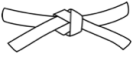





Interférences

Travailler avec vos cours et TD ouverts est **chaudement recommandé** : un DM est un entraînement, pas une évaluation. Réfléchir ensemble est une bonne idée, mais le travail de rédaction doit être individuel. En cas de besoin, **n'hésitez pas à me poser des questions**, idéalement à la fin d'un cours ou éventuellement par mail.

Ceinture		Travail à réaliser
	Ceinture blanche	Questions 1 à 5
	Ceinture jaune	Questions 1 à 8
	Ceinture rouge	En entier
	Ceinture noire	En entier



Flasher ou cliquer pour accéder au corrigé

Des trous d'Young aux étoiles doubles

Les étoiles doubles, ou binaires, sont des systèmes de deux étoiles liées par gravitation, orbitant l'une autour de l'autre, parfois en échangeant de la matière. On les rencontre notamment dans les amas stellaires. Déterminer la distance séparant les deux étoiles d'un système binaire permet d'en déduire leur masse grâce aux lois de la gravitation et du mouvement orbital, et renseigne aussi sur leurs interactions (échanges de matière, effets de marée). Lorsque les étoiles sont très proches, on utilise une méthode interférométrique, initiée par Albert Michelson et Francis Pease dans les années 1920, qui consistait à placer deux trous d'Young sur la lentille d'entrée d'un télescope et à analyser la figure d'interférences obtenue. Le problème commence par l'étude d'un système de trous d'Young éclairés par deux sources placées à distance finie, avant de généraliser les résultats à l'observation astronomique contemporaine.

A - Trous d'Young éclairés par une source hors de l'axe optique

Considérons un dispositif de deux trous d'Young T_1 et T_2 séparés d'une distance a , voir figure 1, se trouvant dans le plan (yOz) . Une source ponctuelle monochromatique A est placée dans un plan orthogonal à l'axe (Ox) se trouvant à distance D des trous. Cette source est hors de l'axe optique à une ordonnée $Z > 0$. Les trous d'Young et la source se trouvent dans le plan $y = 0$. Un écran d'observation se trouve à une distance d des trous. Les distances d et D sont supposées très supérieures à toutes les autres.

- 1 - Déterminer la différence de marche entre les deux ondes issues de A qui interfèrent au point M .
- 2 - Exprimer l'intensité lumineuse $I_A(z)$ observée au point M . Quel est l'effet du décalage de la source sur la figure d'interférences ?
- 3 - De combien faut-il décaler la source pour retrouver une figure d'interférences identique à celle observée lorsque la source est placée sur l'axe optique ?
- 4 - Déterminer l'ordonnée z_p de la frange d'interférences d'ordre p . En déduire le sens dans lequel se déplacent les franges d'interférences sur l'écran lorsque la source A est déplacée dans le sens des Z croissants.

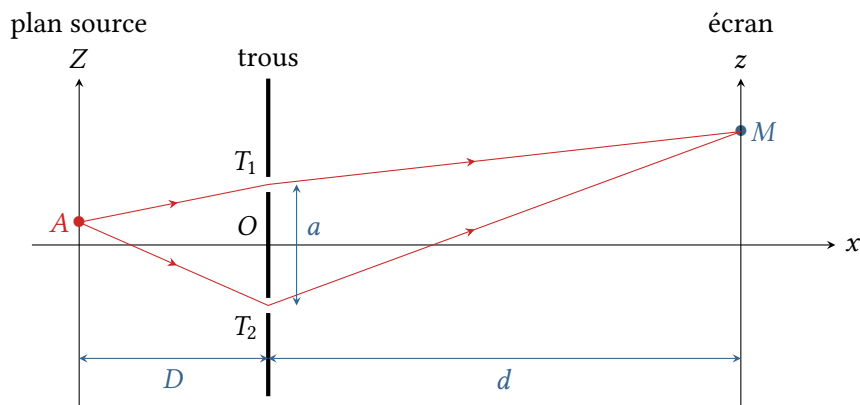


Figure 1 – Trous d'Young éclairés par une source hors de l'axe optique.

B - Trous d'Young éclairés par deux sources incohérentes

On considère désormais une seconde source ponctuelle monochromatique B , symétrique de A par rapport à l'axe optique, donc d'ordonnée $-Z$. Les deux sources sont de même longueur d'onde et de même intensité, mais émettent leur rayonnement de manière indépendante et sont donc incohérentes : un rayon issu de A n'interfère pas avec un rayon issu de B . L'intensité totale au point M s'écrit donc

$$I(z) = I_A(z) + I_B(z)$$

où I_A et I_B désignent les intensités produites par les deux sources prises individuellement.

5 - Montrer que l'intensité s'écrit sous la forme

$$I(z) = I_{\text{moy}} \left[1 + \gamma(Z) \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} \frac{az}{d} \right) \right],$$

en exprimant l'intensité moyenne I_{moy} et le facteur de contraste $\gamma(Z)$ en fonction de grandeurs introduites dans les questions précédentes.

On appelle **contraste** de la figure d'interférences le rapport

$$C = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{max}} + I_{\text{min}}}$$

où $I_{\text{min/max}}$ désigne l'intensité minimale/maximale de la figure d'interférences.

6 - Déterminer le contraste, d'abord dans le cas d'une unique source ponctuelle (situation de la partie A) puis des deux sources ponctuelles. Comment la présence d'une seconde source se traduit-elle visuellement sur l'écran ?

7 - Déterminer les positions Z_k^* ($k \in \mathbb{N}$) des sources telles que le contraste soit nul : la figure d'interférences est alors dite totalement **brouillée**. Quel est l'aspect visuel de l'écran ?

8 - On s'intéresse à la plus petite valeur de Z^* . Déterminer la position des franges brillantes et sombres que produirait la source A prise seule, puis la source B prise seule. Interpréter le résultat de la question précédente.

C - Interférométrie stellaire

Dans les observatoires modernes, un jeu de miroirs et de fibres optiques permet de faire interférer les ondes captées par deux télescopes *différents*, voir figure 2. On forme ainsi un système équivalent à deux « trous d'Young » séparés d'une distance égale à celle entre les deux télescopes. Par exemple, le Very Large Telescope (VLT) de l'Observatoire européen austral (ESO) est un ensemble de huit télescopes situé dans le nord du Chili, à une altitude de 2635 m. Ses télescopes peuvent coulisser sur des rails longs de 65 m (rectilignes à mieux que $25 \mu\text{m}$!), ce qui permet de les séparer d'une distance allant jusqu'à 200 m.

Les deux étoiles associées dans la binaire constituent deux sources A et B incohérentes, et l'on cherche à déterminer la distance angulaire $\theta \ll 1$ les séparant, c'est-à-dire l'angle formé par les rayons arrivant de ces étoiles.

9 - En transposant les résultats de la partie précédente, exprimer l'intensité $I(z)$ en fonction de θ .

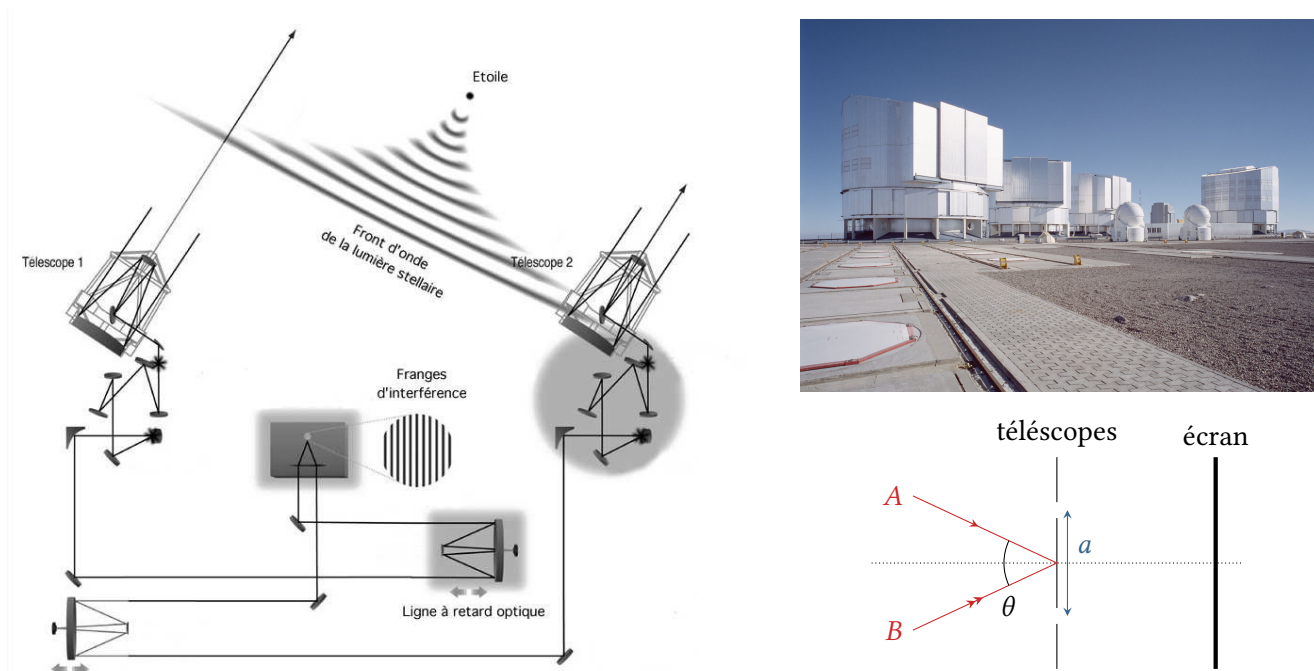


Figure 2 – Schéma de principe et photo du VLT. Figure de gauche extraite de la thèse de Pierre Kervella.

10 - Proposer une méthode s'appuyant sur la mesure du facteur de contraste permettant de déterminer l'angle θ . Estimer un ordre de grandeur de la limite de résolution angulaire du télescope, c'est-à-dire du plus petit écart θ_{\min} qu'il serait en mesure de détecter.

L'instrument donne évidemment accès à beaucoup plus d'informations. L'éclairement est mesuré en tout point de l'écran pour différentes valeurs de a , avec différents filtres sélectionnant différentes longueurs d'ondes, et on fait ensuite l'équivalent d'une régression non-linéaire en faisant varier les différents paramètres du modèle (angle θ mais aussi diamètre apparent des étoiles, luminosité relative, composition spectrale, etc.) pour trouver les valeurs qui correspondent au mieux aux résultats expérimentaux.