

PARTIE III - D'AUTRES PLANETES HABITABLES ?

Alors que la Terre est actuellement la seule planète connue pour abriter la vie, les astrophysiciens ont découvert une exoplanète bleue, nommée Isis.

On se propose dans cette partie d'analyser une technique de détection d'exoplanètes faisant appel à l'interférométrie puis d'examiner l'atmosphère d'Isis pour déterminer si, du fait de sa couleur bleue, cela en fait une bonne candidate pour abriter la vie.

III.A. La recherche d'exoplanètes

Comme notre planète, Isis orbite autour d'une étoile.

L'observation du couple étoile – exoplanète est réalisée à une longueur d'onde λ (généralement située dans l'infrarouge).

Dans un premier temps, on considère uniquement l'étoile. On l'assimile à une source plane monochromatique de longueur d'onde λ se propageant suivant l'axe horizontal (Oz) à la célérité c .

Perpendiculairement à cet axe, on dispose un écran opaque percé de deux trous d'Young écartés d'une distance a . On note S_1 et S_2 les centres des deux trous d'Young (voir figure 12 ci-dessous).

L'observation est effectuée sur un écran situé dans le plan focal d'une lentille convergente de focale f' .

On s'intéresse à l'onde lumineuse $s(M, t)$ en un point $M(x, y)$ de l'écran, résultante de la superposition des ondes provenant de S_1 et S_2 . On note A l'amplitude de ces deux ondes et on suppose que leur déphasage à l'origine est nul.

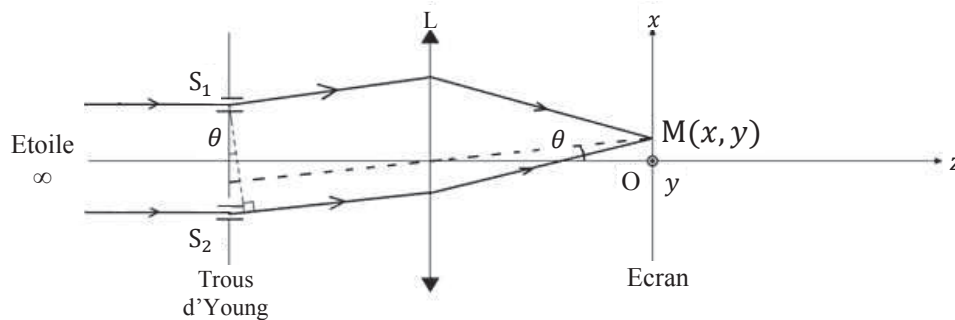


Figure 12 - Dispositif des trous d'Young

47. On rappelle que les capteurs optiques quadratiques fournissent un signal proportionnel à l'intensité lumineuse, c'est-à-dire proportionnel à la moyenne du carré du signal notée $\langle s^2(M, t) \rangle$.

On note $I_0 = \frac{A^2}{2}$ l'intensité lumineuse de chacune des ondes.

On donne la formule de linéarisation suivante :

$$\cos a \times \cos b = \frac{1}{2} \times (\cos(a - b) + \cos(a + b)).$$

Exprimer l'intensité lumineuse $I(M, t) = \langle s^2(M, t) \rangle$ au point M en fonction de I_0 et de la différence de marche δ entre les deux chemins optiques.

48. Rappeler les conditions principales pour que le phénomène d'interférences apparaisse. Ces conditions sont-elles réunies ici ?

49. Déterminer la valeur du contraste.

L'utilisation d'une lentille impose d'être dans les conditions de Gauss.

50. Enoncer les conditions de Gauss.

51. On suppose les conditions de Gauss vérifiées. L'angle θ défini sur le schéma de la figure 12 est tel que :

$$\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta .$$

L'indice optique de l'air est pris égal à 1.

Montrer que la différence de marche a pour expression :

$$\delta = \frac{a \times x}{f'}$$

En déduire l'expression de l'interfrange i .

52. Quelle est la forme des franges observées ? Sont-elles localisées ? Justifier.

On considère dans un second temps l'étoile et son exoplanète comme deux sources incohérentes planes monochromatiques de longueur d'onde λ se propageant suivant l'axe (Oz) à la célérité c .

53. Pour quelle raison ce dispositif ne permet-il pas de déterminer la présence d'une exoplanète ?

Pour mettre en évidence la présence d'une exoplanète, on utilise deux télescopes. En recombinaison les faisceaux issus des deux télescopes sur une recombinaison optique située au milieu des deux télescopes, ces faisceaux seront en phase et l'on obtiendra des interférences constructives. Ainsi dans l'interférométrie classique, les signaux des deux télescopes se combinent pour construire une frange centrale d'intensité maximale sur la ligne de visée, c'est-à-dire dans la direction de l'étoile observée. Cependant à l'aide d'un principe ingénieux, l'interféromètre de Bracewell (voir figure 13 ci-dessous), il est possible d'introduire sur le faisceau de l'un des télescopes un déphaseur achromatique de π , de sorte que les interférences deviennent destructives dans la direction de l'étoile. On « éteint » ainsi le flux de l'étoile : c'est ce qu'on appelle l'interférométrie à frange noire.

Dans la direction de la planète qui fait un angle α par rapport à la direction de l'étoile, on introduit une différence de marche supplémentaire de $D \times \sin \alpha$ où D est la distance entre les deux télescopes. Si on adapte D , on peut s'arranger pour qu'à la longueur d'onde d'observation, la différence de marche supplémentaire compense exactement le déphasage π introduit par le déphaseur. On réalise alors dans la direction de la planète des interférences constructives.

Toute source sur l'axe (ici l'étoile), donc sur la frange sombre, est éteinte de manière très efficace. Une source hors-axe (ici l'exoplanète), sur une frange claire, n'est pas ou peu affectée et est donc détectée avec un bien meilleur contraste.

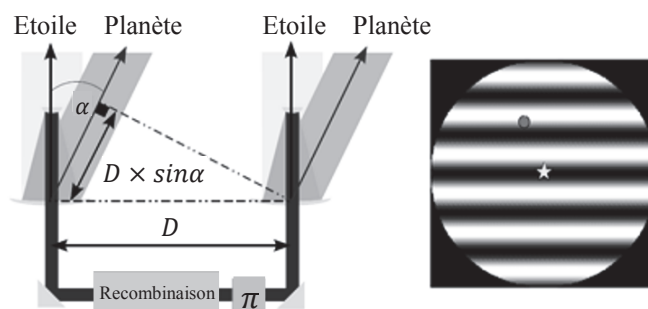


Figure 13 - Principe de fonctionnement de l'interféromètre de Bracewell

Pour comprendre le principe de fonctionnement de l'interféromètre de Bracewell, on se ramène à l'expérience des trous d'Young en considérant la direction de l'étoile suivant l'axe (Oz) et la direction de la planète inclinée d'un angle α par rapport à la direction de l'étoile. Un déphaseur est introduit avant la lentille et la recombinaison est associée au point O de l'écran (cf. figure 14).

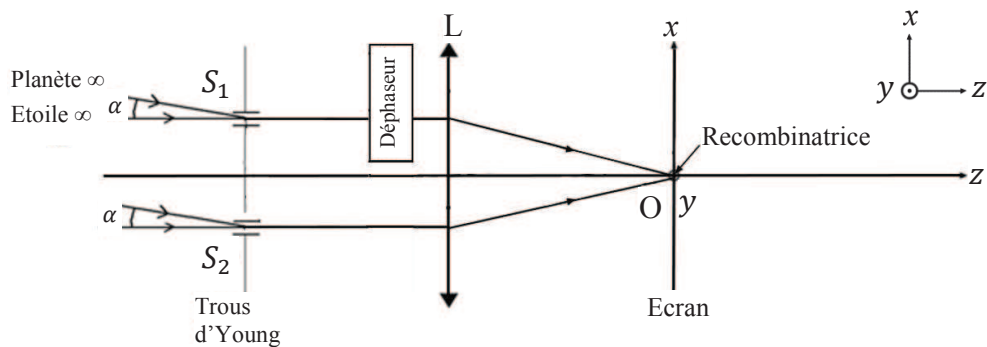


Figure 14 - Dispositif des trous d'Young pour une planète vue sous un angle α

54. Lorsque l'interféromètre de Bracewell pointe en direction de l'étoile, quelle est l'expression de l'intensité lumineuse due uniquement à l'étoile en un point de la recombinaison ? Quelle est la valeur de l'ordre d'interférences dans un tel cas ?

55. Lorsque l'interféromètre de Bracewell pointe en direction de l'étoile, quelle est l'expression de l'intensité lumineuse due uniquement à l'exoplanète en un point de la recombinaison pour un réglage optimal ?

56. Justifier que l'interféromètre de Bracewell permet de mettre en évidence la présence d'une exoplanète.

III.B. Résolution du problème : Isis est-elle habitable ?

Lorsqu'on peut observer directement une planète, il est possible d'en déduire la composition de son atmosphère. Pour une exoplanète trop proche de son étoile, de telles observations sont impossibles. On a alors recours à la méthode du transit. Lorsqu'une planète passe devant son étoile, elle la cache en partie. Si la planète possède une atmosphère, alors une petite partie du rayonnement de l'étoile traverse cette atmosphère avant de nous parvenir.

Récemment, les astrophysiciens ont découvert une exoplanète nommée Isis dont la couleur bleue depuis l'espace rappelle celle de la Terre vue de l'espace.

Lors de son passage devant l'étoile, la luminosité ne change pratiquement pas dans le vert ni dans le rouge, mais un déficit dans le bleu est constaté. Cela signifie principalement que l'atmosphère de l'exoplanète émet de la lumière bleue. Grâce au spectrographe STIS (Space Telescope Imaging Spectrograph) embarqué à bord du télescope Hubble, les astrophysiciens ont pu obtenir le spectre d'absorption d'Isis. Ce spectre, qui devrait être un spectre d'absorption de raies, présente en réalité une bande sombre. Cet élargissement des raies est le signe que les collisions et les chocs sont nombreux entre les molécules de l'atmosphère de l'exoplanète.

Pour la science, avril 2014

On se propose de déterminer si Isis peut être classée parmi les exoplanètes habitables.

III.B.1. Etude préliminaire : déviation d'un rayon lumineux dans un prisme

On s'intéresse à un rayon lumineux monochromatique incident arrivant sur la face EB du prisme (cf. document réponse). On note n ($n > 1$) l'indice optique du prisme et $n_a = 1,000$, l'indice optique de l'air. On appelle i l'angle orienté d'incidence sur la face avant du prisme et r l'angle de réfraction sur cette même face, ces deux angles étant repérés par rapport à la normale à cette face.

57. Rappeler les lois de Descartes relatives à la réfraction au niveau de la face EB du prisme en utilisant les notations définies précédemment.

On suppose que le rayon incident se propage dans le prisme et en ressort par la face EC.