière contrairement au verre qui peut l'être.

3.1



(0,5)

Dans le triangle rectangle ci-dessus : $\tan \theta = \frac{L}{D} = \frac{L}{2.D}$ or $\tan \theta = \theta$

On obtient alors $\theta = L/2D$

3.2 (0,25)
$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

3.3 (0,5) D'après la relation précédente : $a = \frac{\lambda}{\theta}$ et $\theta = L/2D$
$$a = \frac{\lambda}{L/2D} = \frac{2D\lambda}{L}$$

$$a = \frac{2 \times 2,0 \times 532 \times 10^{-9}}{2,66 \times 10^{-2}} = 8,0 \times 10^{-5} \text{ m} = 80 \text{ } \mu\text{m}$$

4.1. $y = 2,0 \cdot 10^{-6} x + 0,0040$ soit $d = 2,0 \cdot 10^{-6}/a + 0,0040$

4.2. $a = 2,0 \cdot 10^{-6} / (-0,0040 + 6,0 \cdot 10^{-2}) = 36 \text{ } \mu\text{m}$

Exercice 2 DES CINÉMOMÈTRES Antilles 2015

1. Cinémomètre Doppler

1.1. (0,5) Une source d'onde de fréquence f_{source} est perçue par un récepteur en mouvement à une fréquence différente $f_{récepteur}$. La fréquence perçue dépend de la vitesse relative du récepteur par rapport à la source émettrice.

Si la source et le récepteur sont en approche relative alors $f_{récepteur} > f_{source}$. Si la source émet des ondes sonores, elles seront perçues plus aiguës par le récepteur en mouvement relatif.

Si la source et le récepteur s'éloignent relativement alors $f_{récepteur} < f_{source}$. Si la source émet des ondes sonores, elles seront perçues plus graves par le récepteur en mouvement relatif.

Ce phénomène est appelé effet Doppler. Il s'applique également aux ondes électromagnétiques dont la lumière.

1.2. (0,5) Sur la figure présentée la cible réfléchit les ondes du cinémomètre. La cible joue alors le rôle de l'émetteur (ou source). Tandis que le cinémomètre (en A ou B) est le récepteur.

Comme la cible s'approche de l'émetteur alors

$f_{récepteur} > f_{source}$ soit dans le contexte $f_{AouB} > f_{source}$.

L'observation du schéma montre que A perçoit une onde de longueur d'onde λ_A inférieure à celle λ_B perçue par B.

$\lambda_A < \lambda_B$

Comme $\lambda = \frac{v}{f}$ et que l'onde possède partout la même célérité

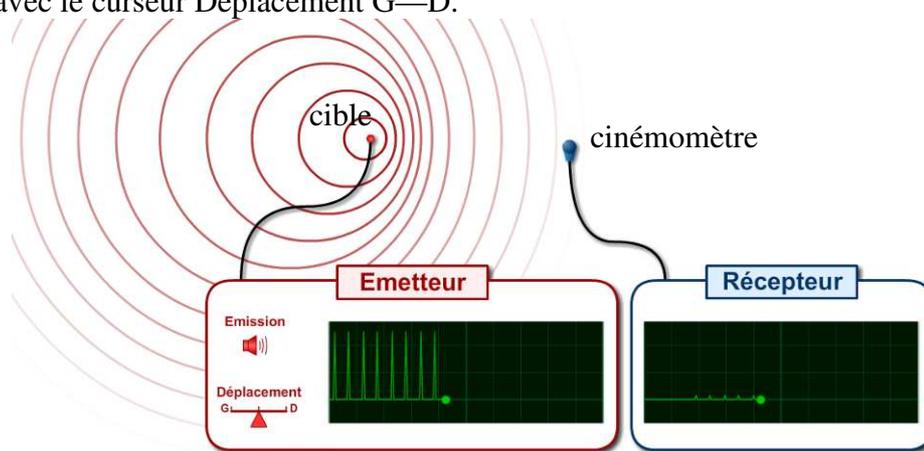
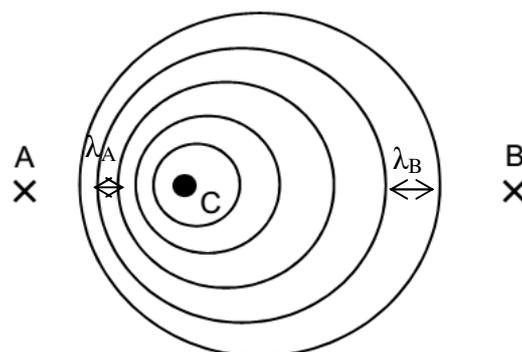
v alors $\frac{v}{f_A} < \frac{v}{f_B}$. On en déduit que $f_A > f_B$.

Ainsi pour A, il perçoit $f_A > f_{source}$, c'est que la cible s'approche de lui.

Pour B, $f_B < f_{source}$, la cible s'éloigne de B.

Le cinémomètre est situé en A puisque la cible s'approche de lui.

Voir l'animation http://www.ostralo.net/3_animations/swf/doppler.swf et jouer sur le déplacement de l'émetteur avec le curseur Déplacement G—D.



$$1.3.1. (0,25) f_D = \frac{2 \cdot f_0 \cdot v_r}{c} \text{ donc } v_r = \frac{f_D \cdot c}{2 \cdot f_0}$$

$$(0,25) v_r = \frac{7416 \times 3,00 \times 10^8}{2 \times 24,125 \times 10^9} = 46,1 \text{ m.s}^{-1}$$

1.3.2. (0,25) On convertit en km/h en multipliant le résultat précédent par 3,6.

$v_R = 166 \text{ km.h}^{-1}$ valeur conforme à celle affichée par le cinémomètre photographié.