

## Exercice N°1 :

La stéréophonie se réfère à un mode de reproduction sonore visant à reconstituer la répartition dans l'espace des sources d'origine.

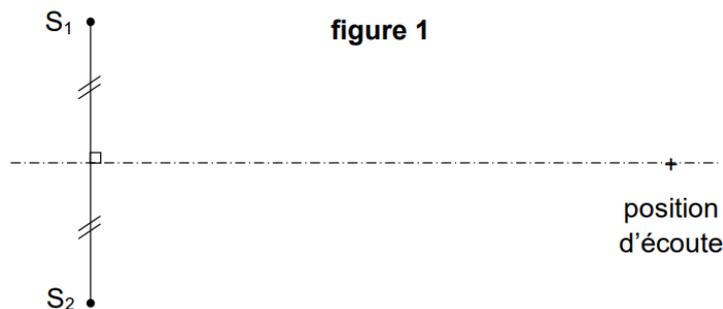
On crée la stéréo en utilisant plusieurs canaux audios indépendants reliés à au moins deux enceintes, de manière à reconstituer l'espace sonore voulu par l'artiste. Par exemple, un signal distribué en quantité égale sur deux enceintes en phase et de même sensibilité semblera provenir d'un point virtuel situé entre les enceintes.

Le but de cet exercice est d'étudier l'altération de l'enregistrement en stéréophonie dans certaines conditions d'écoute.

## Données :

- intensité sonore au seuil d'audibilité à 1 kHz :  $I_0 = 1,00 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^2$  ;
- célérité du son dans l'air dans les conditions de l'exercice :  $v_{\text{son}} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

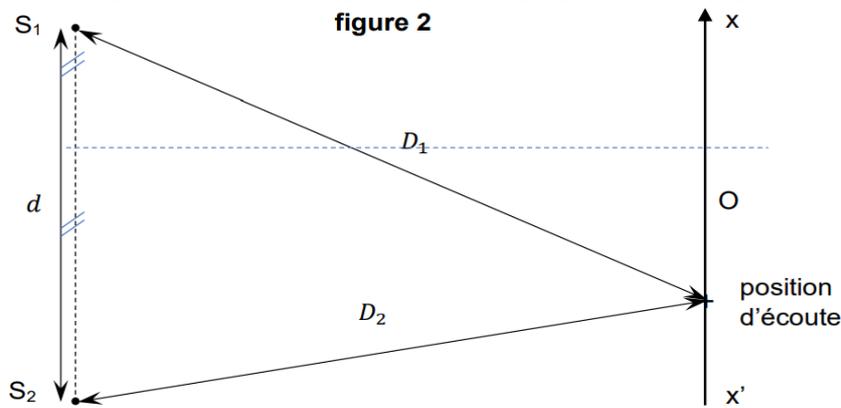
On considère deux enceintes acoustiques identiques dans un espace libre, c'est-à-dire sans parois pouvant créer une réverbération par réflexion. Chaque enceinte acoustique est modélisée par une source sonore ponctuelle ( $S_1$  et  $S_2$ ) pouvant émettre dans toutes les directions tout le spectre audible entre 20 Hz et 20 000 Hz avec une intensité sonore constante.



La position d'écoute est située sur la médiane du segment formé par les deux sources  $S_1$  et  $S_2$  (voir la **figure 1** ci-dessus). Lorsque seule la source 1 est branchée, le niveau d'intensité sonore à la position d'écoute est  $L_1$ .

1.  $S_2$  délivre le même signal sonore que  $S_1$ . En l'absence d'interférences entre les deux sources, déterminer l'expression  $L_{1+2}$  du niveau d'intensité sonore en fonction de  $L_1$ .
2. On s'intéresse maintenant au phénomène d'interférences entre les ondes issues des deux sources supposées identiques et émettant des signaux de même fréquence et en phase. Préciser s'il y a interférences constructives ou destructives dans cette position d'écoute. Justifier.
3. Donner la condition nécessaire pour que la position d'écoute soit un lieu d'interférences destructives.

La position d'écoute est maintenant telle que  $D_1 = 3,34 \text{ m}$ ,  $D_2 = 3,00 \text{ m}$  et  $d = 2,00 \text{ m}$  comme indiquée sur la **figure 2** ci-dessous.



4. Exprimer et calculer la longueur d'onde  $\lambda_1$  la plus grande pour laquelle les interférences sont destructives.
5. Déterminer les quatre premières fréquences pour lesquelles le niveau d'intensité sonore perçu est diminué par le phénomène d'interférence. On introduira au besoin un entier  $k$ .
6. Un auditeur se déplace sur l'axe  $(x'x)$  représenté sur la figure 2 de la position d'écoute précédente vers le point O. Décrire qualitativement comment évoluent les fréquences perturbées par le phénomène d'interférence. Justifier.
7. Expliquer avec des considérations physiques issues des questions précédentes en quoi l'écoute d'une séquence audio en stéréophonie peut être altérée.

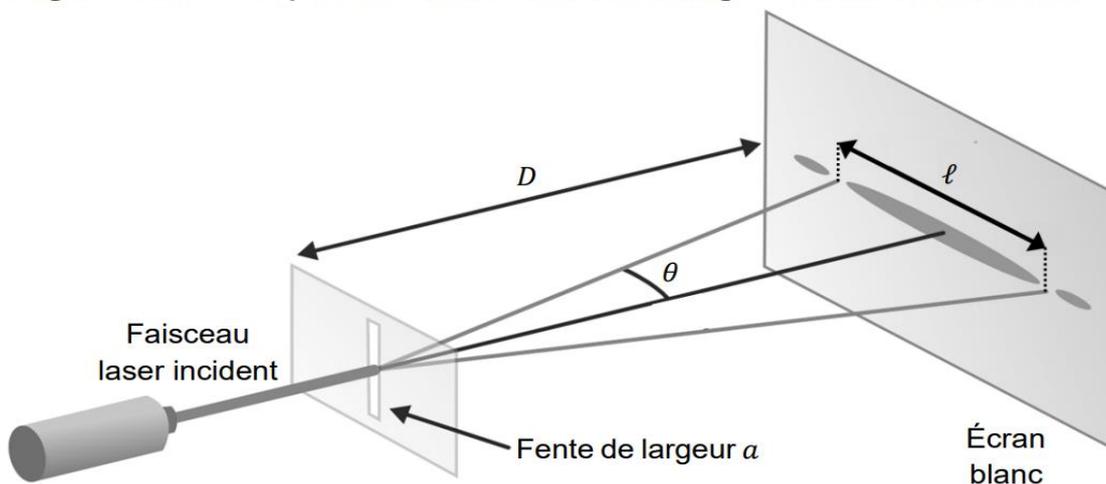
### Exercice N°2 :

Le lactose, poudre blanche cristalline, légèrement sucrée, est un composé chimique largement utilisé comme excipient dans l'industrie pharmaceutique. Un excipient est une substance associée au principe actif d'un médicament et dont la fonction est de faciliter l'administration, la conservation et le transport de ce principe actif jusqu'à son site d'absorption. Les poudres de lactose sont fabriquées en modifiant de façon sélective la taille ou la forme des grains qui les composent.

L'objectif de l'exercice est d'étudier une application industrielle du phénomène de diffraction laser : la granulométrie laser.

Il s'agit d'une technique qui permet la mesure de la taille de particules, comprises entre  $0,05 \mu\text{m}$  et  $900 \mu\text{m}$ . Elle convient particulièrement à tout type de poudre.

**La figure ci-dessous présente le schéma du montage de diffraction avec une fente.**



## Théorème de Babinet

Deux objets sont complémentaires si les parties opaques de l'une correspondent à des parties transparentes de l'autre et inversement. Les figures de diffraction de deux objets complémentaires sont identiques.

Par exemple, la figure de diffraction d'un fil de diamètre  $a$  est identique à celle d'une fente de largeur  $a$ .



On réalise au laboratoire une expérience afin d'illustrer le principe de la mesure de la taille d'un objet de faible dimension en mesurant le diamètre d'un fil par diffraction.

Lors de l'expérience, on intercale successivement cinq fils calibrés (de diamètres  $a$  connus) sur le trajet d'un faisceau laser de longueur d'onde  $\lambda$ . Sur un écran blanc placé à une distance  $D$  du fil utilisé, on observe une figure de diffraction :  $\ell$  représente la largeur de la tache centrale et  $\theta$  l'angle caractéristique de diffraction.

### Données :

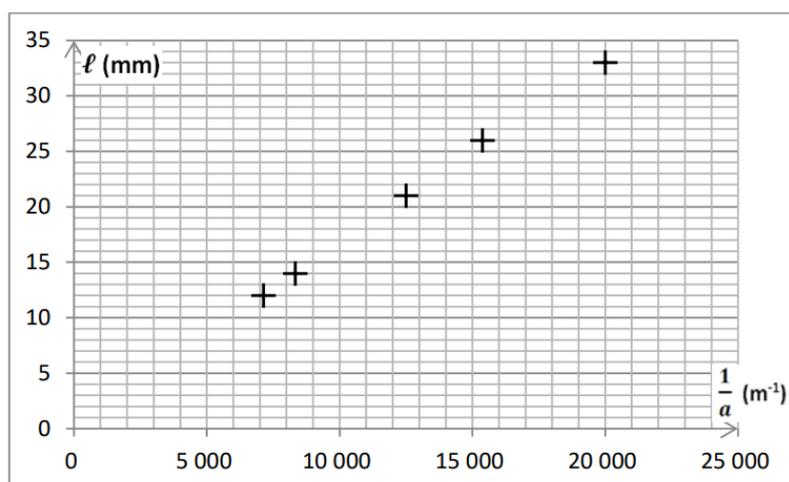
- approximations des petits angles, exprimés en radians :  $\sin \theta \approx \theta$  et  $\tan \theta \approx \theta$  ;
- accord d'une mesure avec une valeur de référence : le résultat d'une mesure est considéré en accord avec une valeur de référence si la valeur du quotient  $\frac{|x-x_{ref}|}{u(x)}$  est inférieure ou égale à 2.

avec :

- $x$  : la valeur mesurée,
- $x_{ref}$  : la valeur de référence,
- $u(x)$  : l'incertitude-type.

1. On fait l'hypothèse que l'angle caractéristique de diffraction est petit. La largeur de la tache centrale de diffraction peut s'exprimer sous la forme :  $\ell = k \times \frac{1}{a}$ . Donner l'expression de la constante  $k$  en fonction de  $D$  et  $\lambda$ .

La figure ci-après représente  $\ell = f\left(\frac{1}{a}\right)$ , largeur de la tache centrale de diffraction en fonction de l'inverse du diamètre des fils calibrés :



2. Déterminer graphiquement la valeur de la constante  $k$  en m<sup>2</sup>, avec trois chiffres significatifs, en faisant apparaître la démarche sur le document-réponse de **L'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

Afin d'en mesurer le diamètre, l'expérience précédente a été reproduite dans les mêmes conditions expérimentales mais avec un sixième fil.

La mesure de la largeur de la tache centrale de diffraction a donné :  $\ell = 17,0$  mm.

L'incertitude-type sur la mesure réalisée est :  $u(\ell) = 0,5$  mm.

La modélisation du nuage de points  $\ell = f \left( \frac{1}{a} \right)$  par un tableur-grapheur a fourni la valeur de la constante  $k$  avec son incertitude-type associée :  $k = 1,67 \times 10^{-6} \text{ m}^2$  et  $u(k) = 0,04 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ .

3. Calculer la valeur expérimentale du diamètre  $a_{fil}$  du fil puis son incertitude-type associée définie par :

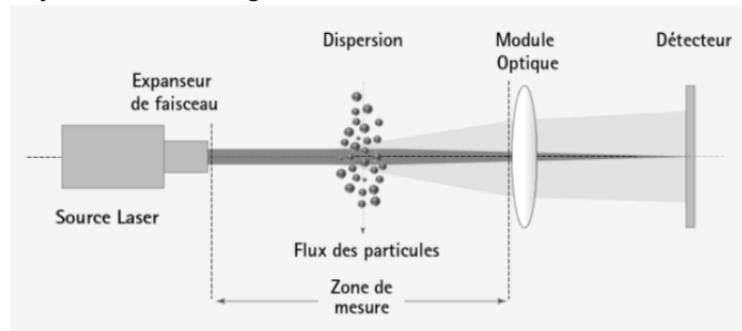
$$u(a_{fil}) = a_{fil} \times \sqrt{\left(\frac{u(\ell)}{\ell}\right)^2 + \left(\frac{u(k)}{k}\right)^2}$$

4. Comparer avec la valeur de 100  $\mu\text{m}$  annoncée par le fabricant.

Dans un granulomètre, la figure de diffraction est obtenue en réalisant la mesure en lumière parallèle.

Dans un granulomètre, la figure de diffraction est obtenue en réalisant la mesure en lumière parallèle.

Dans cette situation expérimentale, représentée dans la figure ci-dessous, la taille de particule que l'on souhaite déterminer correspond toujours au diamètre moyen d'une ouverture circulaire ayant la même figure de diffraction.

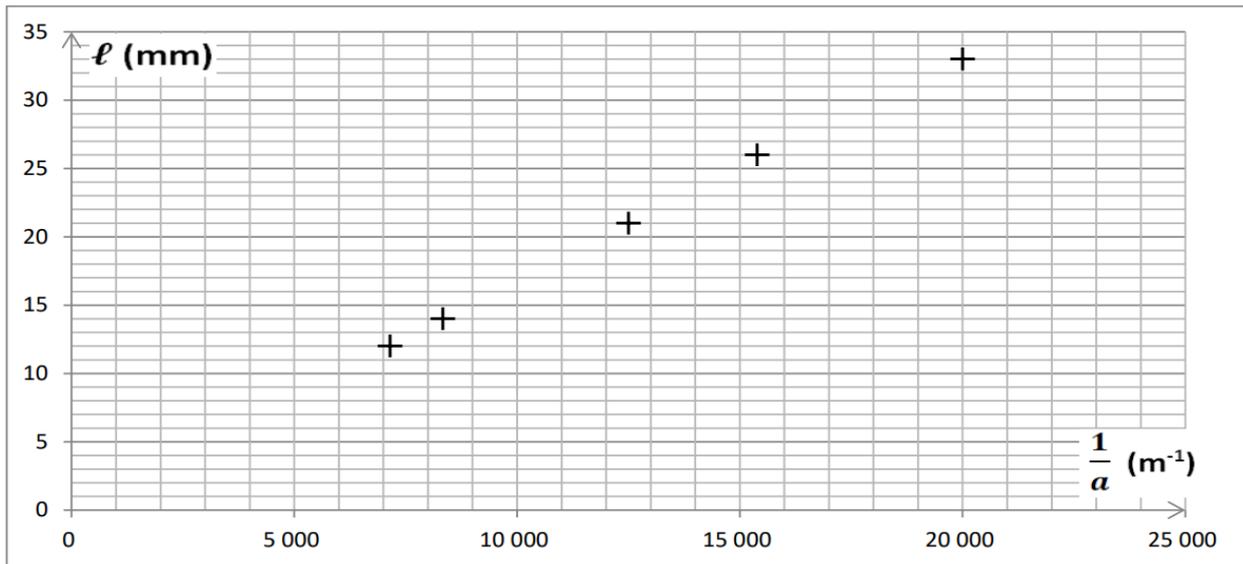


**Données :**

- la figure de diffraction obtenue lors du passage de la lumière à travers une ouverture circulaire est constituée d'une tache centrale circulaire brillante et d'une alternance de cercles concentriques brillants et sombres ;
- dans l'approximation des petits angles, l'angle caractéristique de diffraction  $\theta$  pour une ouverture circulaire a pour expression :  $\theta = 1,22 \times \frac{\lambda}{a}$  avec  $\lambda$  la longueur d'onde de la lumière utilisée et  $a$  le diamètre de l'ouverture.

5. Les particules de lactose sont assimilées à des sphères. Décrire qualitativement l'allure de la figure de diffraction obtenue au cours de la mesure effectuée au granulomètre.

Document-réponse : EXERCICE I, question 2.



Exercice N°3 :

On attribue la découverte de la diffraction à Francesco Grimaldi (1618-1663). Le but de l'exercice est d'étudier une application pratique de la diffraction : la détermination de la taille moyenne de poudre de cacao par granulométrie.

Les deux parties de l'exercice sont indépendantes.

Document 1 : Granulométrie laser de la poudre de cacao



L'appareil ci-contre permet de mesurer la taille de particules allant de 40 nm à 2500  $\mu\text{m}$  tout en occupant un encombrement extrêmement réduit.

Le fabricant de l'appareil indique que deux diodes laser de longueurs d'onde 635 nm et 830 nm sont utilisées dans cet instrument de mesure.

Document 2 : Différents types de chocolat

Le succès du chocolat, auprès des consommateurs, est lié à des caractéristiques gustatives bien identifiées mais aussi à la granulométrie de chacun des constituants.

Cette dernière propriété représente un enjeu important du procédé de fabrication puisque des particules trop finement broyées rendront le chocolat collant alors que de trop grosses particules lui donneront un aspect granuleux à l'œil et en bouche.

La mesure de la taille des particules, par diffraction laser, est une technique simple et rapide, adaptée à la détermination de la distribution granulométrique de tous les types de chocolat comme les chocolats de couverture utilisés pour le nappage, les chocolats au lait ou les chocolats agglomérés utilisés pour les recettes instantanées.

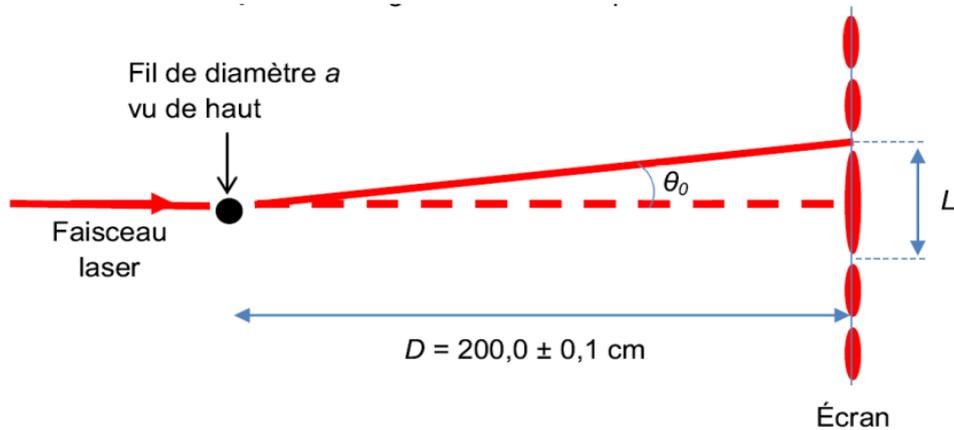
Type de chocolat	De couverture	Au lait	Aggloméré
$a^{(*)}$ en $\mu\text{m}$	10	30	300

(\*)  $a$  représente le diamètre moyen recommandé de la poudre de cacao pour un type de chocolat.

D'après <http://www.es-France.com/pdf/010-Cacao.pdf>

## Partie 1 : Vérification de la longueur d'onde d'une des diodes laser utilisées

L'objectif de cette partie est de vérifier la valeur de la longueur d'onde  $\lambda$  d'une des diodes laser utilisées dans l'appareil de granulométrie. Sur le trajet du faisceau laser, on intercale des fils de différents diamètres. Sur un écran placé à une distance  $D$ , on observe une figure de diffraction.  $L$  représente la largeur de la tache centrale et  $\theta_0$  le demi-angle au sommet exprimé en radian.



1.1. Rappeler les trois principales propriétés du faisceau d'un laser.

1.2. Pour une longueur d'onde donnée, décrire l'évolution du demi-angle  $\theta_0$  en fonction du diamètre  $a$  du fil. Donner la relation qui lie  $\lambda$ ,  $\theta_0$  et  $a$ .

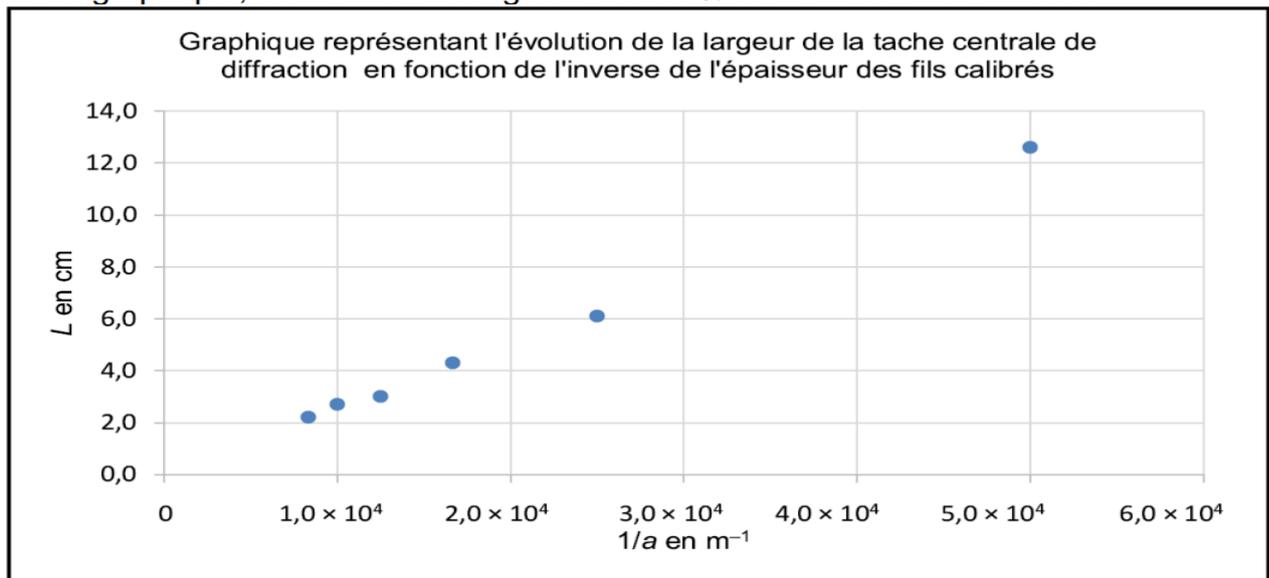
1.3. On fait l'hypothèse que l'angle  $\theta_0$  est petit. Dans ce cas, on peut écrire  $\tan \theta_0 \approx \theta_0$  avec  $\theta_0$  en radian.

À l'aide du schéma, démontrer que la largeur de la tache centrale est donnée par l'expression :

$$L = k \cdot \frac{1}{a} \text{ avec } k = 2\lambda \cdot D$$

1.4. Expérimentalement, on mesure la largeur de la tache centrale  $L$  pour des fils calibrés de différentes valeurs de diamètre  $a$ . on porte les valeurs obtenues sur le graphique ci-dessous.

À partir du graphique, déterminer la longueur d'onde  $\lambda$  de la diode laser utilisée.



1.5. L'incertitude absolue sur la longueur d'onde  $\lambda$ , notée  $\Delta\lambda$ , peut être déterminée à partir de la relation suivante :

$$\Delta\lambda = \lambda \sqrt{\left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta k}{k}\right)^2}$$

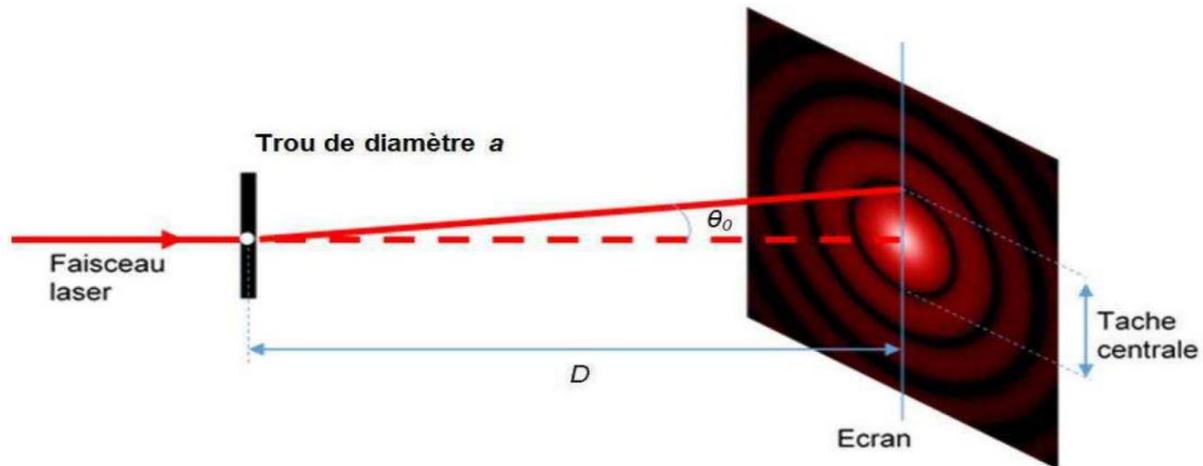
L'incertitude absolue sur la valeur du coefficient directeur est  $\Delta k = 1,2 \times 10^{-7} m^2$ .

Exprimer la valeur de la longueur d'onde  $\lambda$  avec son incertitude. Confronter aux valeurs données par le fabricant de l'appareil ; conclure.

## Partie 2 : Étude de la diffraction par la poudre de cacao

Dans cette partie, on considère que l'on peut déterminer le diamètre moyen des grains de cacao d'une poudre donnée en utilisant une figure de diffraction réalisée avec la diode laser de longueur d'onde  $\lambda = 635 \text{ nm}$ .

**Donnée :** Expérience de diffraction par un trou circulaire :



La figure de diffraction obtenue par un trou circulaire est constituée de cercles concentriques alternativement brillants et sombres avec :

La figure de diffraction obtenue par un trou circulaire est constituée de cercles concentriques alternativement brillants et sombres avec :

$$\sin \theta_0 = \frac{1,22 \cdot \lambda}{a}$$

$\lambda$  : longueur d'onde du faisceau laser, exprimée en mètre

$a$  : diamètre du trou, exprimée en mètre

$\theta_0$  : demi-angle au sommet, exprimée en radian

**2.1.** En utilisant un montage proche de celui donné ci-dessus, on réalise l'expérience sur un échantillon de poudre de cacao.

Sachant que les grains de cacao sont assimilés à des sphères, justifier le fait qu'on observe une figure de diffraction identique à celle obtenue avec un trou circulaire.

**2.2.** Après traitement informatique des résultats expérimentaux lors du contrôle d'un échantillon de poudre de cacao, on obtient le graphe ci-dessous donnant l'intensité lumineuse relative sur l'écran en fonction du demi-angle  $\theta_0$ . Peut-on utiliser cet échantillon pour un chocolat de couverture ?

