

Exercice type

Chapitre 4 : propagation d'un signal

Le télescope interférentiel VLTI

Adapté du concours concours Centrale - Supélec - MP (2014)

Ce sujet traite de l'observation, à l'aide de télescopes, des rayonnements infrarouges provenant de l'espace. Ces rayonnements sont émis par des corps tels que des étoiles jeunes ou des poussières froides. L'observation dans ce domaine de longueurs d'onde se heurte à plusieurs difficultés. D'une part, ces rayonnements sont fortement absorbés par l'atmosphère. D'autre part, l'atmosphère et les instruments de mesure sont également sources de rayonnement infrarouge. On peut s'affranchir du problème de l'atmosphère en embarquant le télescope sur un satellite et de l'émission thermique de l'instrument en refroidissant les différents éléments à l'aide de puissants systèmes cryogéniques. Cependant, les dimensions des télescopes en orbite étant limitées, leur résolution théorique est moins bonne que celle de certains télescopes au sol comme ceux du Very Large Telescope array (VLT) de l'European Southern Observatory à Paranal au Chili qui bénéficient d'un ciel très pauvre en vapeur d'eau et d'une atmosphère très stable.

Pour augmenter la résolution qu'offre un télescope unitaire du VLT on peut faire interférer les signaux optiques reçus par deux télescopes comme cela est illustré Figure 1.

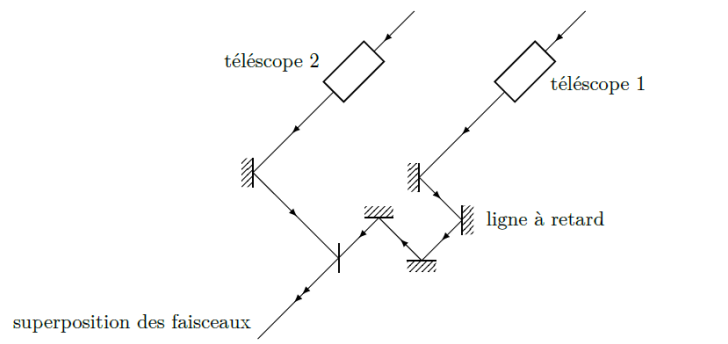


Figure 1: Principe du VLTI.

On assimile les deux télescopes distants de a (variable jusqu'à 100 m) à deux trous T_1 et T_2 de taille négligeable, de sorte que le VLTI sera équivalent au montage de la Figure 2, où la lentille d'axe optique Oz , de centre O possède une distance focale f' . Le foyer image de la lentille est noté F' et le plan focal est le plan d'observation. T_1 et T_2 sont à une distance $a/2$ de l'axe optique.



Figure 2: Schéma équivalent du VLTI.

Un unique objet ponctuel à l'infini A est observé dans la direction de l'axe optique. Pour simplifier, on supposera encore que cet objet émet une unique radiation de longueur d'onde $\lambda = 2,00\mu\text{m}$.

1. Où se trouve l'image géométrique A' de A à travers la lentille ?
2. Calculer la différence de chemin optique δ_0 entre les ondes provenant de A et se recombinant en A' , passant par les deux trous T_1 et T_2 sur la Figure 2.
3. En déduire le rôle de la ligne à retard introduite dans le cas de figure décrit par la Figure 1.
4. Pour qu'il y ait interférence dans le cas d'ondes lumineuses, on se souvient que le retard entre les deux ondes ne doit pas être plus important que le temps de cohérence τ de la source de ces ondes. Exprimer en fonction de τ et d'autres grandeurs la différence de chemins optiques maximale δ_{max} pour avoir interférence. Expliquer alors la nécessité de la ligne à retard.
5. On considère que les deux ondes ont une amplitude identique. Déterminer l'expression de l'intensité lumineuse $I_A(x)$ d'un point d'abscisse x dans le plan focal.
6. En déduire l'expression de l'interfrange.
7. Tracer l'allure de la figure d'interférence dans le plan $(x'F'y)$ telle qu'on pourrait l'observer avec une caméra infrarouge.
8. Un unique objet ponctuel à l'infini B est observé dans la direction $i_B \neq 0$ par rapport à l'axe optique dans le plan xOy avec les mêmes caractéristiques que A .
À quelle distance x_B de F' se trouve l'image géométrique de B ? On se place dans les conditions de Gauss $i_B \ll 1$.
9. Déterminer l'expression de l'intensité lumineuse $I_B(x)$ en un point d'abscisse x .
10. L'interfrange est-il différent de celui trouvé précédemment ?
11. Deux objets ponctuels à l'infini A et B sont observés dans les directions $i_A = 0$ et $i_B \neq 0$ par rapport à l'axe optique dans le plan xOz . Pour simplifier, on supposera que ces deux objets émettent une unique radiation de longueur d'onde $\lambda = 2,00\mu\text{m}$ et la même puissance lumineuse.
12. Ces deux sources sont-elles cohérentes ? Justifier la réponse.
13. En déduire l'intensité lumineuse $I_{\text{total}}(x)$ en un point d'abscisse x . On mettra cette expression sous la forme d'un produit de fonctions sinusoïdales.
14. Pour quelle(s) distance(s) a entre les deux télescopes y a-t-il brouillage des interférences ? On exprimera le résultat en fonction de i_B .
15. Proposer alors une méthode de détermination expérimentale de l'angle entre deux étoiles composant une étoile double.
16. Quelle est la valeur numérique (en secondes d'arc) de la limite de résolution angulaire i_m du VLTI ?