

1. Session 2023 – Jour1 – Asie Pacifique

Partie A - Observation de Titan à l'œil nu

1. Montrer que l'angle θ sous lequel se présente Titan depuis la Terre vaut approximativement $3,6 \times 10^{-6}$ rad.

Partie B - Observation de Titan à l'aide d'une lunette astronomique

Une élève se rend à l'Observatoire historique de Marseille pour observer Saturne et ses satellites. Elle fait ses observations à l'aide d'une lunette astronomique dont les caractéristiques sont données ci-dessous.

Objectif : Distance focale $f'_{ob} = 3,10$ m. Diamètre $d_{ob} = 260$ mm.

Partie C - Limites d'observation de la lunette astronomique

Le grossissement de la lunette n'est pas une donnée suffisante pour être assuré d'observer correctement Titan.



Tache d'Airy

En effet, la lunette astronomique devrait former, à partir d'un point objet, un point image. Mais le caractère ondulatoire de la lumière entraîne la formation d'une tache à la place du point image souhaité. Cette tache, provoquée par la monture de l'objectif de diamètre d_{ob} , est constituée de cercles lumineux concentriques appelée tache d'Airy (voir ci-contre). Ce phénomène limite le pouvoir de résolution de la lunette (voir **document 2** ci-dessous).

Document 2 – Pouvoir de résolution d'un instrument optique

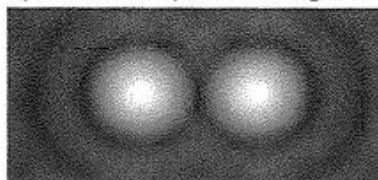
Le pouvoir de résolution est lié à la capacité à discerner les détails à travers un système optique (microscope, télescope, lunette, œil...). Il est caractérisé par un angle noté α .

Pour une lunette, il a pour expression :

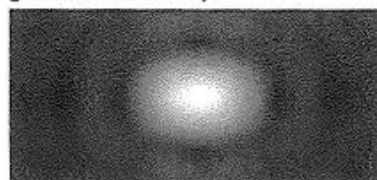
$$\alpha = \frac{1,22 \times \lambda}{d_{ob}}$$

où λ est la longueur d'onde du faisceau incident et d_{ob} le diamètre de l'objectif.

La lunette astronomique permet de distinguer deux points à condition que l'écart angulaire θ' entre ces deux points soit supérieur ou égal à l'angle α (voir figures ci-dessous).



$\theta' > \alpha$: les deux points peuvent être discernés



$\theta' \leq \alpha$: les deux points ne peuvent pas être discernés

10. Nommer le phénomène physique qui limite le pouvoir de résolution de la lunette.

Un critère retenu pour voir correctement Titan est de pouvoir distinguer ses pôles, repérés par les points A et B (schéma ci-contre).



11. Pour la longueur d'onde du visible $\lambda = 550 \text{ nm}$ et pour un grossissement $G = 260$, vérifier que la lunette permet d'observer Titan correctement.

12. Expliquer pourquoi il est préférable d'utiliser des lunettes avec un objectif ayant un grand diamètre d'ouverture.

On verra à la séquence 19 : $\theta' = G \times \theta$ où θ' désigne l'angle sous lequel est vu Titan à travers la lunette.

2. Session 2023 – Jour1 – Polynésie

Détermination de la distance entre deux molécules.

Dorothy Crowfoot utilise les rayons X pour comprendre comment s'ordonnent les molécules au sein de cristaux d'insuline.

Les molécules qui constituent le cristal sont repérées par des disques noirs sur la figure 2.

Les rayons X arrivent parallèles entre eux et sont réfléchis par les molécules. Les ondes réfléchies interfèrent entre elles.

La figure 2 représente une coupe de plans passant par les centres des molécules, espacées d'une distance L . L'angle θ détermine l'incidence d'un faisceau parallèle de rayons X sur ces plans.

Pas de figure 2.

Q7. À l'aide de la figure 3 suivante représentant l'évolution temporelle de l'amplitude de trois ondes α , β et ε en ce point, choisir deux ondes qui permettent d'obtenir des interférences constructives puis deux ondes qui permettent d'obtenir des interférences destructives. L'échelle temporelle est la même sur les trois graphes.

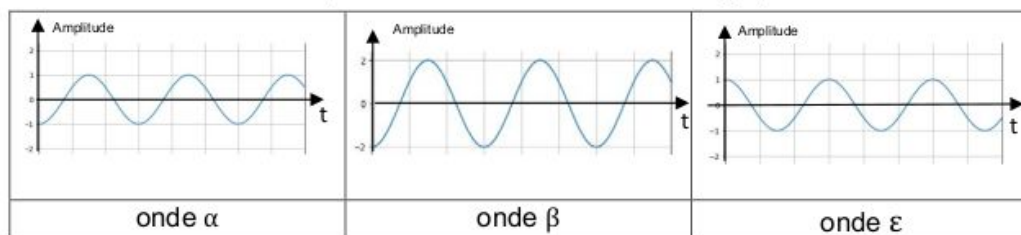


Figure 3. Graphiques représentant l'amplitude de trois ondes de même fréquence en fonction du temps.

Données :

- La différence de chemin optique δ entre les deux rayons X réfléchis représentés sur la figure 2 vaut $\delta = 2 \cdot L \cdot \sin \theta$;
- Si la différence de chemin optique $\delta = k \times \lambda$, avec k entier non nul, alors les interférences sont constructives ;
- L'angle d'incidence θ des rayons X vaut 10° ;
- La longueur d'onde λ des rayons X vaut $0,150 \text{ nm}$;
- $1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$.

Afin que les rayons X puissent interagir avec le cristal, il faut que l'ordre de grandeur de la distance L soit le même que celle de la longueur d'onde λ des rayons X.

Q8. À l'aide des données précédentes, déterminer la valeur de la longueur L dans le cristal, dans le cas où l'on obtient des interférences constructives pour une différence de chemin optique minimale.

EXERCICE C - ACOUSTIQUE D'UNE SALLE (5 points).

Mots-clés : ondes lumineuses et sonores, angles caractéristiques de diffraction

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 λ 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. »

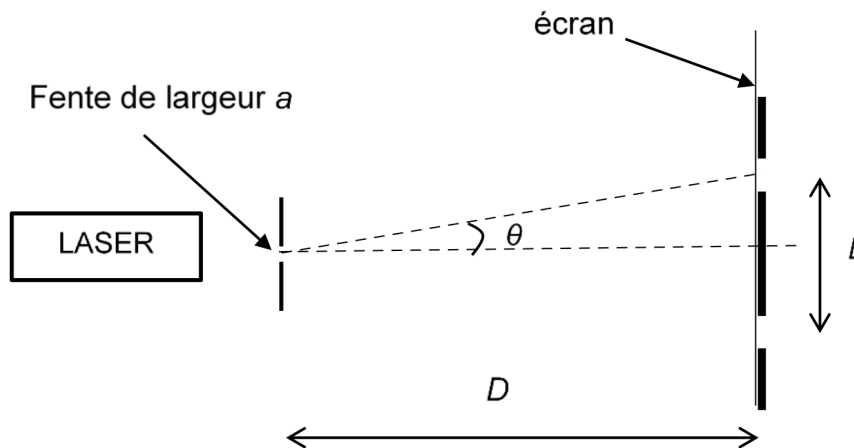


Figure 1. Schéma du montage expérimental

L'angle caractéristique de diffraction θ , en radian, a pour expression : $\theta = \frac{\lambda}{a}$. L'angle θ étant petit, on peut considérer que la valeur de la tangente de l'angle θ est égale à l'angle θ : $\tan \theta = \theta$.

1. Montrer que la largeur L de la tâche centrale de diffraction a pour expression :

$$L = \frac{2\lambda D}{a}.$$

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.

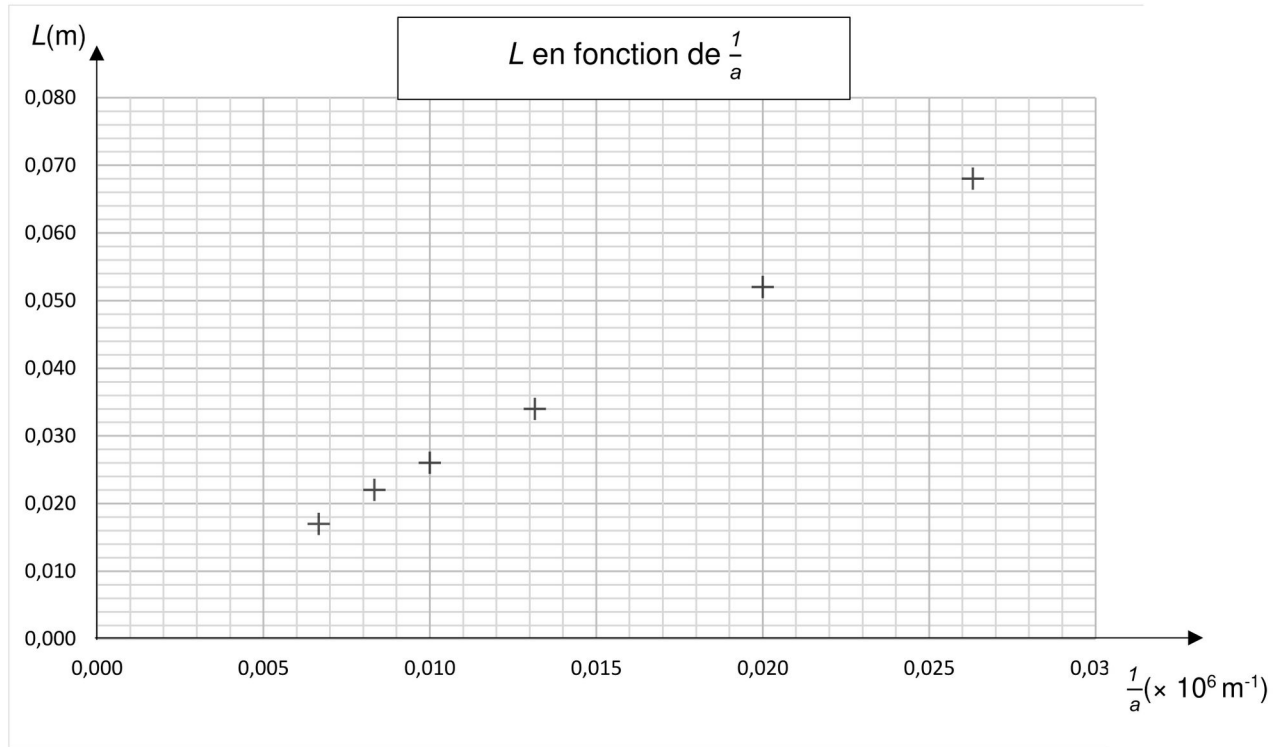


Figure 2. Graphique représentant la largeur de la tâche centrale L en fonction de $\frac{1}{a}$

- À l'aide de la figure 2, montrer que la relation entre L et $\frac{1}{a}$ est du type $L = k \times \frac{1}{a}$.
 - En utilisant la relation donnée question 1. indiquer l'expression de k en fonction de λ et D .
 - Montrer que la valeur de la longueur d'onde λ est égale à $6,5 \times 10^{-7}$ m.
- La valeur de l'angle θ_1 correspondant à la fente de largeur $a_1 = 38 \mu\text{m}$ est égale à $1,7 \times 10^{-2}$ rad.
- Déterminer la valeur de l'angle θ_2 , en radian, correspondant à la fente de largeur a_2 égale à $150 \mu\text{m}$.
 - 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°C : $V_{son} = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

7. Exprimer la longueur d'onde λ d'une onde sonore en fonction de la vitesse du son V_{son} et de sa fréquence f .

8. Montrer que les longueurs d'onde λ_1 et λ_2 correspondant aux sons de fréquence f_1 et f_2 ont pour valeurs $\lambda_1 = 1,70 \text{ m}$ et $\lambda_2 = 0,340 \text{ m}$.

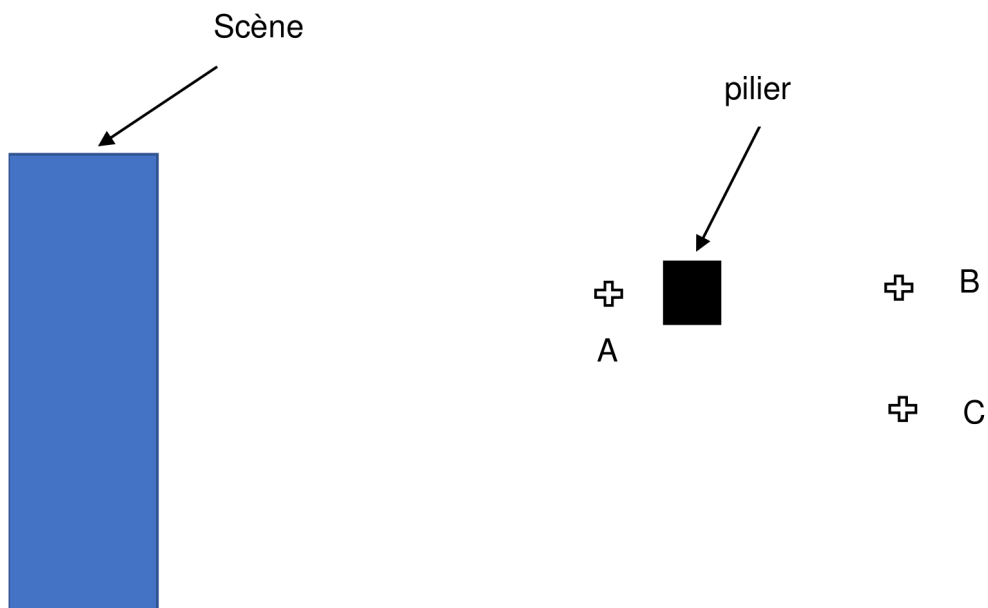


Figure 3. Schéma de la situation

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.

EXERCICE C - QUELLE TAILLE POUR LES MAILLES D'UN TAMIS ?

Mots-clés : diffraction et interférences d'ondes lumineuses

Les artémies (voir photo ci-contre) sont des crustacés élevés pour nourrir les poissons des aquariums. Leur taille doit être adaptée à l'espèce de poisson à nourrir. On utilise des tamis calibrés pour les sélectionner.

On se propose dans cet exercice de déterminer la taille des mailles d'un tamis en utilisant une diode laser de longueur d'onde $\lambda = (650 \pm 10)$ nm.



Source : <https://fr.m.wikipedia.org>

1. Vérification de la valeur de la longueur d'onde de la diode laser utilisée

Pour vérifier la valeur de la longueur d'onde de la diode laser annoncée par le constructeur, on réalise une expérience dont le schéma est donné ci-dessous (figure 1).

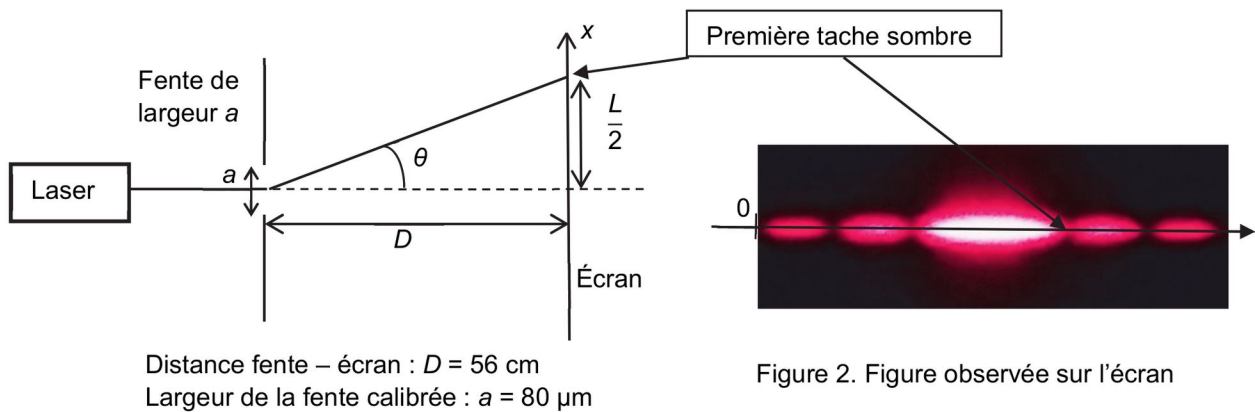


Figure 1. Schéma de l'expérience (échelle non respectée)

1.1. Nommer le phénomène physique responsable des taches lumineuses observées sur l'écran. Discuter qualitativement de l'influence de la largeur de la fente et de la longueur d'onde de l'onde incidente sur le phénomène observé.

1.2. On rappelle que l'angle θ est donné par la relation $\theta = \frac{\lambda}{a}$ et on considère que $\tan \theta \approx \theta$ pour les petits angles ($\theta \ll 1$ rad). Déterminer l'expression de l'angle θ en fonction de la largeur L de la tache centrale et de D . En déduire l'expression de la longueur d'onde λ en fonction de L , a et D .

Pour faire une mesure précise, on remplace l'écran par une caméra qui permet d'obtenir l'intensité lumineuse relative* en fonction de la position x , repérée selon l'axe indiqué sur la photo de la figure 2. L'origine $x = 0$ m est prise sur le bord du capteur de la caméra. On obtient alors la figure 3.

* L'intensité lumineuse relative est le rapport de l'intensité lumineuse reçue par le capteur sur l'intensité maximale reçue.

1.3. Déterminer la valeur de la longueur d'onde de la diode laser utilisée en exploitant la courbe obtenue sur la figure 3. La comparer à la valeur indiquée par le constructeur.

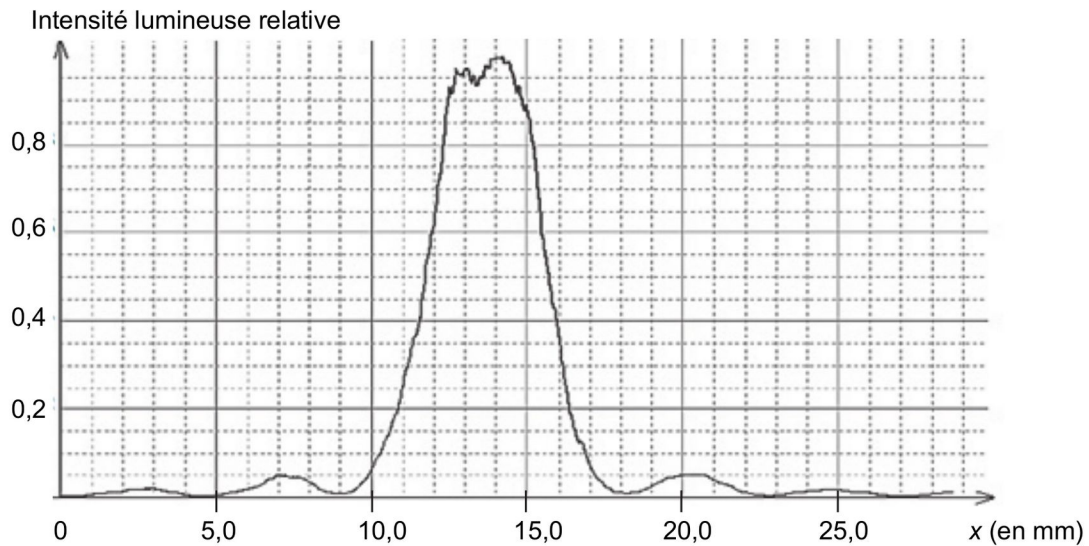


Figure 3. Intensité lumineuse relative en fonction de la position sur l'écran

2. Calibrage du tamis de récupération

Le but de cette partie est de vérifier que le tamis disponible, dont le maillage est représenté sur la figure 5, permet de récupérer toutes les artémies d'une taille supérieure à $150\ \mu\text{m}$. On réalise une expérience d'interférences pour évaluer les dimensions du tamis en utilisant la diode laser précédente. La largeur du fil plastique constituant le tamis est égale à $230\ \mu\text{m}$.

L'expérience d'interférences est décrite ci-dessous :

- le montage utilisé est donné sur la figure 4 ;
- on utilise la diode laser de longueur d'onde $\lambda = (650 \pm 10)\ \text{nm}$. La distance entre le tamis et l'écran vaut $D = (7,75 \pm 0,03)\ \text{m}$;
- on note b la distance entre les centres de deux trous consécutifs du maillage du tamis ;
- la figure d'interférences obtenue est donnée sur les figures 6 et 7.

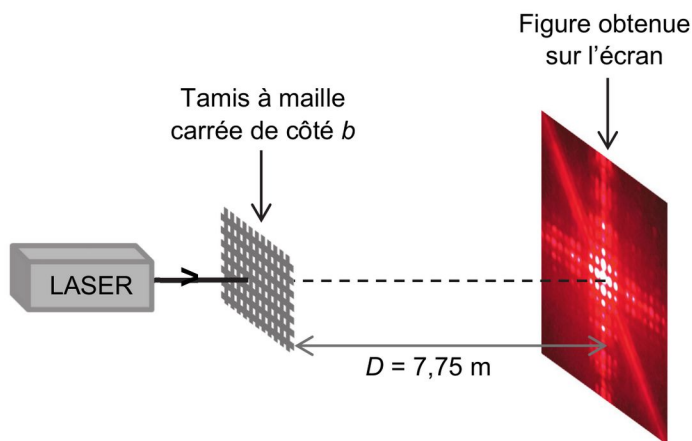


Figure 4. Montage utilisé (échelle non respectée)

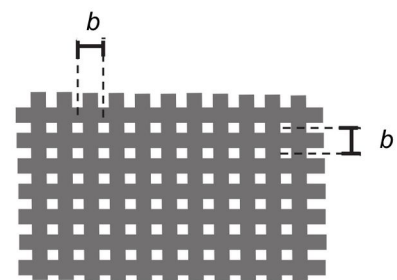


Figure 5. Schéma du maillage du tamis

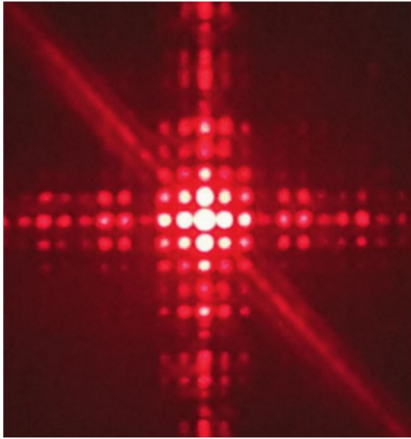


Figure 6. Figure d'interférences obtenue

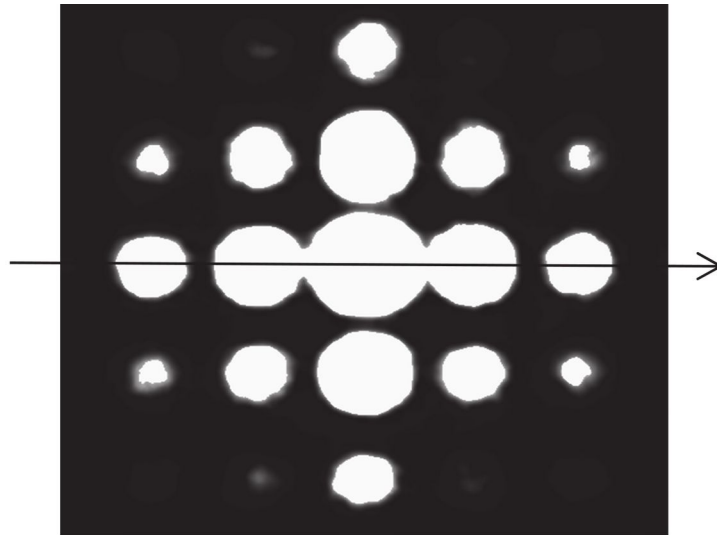


Figure 7. Tache centrale de la figure d'interférences à l'échelle 1/1

2.1. Expliquer brièvement, sans calcul, l'origine de la présence de zones sombres et de zones brillantes dans une figure d'interférences lumineuses.

Le centre de la figure d'interférences de la figure 6 est représenté sur la figure 7 ci-dessus à l'échelle 1/1. L'interfrange, noté i , est défini comme la distance entre les centres de deux taches lumineuses successives selon l'axe identifié sur la figure 7.

L'expression de l'interfrange est donnée par la relation : $i = \frac{\lambda \times D}{b}$.

L'incertitude-type $u(b)$ sur la grandeur b peut se calculer à partir de la relation :

$$\frac{u(b)}{b} = \sqrt{\left(\frac{u(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{u(i)}{i}\right)^2 + \left(\frac{u(\lambda)}{\lambda}\right)^2}$$

où $u(x)$ désigne l'incertitude-type associée à la grandeur x

2.2. Évaluer la valeur de l'interfrange i en explicitant la méthode suivie pour obtenir la meilleure précision. Évaluer l'incertitude-type $u(i)$ sur la mesure de l'interfrange i .

2.3. Calculer b puis évaluer $u(b)$.

2.4. Indiquer si le tamis étudié permet de récupérer les artémies voulues. Justifier.

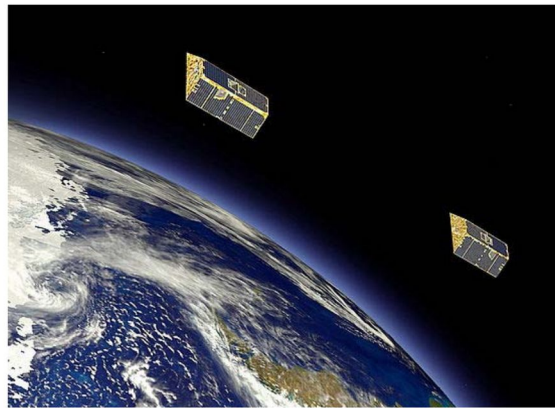
EXERCICE 1 COMMUN À TOUS LES CANDIDATS

LA MISSION GRACE-FO (10 POINTS)

Mots-clés : mouvement d'un satellite ; 2^{ème} loi de Newton ; champ de gravitation ; champ électrique ; interférences lumineuses ; capacité d'un condensateur.

L'attraction gravitationnelle de notre planète varie faiblement d'un mois à l'autre. Ces faibles variations de la gravité sont principalement dues à une infime fraction de la masse terrestre, constamment en mouvement, essentiellement de l'eau : la pluie tombe, la rosée s'évapore, les courants océaniques coulent, la glace fond...

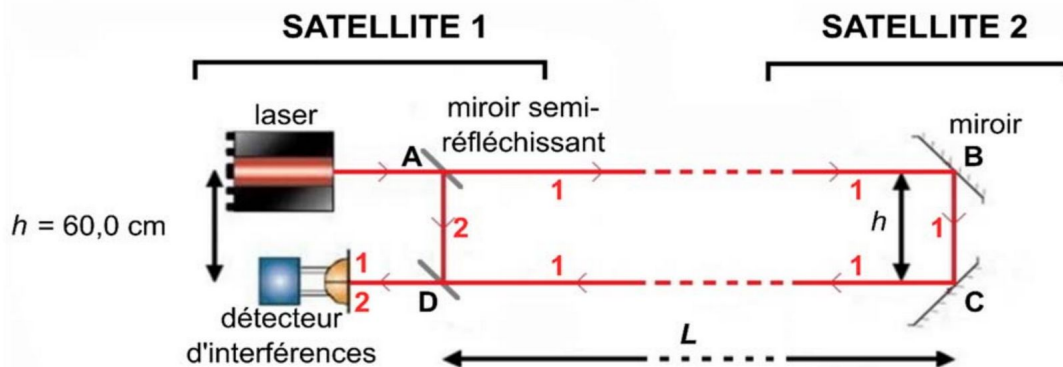
Le 22 mai 2018, deux satellites scientifiques GRACE-FO (Gravity Recovery and Climate Experiment – Follow-on) sont lancés. Ces deux satellites jumeaux situés sur la même orbite ont pour objectif de mesurer avec une grande précision les variations mensuelles du champ de gravité de la Terre afin de suivre les masses d'eau liquide ou gelée.



B. Principe de fonctionnement de l'interféromètre embarqué

Le satellite de tête est affecté en premier par un changement du champ gravitationnel, cela engendre alors une légère modification de la distance le séparant du 2^{ème} satellite. La mesure, par interférométrie, des variations de distance entre les deux satellites permet d'accéder à l'évolution du champ gravitationnel dans la région survolée. À cet effet, un interféromètre laser, dont une partie est embarquée dans le satellite de tête et l'autre partie dans le 2^{ème} satellite, détermine avec une très grande précision la variation de distance, notée d , entre les deux satellites.

Le schéma simplifié du principe de fonctionnement de l'interféromètre est le suivant :



(Les échelles ne sont pas respectées)

Le faisceau lumineux issu du laser se sépare en deux faisceaux au niveau du miroir semi-réfléchissant A : un faisceau 1 parcourant le trajet ABCD, un faisceau 2 parcourant le trajet AD. Les faisceaux 1 et 2 se réunissent en D pour atteindre le détecteur d'interférences.

Le laser utilisé émet un rayonnement infrarouge de longueur d'onde λ égale à 1064 nm dans le vide.

- B.1.** Justifier que le dispositif présenté par le schéma simplifié permet d'obtenir des interférences.
- B.2.** Définir le phénomène d'interférence constructive de deux ondes.
- B.3.** En utilisant les informations figurant sur le schéma, établir l'expression de la différence de marche δ en fonction de L .

Le satellite 1 s'éloigne d'une distance d du satellite 2. Les deux satellites sont maintenant distants de $L + d$.

- B.4.** Montrer alors que la variation $\Delta\delta$ de la différence de marche vaut $2d$.

Le détecteur d'interférences est capable de repérer au mieux une variation de différence de marche qui correspond à deux états immédiatement successifs d'interférence constructive.

- B.5.** Justifier que la variation de distance d correspondant à deux états immédiatement successifs d'interférence constructive est égale à $\frac{\lambda}{2}$.
- B.6.** Calculer alors la plus petite valeur de la variation de distance entre les deux satellites détectable par l'interféromètre.