

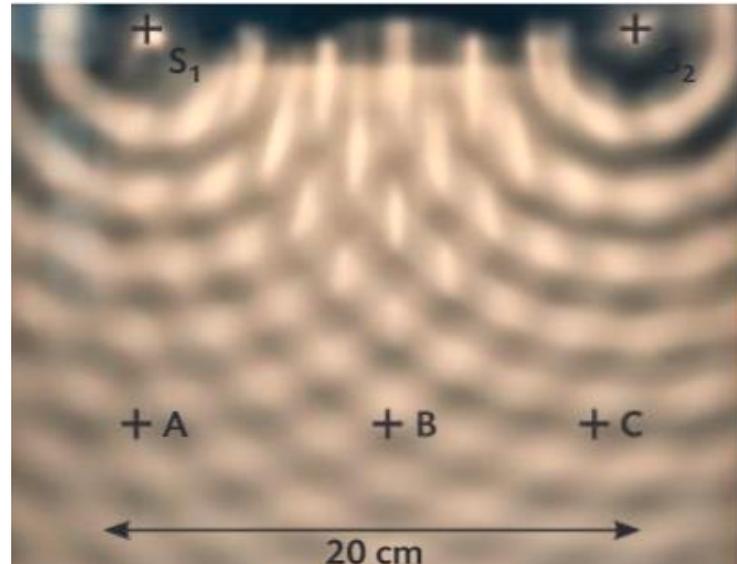
EXERCICES. INTERFÉRENCES

Exercice 1. Interférences à la surface de l'eau

Des ondes issues de deux sources ponctuelles en phase interfèrent à la surface de l'eau d'une cuve à ondes (photo ci-contre).

- Justifier que les deux ondes peuvent interférer.
- Montrer que leur longueur d'onde est de 2,6 cm.
- Rappeler les conditions, sur la différence de chemin δ entre les deux ondes, pour que l'interférence soit constructive ou destructive en un point M de la surface.
- Comment est l'interférence au point B ? Justifier sans calcul.
- À partir des données du tableau ci-dessous, préciser la nature de l'interférence en A et C.

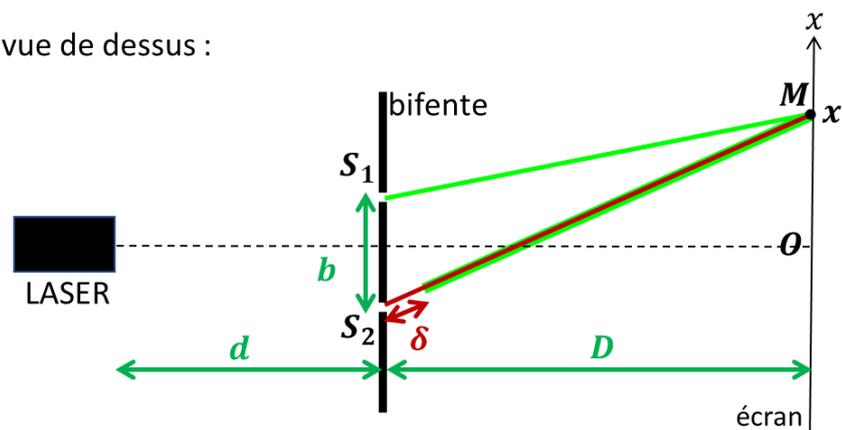
point	A	C
distance depuis S_1 (cm)	14,9	22,6
distance depuis S_2 (cm)	24,1	14,9



Exercice 2. Interférences lumineuses

On réalise le dispositif schématisé ci-contre afin de produire des interférences lumineuses sur l'écran. Les deux fentes S_1 et S_2 ont la même largeur et sont distantes de b .

vue de dessus :



Données :

- interfente : $b = 500 \mu\text{m}$
- $d = 20,0 \text{ cm}$ $D = 4,00 \text{ m}$
- $\lambda = 650 \text{ nm}$ (LASER rouge)
- différence de chemin optique entre les ondes issues de S_1 et S_2 au point M d'abscisse x : $\delta = \frac{b \times x}{D}$

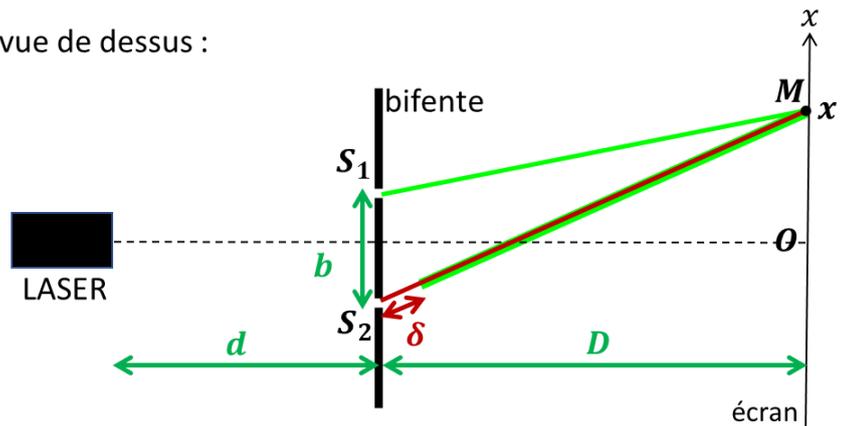
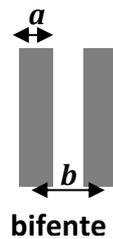
Questions.

- Justifier qu'on puisse observer des interférences lumineuses sur l'écran.
- Au point O sur l'écran, la frange d'interférence est-elle brillante ou sombre ? Justifier sans calcul.
- Schématiser la figure d'interférence vue à l'écran et y représenter l'interfrange i .
- Établir l'expression de l'interfrange i en fonction de λ , b et D .
- Donner, en mm, la valeur de l'interfrange i obtenue avec le LASER rouge.
- Le point M de l'écran est-il au centre d'une frange brillante ou d'une frange sombre si :
 - $x = 5,2 \text{ cm}$
 - $x = 3,9 \text{ cm}$
- Préciser comment varie l'interfrange dans les expériences suivantes successives, où l'on fait varier à chaque fois un seul paramètre :
 - remplacement du LASER rouge par un LASER vert
 - éloignement de l'écran de la bifente
 - rapprochement du LASER de la bifente
 - réduction de la distance entre les deux trous de la bifente

Exercice 3. Détermination de l'interfente d'une bifente

On réalise une figure d'interférences avec une bifente (largeur de fente a , interfente b) avec le dispositif schématisé ci-dessous :

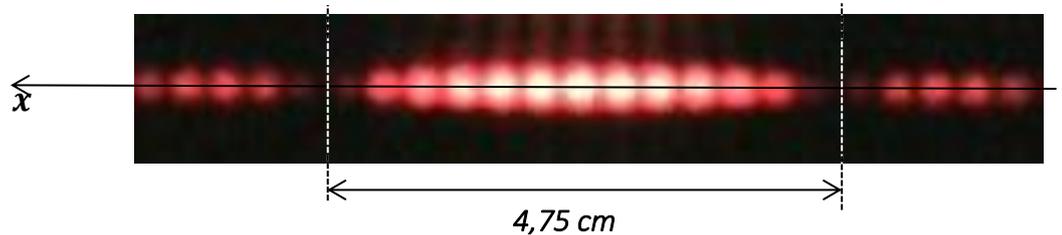
vue de dessus :



Données :

- $d = 20,0 \text{ cm}$ $D = 1,50 \text{ m}$
- $\lambda = 650 \text{ nm}$ (LASER rouge)
- différence de chemin optique entre les ondes issues de S_1 et S_2 au point M d'abscisse x : $\delta = \frac{b \times x}{D}$

On obtient alors à l'écran la figure suivante :



Questions.

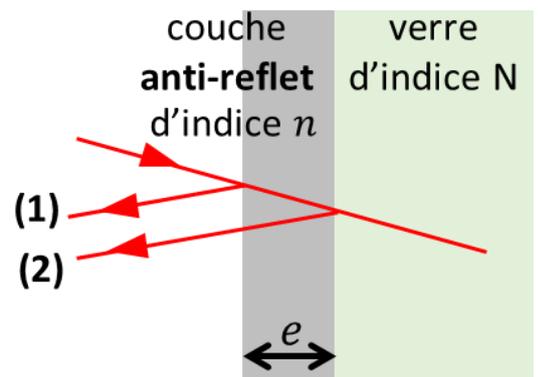
1. Établir l'expression de l'interfrange i en fonction de λ , b et D .
2. À l'aide des données expérimentales, montrer que l'interfrange vaut $3,65 \text{ mm}$.
3. Déterminer une valeur expérimentale de l'interfente b en mm .
4. Déterminer un encadrement de la valeur expérimentale de b .

On donne l'expression de son incertitude: $U(b) = b \times \sqrt{\left(\frac{U(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{U(i)}{i}\right)^2 + \left(\frac{U(\lambda)}{\lambda}\right)^2}$.

avec $U(D) = 6 \text{ mm}$ $U(i) = 0,05 \text{ mm}$ $U(\lambda) = 1,2 \text{ nm}$

Exercice 4. Couche anti-reflet

On utilise un laser de longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 650 \text{ nm}$ pour éclairer l'intérieur d'une cuve dont les parois sont en verre d'indice de réfraction N . Pour éviter les réflexions du faisceau sur la face d'entrée du dispositif, on désire la recouvrir d'une couche anti-reflet dont l'indice de réfraction est $n = 1,35$. On souhaite déterminer l'épaisseur e de la couche anti-reflet à appliquer sur le verre pour annuler le reflet du laser en incidence normale (rayons incidents perpendiculaires à la surface). À cette fin, on met à profit le phénomène d'interférences. En effet, sur le schéma ci-contre, le faisceau (2) parcourt une distance plus importante que le premier (1) car il effectue un aller-retour supplémentaire à l'intérieur de la couche d'indice n . Il en résulte une différence chemin optique entre les deux rayons $\delta = 2ne$. (Pour plus de lisibilité, les rayons ont été représentés légèrement inclinés par rapport à la normale sur la figure ci-dessus).

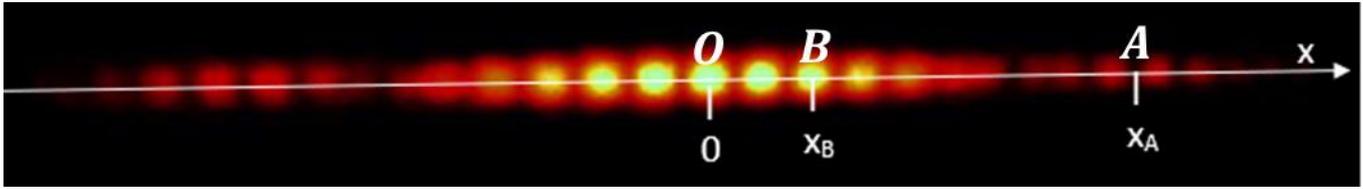


Questions.

1. Pour supprimer le reflet, les interférences entre les faisceaux (1) et (2) doivent-elles être constructives ou destructives ? Justifier.
2. Pour le laser utilisé, calculer la plus petite valeur de l'épaisseur e de cette couche anti-reflet.

Exercice 5. Influence d'une lame de verre

Une expérience d'interférences lumineuses est réalisée avec les fentes de Young (bifente), éclairées perpendiculairement à leur plan par un faisceau laser de fréquence $\nu = 4,62 \times 10^{14} \text{ Hz}$. Les deux fentes fines F_1 et F_2 sont séparées d'une distance $b = 0,50 \text{ mm}$. La figure d'interférences est observée dans un plan parallèle au plan des fentes et situé à une distance $D=2,00 \text{ m} \gg b$:



La position du point M sur l'écran d'observation, est repéré par son abscisse x sur l'axe (Ox) orienté vers le haut et dont l'origine se trouve sur la médiatrice du segment $[F_1F_2]$. Au point M d'abscisse x , la différence de chemin optique est $\delta = \frac{n_{air} \times b \times x}{D}$ avec $n_{air} = 1,00$.

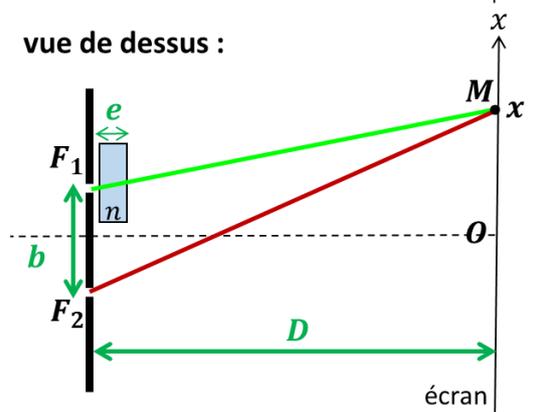
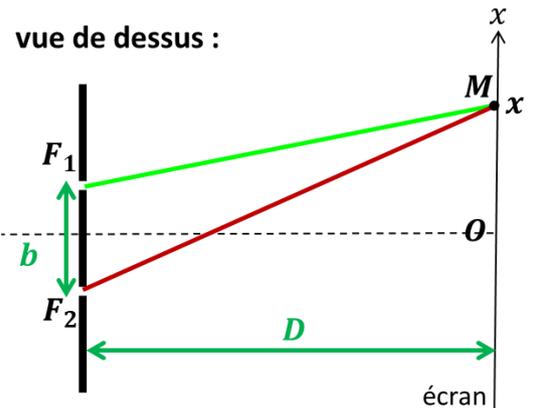
1. Calculer la longueur d'onde du laser.
2. Indiquer la nature des interférences aux points O, A et B.
3. Établir l'expression de l'interfrange i puis calculer sa valeur.
4. En déduire la nature des franges aux points d'abscisse :
 $x_1 = 1,30 \text{ cm}$ et $x_2 = -2,21 \text{ cm}$.

Sur le trajet de la lumière, une lame en verre, d'épaisseur $e = 100 \mu\text{m}$ et d'indice de réfraction n , est placée devant la fente F_1 . La différence de chemin optique devient alors : $\delta = \frac{n_{air} \times b \times x}{D} - (n - n_{air}) \times e$. L'interfrange est inchangé mais la frange centrale brillante obtenue pour une différence de chemin optique nulle se décale et se situe à l'abscisse $x = +21,0 \text{ cm}$.

5. Déterminer l'indice de réfraction du verre et indiquer s'il peut s'agir d'un verre flint.

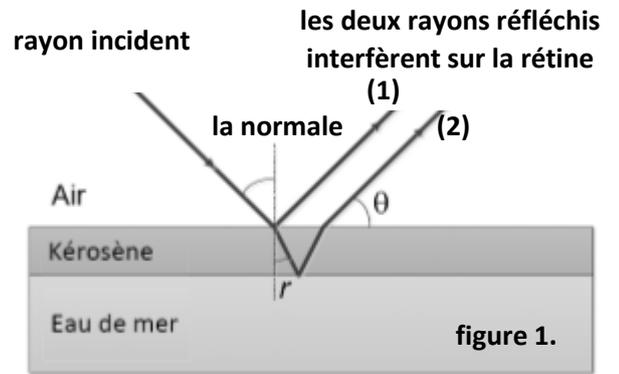
donnée : Le verre flint, très utilisé en cristallerie d'art pour sa brillance, a un indice de réfraction élevé (voisin de 1,7) alors que l'indice d'un verre ordinaire est voisin de 1,5.

6. La présence de la lame de verre modifie-t-elle la valeur de l'interfrange ? Justifier.

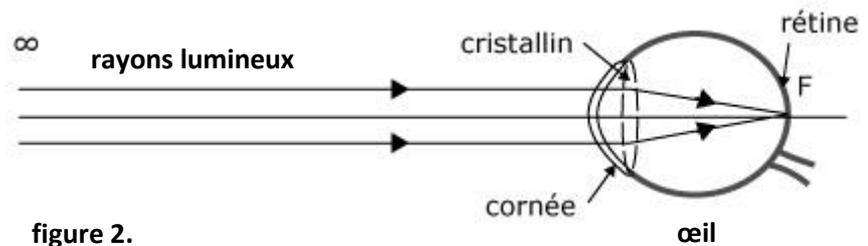


Exercice 6. Nappe de kérosène

Un pétrolier indélicat a laissé s'échapper dans l'océan une grande quantité de kérosène (d'indice de réfraction $n = 1,448$) qui forme une nappe très étendue de faible épaisseur $e = 0,44 \mu\text{m}$ à la surface de l'eau. Lorsque cette nappe est vue depuis un avion, on observe des irisations (reflets colorés) dont les couleurs changent suivant l'angle θ d'observation. On peut modéliser la situation par la **figure 1** ci-contre.



Les deux rayons réfléchis, l'un (1) sur l'interface (air-kérosène), l'autre (2) sur l'interface (kérosène-eau) ressortent dans l'air, parallèles entre eux, et interfèrent sur la rétine de l'observateur comme le montre la **figure 2** ci-contre.



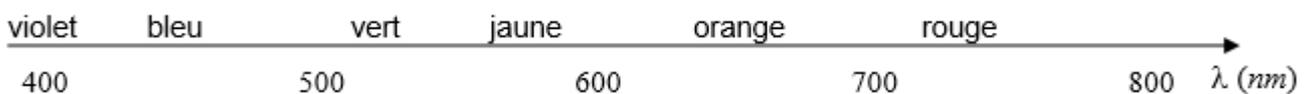
1. Lequel des deux rayons réfléchis (1) et (2) a parcouru une distance plus grande avant d'atteindre la rétine de l'observateur ? Justifier.

Lorsque le rayon incident arrive perpendiculairement à la surface de l'eau (incidence normale), la différence de chemin optique entre les rayons (1) et (2) est : $\delta = 2ne + \frac{\lambda}{2}$ où n est l'indice de réfraction du kérosène, e est l'épaisseur de la couche de kérosène et λ la longueur d'onde du rayon lumineux.

2. À quelle condition sur δ les rayons (1) et (2) interfèrent-ils constructivement ? Cette condition fera apparaître un entier naturel noté k .
3. Calculer les longueurs d'onde pour lesquelles il se produit des interférences constructives pour $k = 1, 2, 3$ et 4 .
4. En déduire de quelle couleur apparaît la nappe de kérosène pour un observateur au-dessus et à la verticale de la nappe.

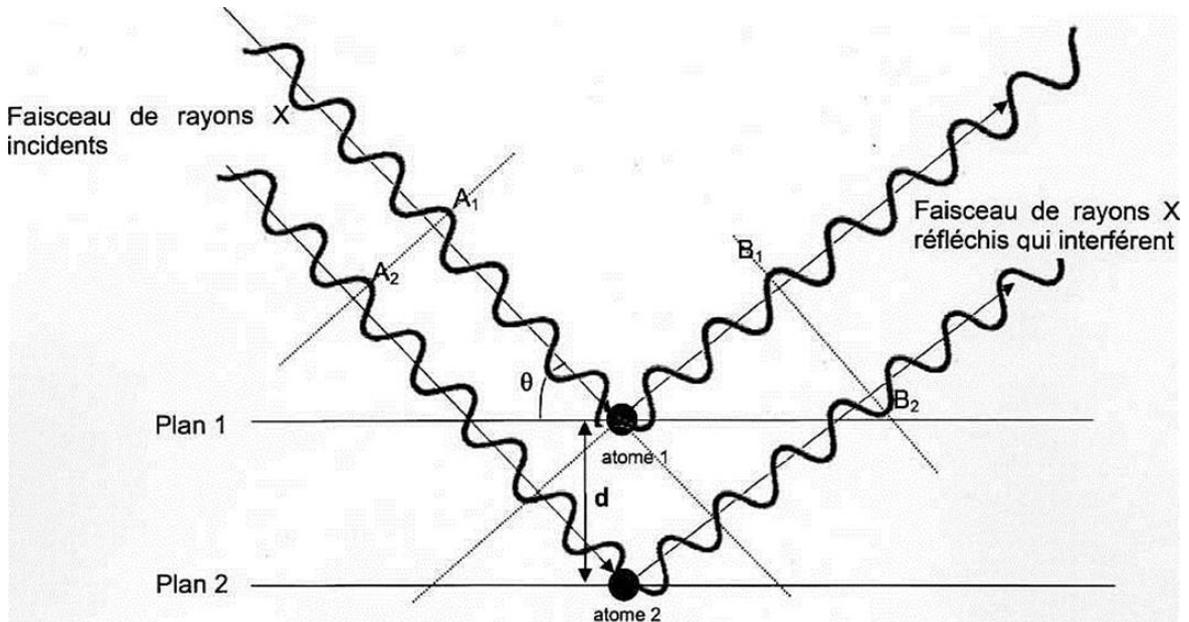
Donnée :

Le spectre visible :



Exercice 7. Application des interférences à l'étude des structures cristallines

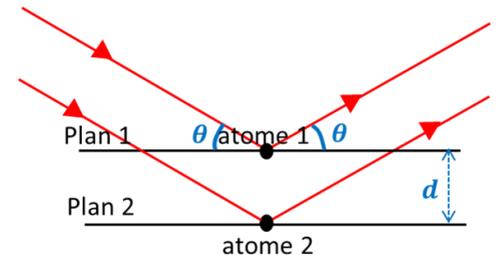
Les rayons X sont utilisés pour explorer la matière et par exemple pour évaluer la distance d entre deux plans 1 et 2 voisins d'atomes dans un cristal. Lorsqu'on envoie un faisceau de rayons X de longueur d'onde λ sur un cristal, ils sont réfléchis par les atomes qui constituent le cristal. Les ondes réfléchies par les atomes interfèrent. On peut représenter de façon très simplifiée cette situation par le schéma suivant :



Donnée : la différence de chemin optique entre deux ondes incidentes qui se réfléchissent sur deux plans successifs est donnée par la relation : $\delta = 2d\sin\theta$ où d est la distance entre deux atomes voisins et θ l'angle entre le rayon et le plan.

1. Écrire la condition sur δ pour que les interférences observées soient :
 - a) constructives
 - b) destructives
2. Dans la situation du schéma ci-dessus, indiquer la nature des interférences observées entre les deux rayons réfléchis par les deux atomes.
3. Dans la situation du schéma (correspondant à une différence de chemin minimale) on a mesuré un angle $\theta = 5,17^\circ$ pour une longueur d'onde de 0,154 nm. En déduire la distance entre deux plans successifs d'atomes dans le cristal.
4. À l'aide du schéma ci-contre, démontrer la relation $\delta = 2d\sin\theta$ (dans l'air).

Donnée : La différence de chemin optique est obtenue en multipliant la différence de chemin géométrique par l'indice de réfraction du milieu.

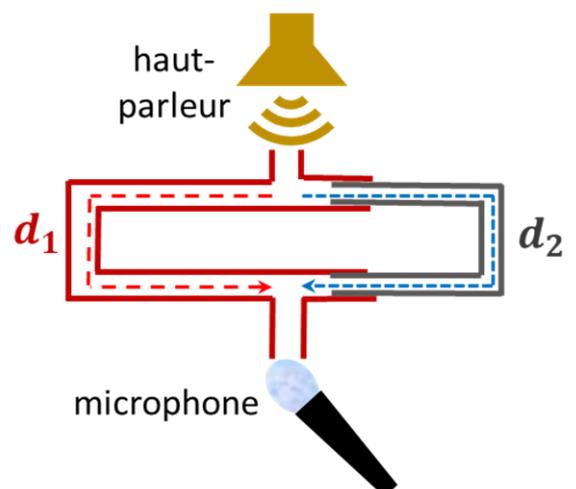


Exercice 8. Interférences sonores

Un haut-parleur génère un son pur de fréquence $f = 1000 \text{ Hz}$ à l'entrée d'un dispositif comprenant deux tubes de longueurs $d_1 = 98 \text{ cm}$ et $d_2 = 47 \text{ cm}$ (schéma ci-contre).

Question : Le son perçu par le microphone est-il fort ou très faible ? Justifier.

Donnée : à la température de l'expérience, la célérité du son est de $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$



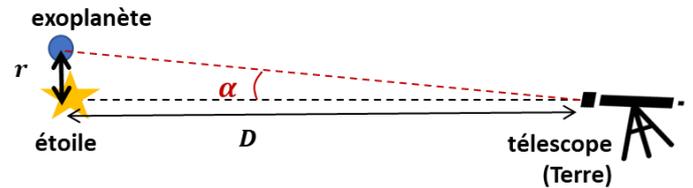
Exercice 9. Application des interférences en astronomie

La première planète extrasolaire dont on a pu faire une image par observation directe dans le proche infrarouge s'appelle 2M1207b. Cette exoplanète orbite à une distance estimée à $r = 55 \text{ UA}$ (unité astronomique) autour de l'étoile 2M1207a, située à $D = 230 \text{ al}$ (année lumière) de la Terre. L'écart angulaire α entre l'étoile et la planète est l'angle sous lequel sont vues l'étoile et sa planète depuis un télescope sur Terre (schéma ci-dessous).

1. Calculer l'angle α . Préciser l'approximation réalisée.

Données :

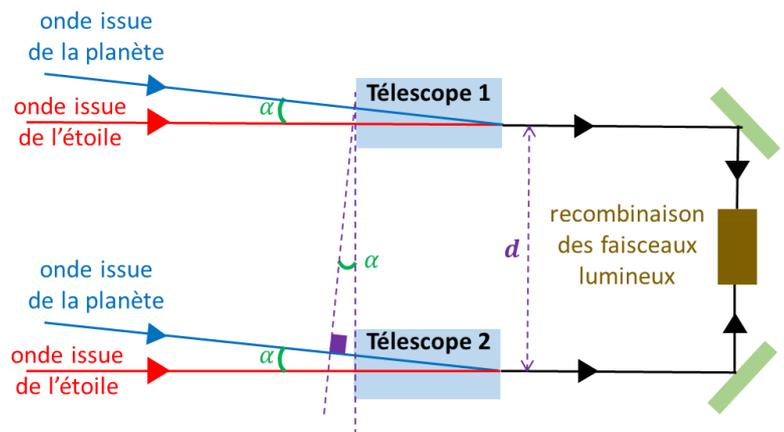
$$1 \text{ U.A} = 1,496 \times 10^{11} \text{ m} ; 1 \text{ al} = 9,461 \times 10^{15} \text{ m}$$



En général, les planètes sont peu lumineuses par rapport aux étoiles ce qui rend difficile leur observation. Un dispositif interférométrique, décrit dans le **document ci-dessous**, a été proposé en 1978 par le physicien australien Ronald N. Bracewell et permet de contourner ce problème. L'objectif est d'éliminer le signal de l'étoile tout en permettant l'enregistrement du signal émis par la planète.

Document :

On considère deux télescopes identiques dont les lignes de visée sont dirigées vers une étoile lointaine. La direction d'une exoplanète à proximité de l'étoile fait un angle α avec la ligne de visée. Dans ce dispositif, les faisceaux issus des deux télescopes sont recombinaison grâce à un dispositif optique (dispositif de Bracewell) situé à égale distance des deux télescopes.



Recombinaison des signaux issus de l'étoile

2. Justifier que, dans le dispositif décrit dans le document, les rayons lumineux issus de l'étoile et captés par les télescopes interfèrent de manière constructive au niveau de la recombinaison.
3. On appelle T la période de l'onde lumineuse. L'idée de Bracewell est d'ajouter, juste après le télescope 2, un système optique permettant d'ajouter un retard d'une demi-période $\frac{T}{2}$ sur le signal provenant de ce télescope. Montrer que ce système optique produit des interférences destructives entre les deux rayons issus de l'étoile au niveau de la recombinaison. Quelle sera alors l'intensité du signal lié à l'étoile ?

Recombinaison des signaux issus de l'exoplanète

Les rayons lumineux issus de l'exoplanète arrivent sur les dispositifs interférométriques en faisant un angle α avec la ligne de visée.

4. À l'aide du triangle rectangle apparaissant dans le schéma du dispositif, établir l'expression de la différence de chemin optique δ entre les deux rayons issus de la planète en fonction de la distance d entre les deux miroirs et l'angle α . **Donnée** : La différence de chemin optique est obtenue en multipliant la différence de chemin géométrique par l'indice de réfraction du milieu.
5. En déduire que le signal lumineux atteignant le télescope 2 arrive avec un retard $\tau = \frac{d \times \sin \alpha}{c}$ où c est la célérité de la lumière dans le vide.
6. Exprimer le retard τ' du signal issu du télescope 2 par rapport au signal issu du premier télescope en tenant compte également du dispositif de Bracewell.
7. Donner la condition sur le retard τ' pour que l'interférence entre les deux signaux soit constructive en fonction d'un entier k . Montrer que cette relation peut aussi s'écrire $d \times \sin \alpha = \left(k - \frac{1}{2}\right) \times \lambda$.
8. En déduire la distance minimale d entre les deux télescopes pour obtenir une interférence constructive lors d'une observation en infrarouge à $\lambda = 10 \mu\text{m}$. Approximation si α en radian très petit : $\sin \alpha = \alpha$.