

## DIFFRACTION

### Exercice 1 : ACOUSTIQUE D'UNE SALLE Bac S Polynésie 2022

Dans les salles de spectacle, il existe des places appelées «places aveugles».

Installé à ce type de place, un élève se rend compte que la qualité sonore du concert ne le satisfait pas.

L'objectif de cet exercice est d'étudier la diffraction des ondes lumineuses puis de montrer comment le phénomène de diffraction des ondes sonores permet de retrouver l'emplacement de l'élève dans la salle.

#### Étude de la diffraction des ondes lumineuses.

En rentrant du concert, l'élève consulte une activité expérimentale sur la diffraction des ondes lumineuses dont voici un extrait: «On dispose d'un laser de longueur d'onde inconnue  $\lambda$  face à une fente de largeur  $a$  réglable et d'un écran situé à une distance  $D$  égale à 2,00 m de la fente. On observe sur l'écran une figure de diffraction de tâche centrale de largeur  $L$ . Le schéma de la figure 1 modélise le montage réalisé

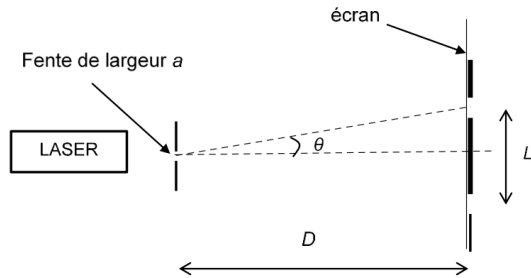


Figure 1. Schéma du montage expérimental

L'angle caractéristique de diffraction  $\theta$ , en radian, a pour expression:  $\theta \approx \lambda/a$ . L'angle  $\theta$  étant petit, on peut considérer que la valeur de la tangente de l'angle  $\theta$  est égale à l'angle  $\theta$ :  $\tan \theta \approx \theta$ . Montrer que la largeur  $L$  de la tâche centrale de diffraction a pour expression:  $L = 2 \lambda D/a$ .

Lors de l'activité expérimentale, des mesures de la largeur  $L$  de la tâche centrale de diffraction sur l'écran ont été effectuées en faisant varier la taille  $a$  de la fente. L'élève a ensuite obtenu le graphique de la figure 2

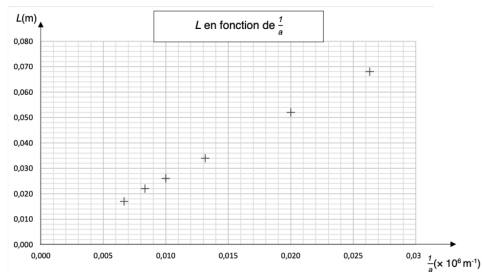


Figure 2. Graphique représentant la largeur de la tâche centrale  $L$  en fonction de  $\frac{1}{a}$

À l'aide de la figure 2, montrer que la relation entre  $L$  et  $\frac{1}{a}$  est du type  $L = k \times \frac{1}{a}$ . 3. En utilisant la relation donnée question 1. indiquer l'expression de  $k$  en fonction de  $\lambda$  et  $D$ . 4. Montrer que la valeur de la longueur d'onde  $\lambda$  est égale à  $6,5 \times 10^{-7} \text{ m}$ . La valeur de l'angle  $\theta$  correspondant à la fente de largeur  $a_1 = 38 \mu\text{m}$  est égale à  $1,7 \times 10^{-2} \text{ rad}$ . 5. Déterminer la valeur de l'angle  $\theta_2$ , en radian, correspondant à la fente de largeur  $a_2$  égale à 150

$\mu\text{m}$ . 6. En déduire que la diffraction est la plus marquée pour la fente de largeur  $a_1$ . Étude de la diffraction des ondes sonores. On rappelle que les caractéristiques de diffraction des ondes sont les mêmes pour les ondes lumineuses et les ondes sonores. Lors du concert, l'élève constate qu'il perçoit mieux les sons graves de fréquence  $f_1$  égale à 200 Hz que les sons aigus de fréquence  $f_2$  de valeur 1,00 kHz.

Donnée: - Vitesse du son dans l'air à la température de  $20^\circ\text{C}$ :  $V_{\text{son}} = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Exprimer la longueur d'onde  $\lambda$  d'une onde sonore en fonction de la vitesse du son  $V_{\text{son}}$  et de sa fréquence  $f$ . 8. Montrer que les longueurs d'onde  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  correspondant aux sons de fréquences  $f_1$  et  $f_2$  sont pour valeurs  $\lambda_1 = 1,70 \text{ m}$  et  $\lambda_2 = 0,340 \text{ m}$ .

La figure 3 ci-dessus représente la scène, un pilier de largeur voisine de 70 cm et les positions possibles de l'élève lors du concert, repérées par les lettres A, B et C. On admettra que la diffraction par le pilier est identique à celle créée par une fente de même largeur. 9. En se référant à la figure 1 et à la réponse apportée à la question 8, choisir, en justifiant qualitativement, parmi les positions A, B ou C celle qui correspondrait le mieux à la situation décrite par l'élève lors du concert.

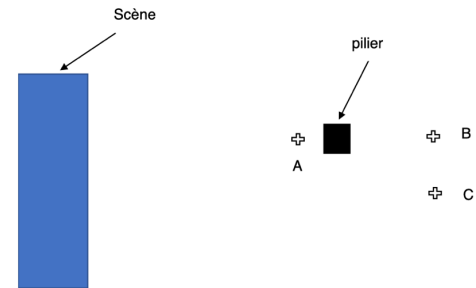


Figure 3. Schéma de la situation

## Exercice 2 : DIFFRACTION PAR UNE POUDRE DE CACAO Bac S Amérique du Nord 2017

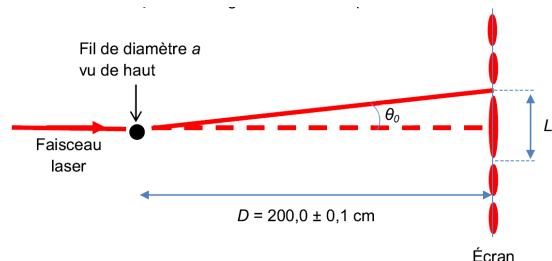
Cet exercice possède une correction vidéo disponible en ligne. La correction est mise à disposition par Monsieur Stéphane Bonnaud sur sa page YouTube. Je remercie ce collègue pour ce travail.

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.

### 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  $a$ .

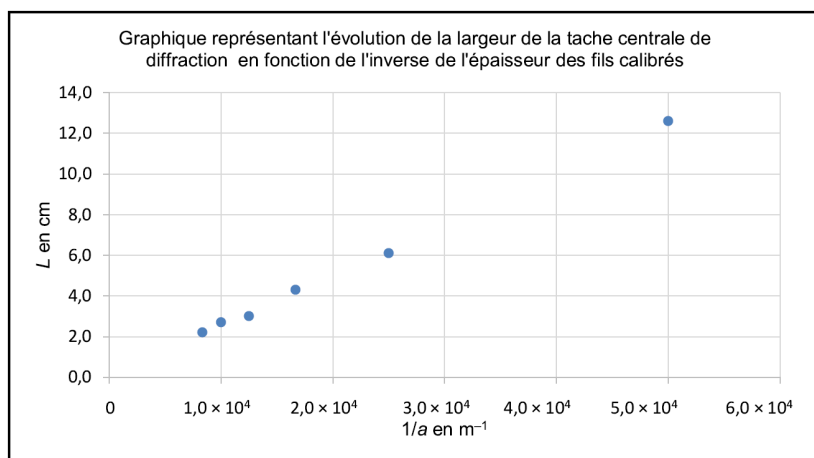
1.3. On fait l'hypothèse que l'angle  $\theta_0$  est petit. Dans ce cas, on peut écrire  $\tan \theta_0 \approx \theta_0$  avec  $\theta_0$  en radian.

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

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

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.

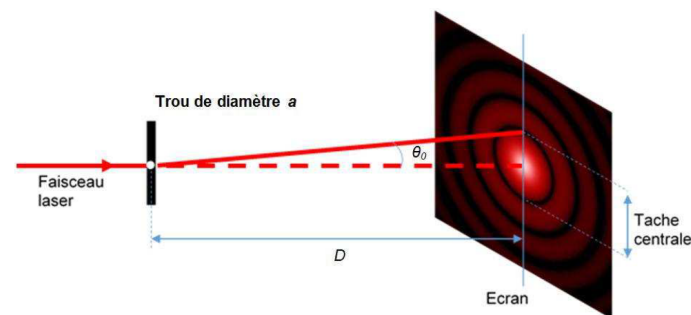
À partir du graphique, déterminer la longueur d'onde  $\lambda$  de la diode laser utilisée.



### Partie 2 : Etude 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  $\lambda = 635$  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 :

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

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

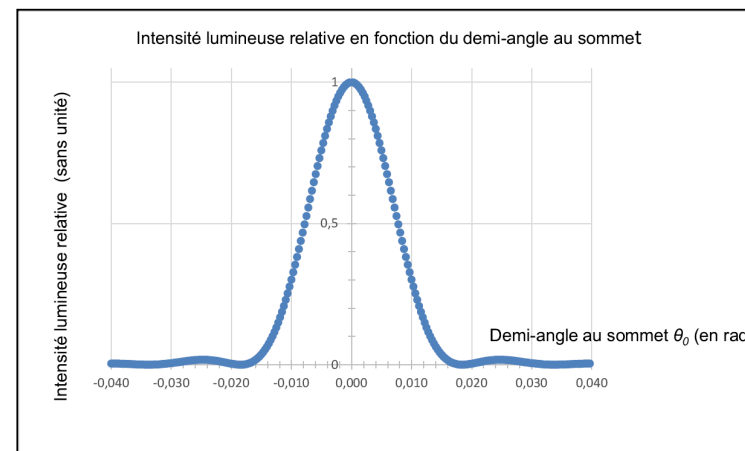
$a$  : diamètre du trou, exprimée en mètre

$\theta_0$  : 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 ?



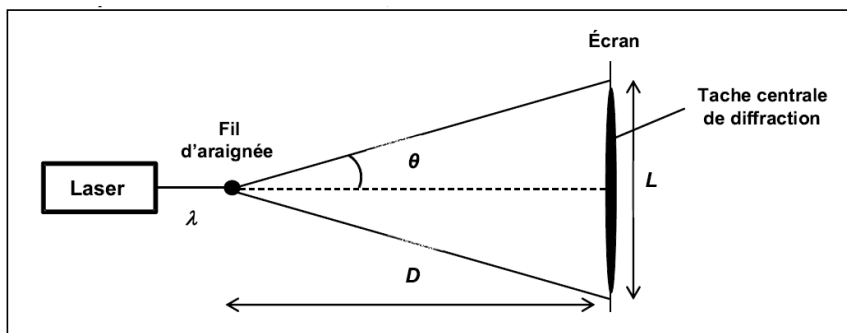
### Exercice 3 : DETERMINATION DE LA MAILLE D'UN TAMIS Bac S Liban Juin 2016

Cet exercice possède une correction vidéo disponible en ligne. La correction est mise à disposition par le site « On bosse la physique ». Je remercie ce collègue pour ce travail.

On souhaite déterminer le diamètre inconnu noté  $a$ , d'un fil d'araignée.

Pour cela, on maintient ce fil en position verticale, et on l'éclaire d'une source laser rouge de longueur d'onde  $\lambda = 615 \text{ nm}$ .

Le Laser est placé à environ 20 cm du fil et la distance entre le fil et l'écran est fixe à  $D = 2,0 \text{ m}$



1. En exploitant le schéma ci-dessus, déterminer la largeur  $L$  de la tache centrale de diffraction.
2. Montrer que  $a = \frac{2 \times \lambda \times D}{L}$ . On considère dans l'approximation des petits angles  $\tan \theta \approx \theta$
3. Calculer alors le diamètre  $a$  du fil d'araignée en utilisant les données expérimentales.

### Exercice 4 : DETERMINATION DE LA MAILLE D'UN TAMIS Bac S Antilles Septembre 2011

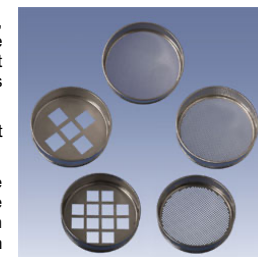
Cet exercice possède une correction vidéo disponible en ligne. La correction est mise à disposition par Monsieur Ravi Ambroise sur sa page YouTube. Je remercie ce collègue pour ce travail.

La production de certains catalyseurs nécessite de déposer un métal noble (Pd, Pt, Au) sur un support inerte comme de la silice ( $\text{SiO}_2$ ). 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. Différents types de tamis sont présentés sur la photographie n°1.

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.

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  $a$  (voir figure 1). On observe sur un écran une figure de diffraction visible sur la photographie n°2. La tache centrale est un carré de côté  $L = 2,66 \text{ cm}$ .

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



Photographie 1

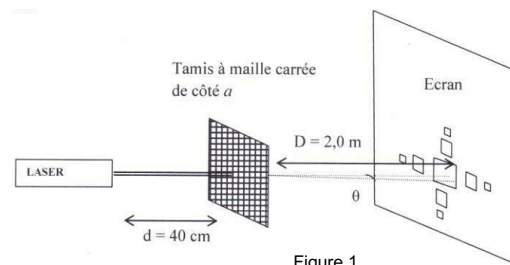
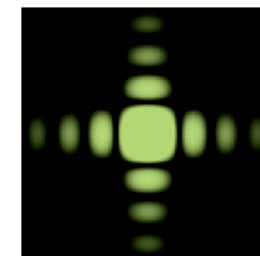
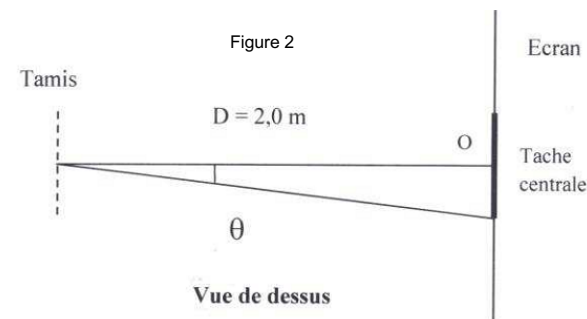


Figure 1



Photographie 2

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.



Donnée : angle caractéristique de diffraction pour une fente rectangulaire de largeur  $a$  :  $\theta = \frac{\lambda}{a}$

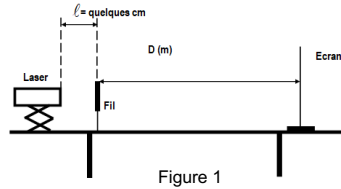
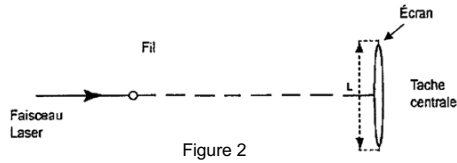
1. Exprimer l'écart angulaire  $\theta$  à en fonction de  $L$  et  $D$ . On se placera dans l'approximation des petits angles :  $\tan \theta = \theta$  (rad).
2. Calculer en mm, la dimension  $a$  d'une maille du tamis en utilisant les données expérimentales.

### Exercice 5 : DETERMINATION D'UNE LONGUEUR D'ONDE Bac S Polynésie 2006

Cet exercice possède une correction vidéo disponible en ligne. La correction est mise à disposition par Monsieur Ravi Ambroise sur sa page YouTube. Je remercie ce collègue pour ce travail.

Une lumière laser arrive sur un fil vertical de diamètre  $a$ . On place un écran à une distance  $D$  de ce fil ; la distance  $D$  est grande devant  $a$  (voir figure 1).

- Compléter la figure 2 en repérant l'angle caractéristique de diffraction  $\theta$  et la distance  $D$ .



- Etablir l'expression de  $L$  en fonction de  $D$  et  $a$ . Préciser l'approximation réalisée.

Donnée : angle caractéristique de diffraction pour une fente rectangulaire ou un fil fin de largeur  $a$   $\theta = \frac{\lambda}{a}$

On dispose de deux fils calibrés de diamètres respectifs  $a_1 = 60$  mm et  $a_2 = 80$  mm. On place successivement ces deux fils verticaux dans le dispositif présenté dans la figure 1. On obtient sur l'écran deux figures de diffraction distinctes notées A et B (voir la figure 3).

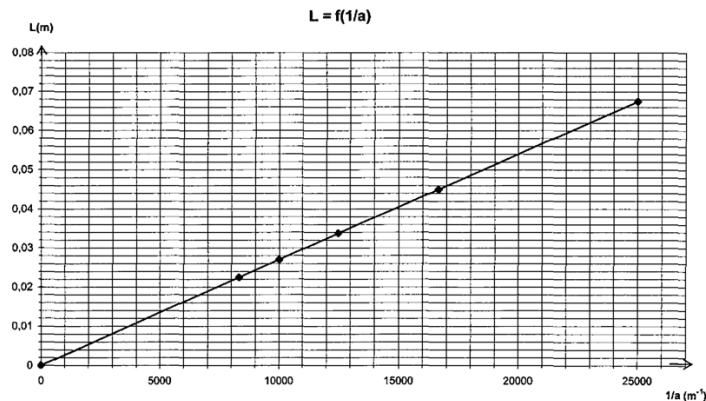
- Associer à chacun des deux fils la figure de diffraction qui lui correspond (Figure 3). Justifier.



On cherche maintenant à déterminer expérimentalement la longueur d'onde dans le vide de la lumière monochromatique émise par la source laser utilisée. Pour cela, on place devant le faisceau laser des fils calibrés verticaux. On désigne par  $a$  le diamètre d'un fil. La figure de diffraction obtenue est observée sur un écran blanc situé à une distance  $D = 2,50$  m des fils. Pour chacun

des fils, on mesure la largeur  $L$  entre les deux premières extinctions de lumière. On trace la courbe  $L = f\left(\frac{1}{a}\right)$  (voir figure 4).

- La lumière émise par la source laser est dite monochromatique. Que signifie ce terme ?
- Montrer que l'allure de la courbe  $L = f\left(\frac{1}{a}\right)$  obtenue est en accord avec l'expression de  $L$  établie précédemment.
- Déterminer précisément, à l'aide de la courbe, une valeur expérimentale de la longueur d'onde du laser.



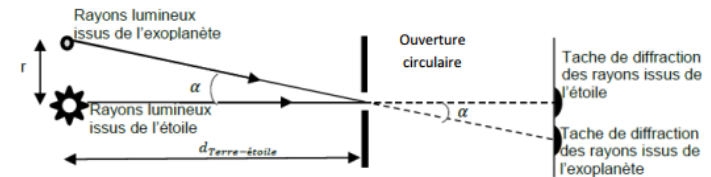
### Exercice 6 : OBSERVATION D'UNE EXOPLANETE Bac S Antilles Guyane Septembre 2017

Cet exercice possède une correction vidéo disponible en ligne. La correction est mise à disposition par Monsieur Ravi Ambroise sur sa page YouTube. Je remercie ce collègue pour ce travail.

Un télescope de diamètre  $D$  collecte la lumière émise par un objet céleste, puis la renvoie vers un système optique de formation d'image qui ne sera pas étudié ici. Actuellement, l'observation de détails avec un télescope terrestre est principalement limitée par le phénomène de diffraction lié à la valeur de l'ouverture circulaire  $D$  du télescope car il est possible d'annuler l'effet des turbulences atmosphériques sur la qualité des images formées.

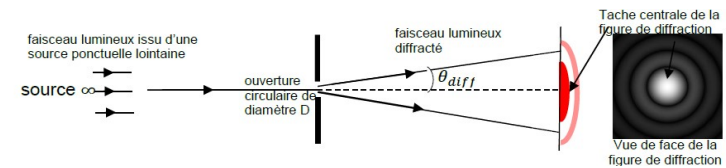
La première planète extrasolaire dont on a pu faire une image par observation directe dans le proche infrarouge s'appelle 2M1207b. Cette exo planète orbite à une distance estimée à 55 unités astronomiques (ua) autour de l'étoile 2M1207a, située à 230 années lumières (al) de la Terre.

L'écart angulaire  $\alpha$  entre l'étoile et la planète est l'angle sous lequel sont vues l'étoile et sa planète depuis un télescope sur Terre comme l'indique le schéma ci-dessous. Les deux astres donnent dans le télescope deux tâches de diffraction due à l'ouverture circulaire du télescope :

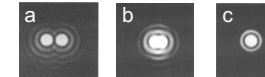


Données :

- unité astronomique :  $1 \text{ ua} = 1,496 \times 10^{11} \text{ m}$  ; l'année lumière :  $1 \text{ al} = 9,461 \times 10^{15} \text{ m}$  ;
- vitesse de la lumière dans le vide :  $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
- angle caractéristique de diffraction  $\theta_{diff}$  (exprimé en radian) par une ouverture circulaire  $\theta_{diff} = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{D}$ , où  $\lambda$  est la longueur d'onde du faisceau incident et  $D$  le diamètre de l'ouverture.



- Quelle propriété de la lumière permet d'expliquer le phénomène de diffraction ?
- Calculer l'écart angulaire  $\alpha$  (en radian) entre l'étoile et la planète vues depuis la Terre.
- Dans chacune des trois situations suivantes (i)  $\alpha > \theta$  (ii)  $\alpha = \theta$  (iii)  $\alpha < \theta$ , associer l'image correspondant à l'observation de l'étoile et de sa planète parmi :



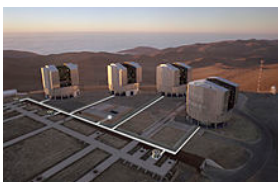
Quelle situation permet de distinguer chacun des deux astres ?

- Déterminer le diamètre minimal  $D_{min}$  d'un télescope terrestre permettant de distinguer la planète 2M1207b de l'étoile 2M1207a. On admet que la longueur d'onde des rayons lumineux provenant des deux objets célestes a pour valeur  $\lambda = 2,0 \mu\text{m}$ .
- Avec l'extra Large Telescope de 39 m de diamètre, pourra-t-on observer distinctement l'exo planète ?

## Exercice 7 : LE VLT Bac S Antilles Juin 2017

Cet exercice possède une correction vidéo disponible en ligne. La correction est mise à disposition par Monsieur Ravi Ambroise sur sa page YouTube. Je remercie ce collègue pour ce travail.

Le VLT (Very Large Telescope) est situé dans le désert d'Atacama au nord du Chili à 2 635 m d'altitude. Il est constitué d'un ensemble de quatre télescopes nommés Antu, Kueyen, Melipal et Yepun ayant des miroirs de 8,2 mètres de diamètre.



L'objectif de cet exercice est de comprendre pourquoi les scientifiques construisent des télescopes ayant des diamètres de plus en plus grands.

Lorsqu'on observe une étoile à travers un télescope, l'image apparaît sous la forme d'une tache, dont la dimension est liée aux défauts que présente l'instrument, tels que :

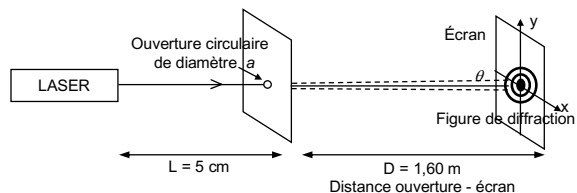
- la sensibilité aux fluctuations atmosphériques ;
- la diffraction par l'ouverture limitée de l'instrument.

### Données :

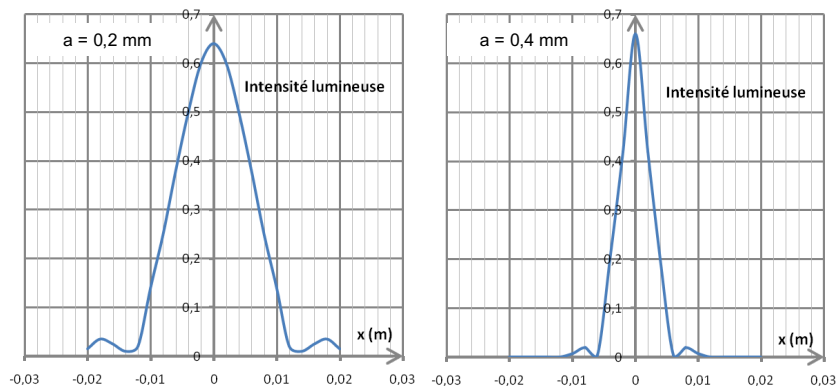
- angle caractéristique de diffraction  $\theta_{diff}$  (exprimé en radian) par une ouverture circulaire  $\theta_{diff} = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{D}$ , où  $\lambda$  est la longueur d'onde du faisceau incident et  $D$  le diamètre de l'ouverture.
- la distance Terre-Lune est égale à  $D_{T-L} = 3,8 \times 10^8$  m ;
- la vision humaine a une sensibilité maximale, en vision diurne, pour un rayonnement de longueur d'onde voisine de 560 nm.

On étudie l'influence du diamètre de l'ouverture circulaire du télescope sur la qualité de l'image formée.

Pour cela, on réalise le montage suivant (figure 1), dans lequel le laser correspond à l'étoile et le miroir du télescope est modélisé par une ouverture circulaire de diamètre  $a$  produisant un phénomène de diffraction



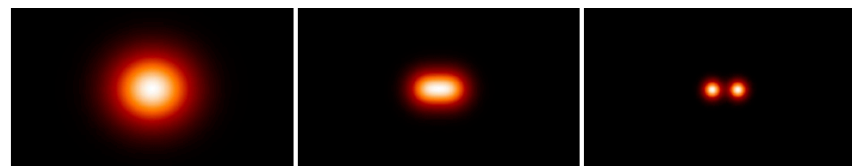
Un capteur de lumière situé sur l'écran permet de mesurer l'intensité de lumière de la figure de diffraction en fonction de la direction horizontale (axe  $x$ ). Les courbes ci-dessous ont été observées pour deux ouvertures circulaires différentes :



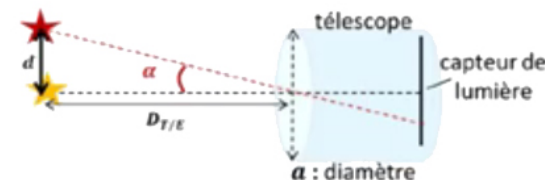
1. Quel caractère de la lumière est mis en évidence par l'apparition d'une figure de diffraction ?

2. A partir des résultats expérimentaux, déterminer la valeur du diamètre de la tache centrale de diffraction (jusqu'à 1<sup>ère</sup> extinction) observée pour les deux ouvertures. Comment évolue le diamètre de la tache quand l'ouverture du télescope augmente ?

La qualité d'un télescope est caractérisée par son pouvoir de résolution ; c'est-à-dire sa capacité à séparer deux objets très proches comme une étoile double par exemple (images ci-dessous).



L'observation, par un télescope de deux étoiles proches, séparées d'un angle  $\alpha$ , donne deux taches circulaires détectées par le capteur de lumière (voir schéma ci-dessous).



3. L'angle  $\alpha$  doit-il être plus grand ou plus petit que l'angle caractéristique de diffraction  $\theta$  (due à l'ouverture circulaire du télescope) pour observer séparément les deux étoiles ? Justifier.
4. On considère deux objets placés sur la Lune à une distance  $d$  l'un de l'autre. Déterminer la valeur minimale de la distance  $d$  pour que les deux objets puissent être séparés par :
  - a. un télescope terrestre de diamètre 4,0 m ;
  - b. un télescope du VLT ?

Aide : L'angle  $\alpha$  étant petit en radian, on peut faire l'approximation :  $\tan \alpha \approx \alpha$