

II Détecteur interférométrique

La détection directe d'ondes gravitationnelles annoncée le 11 février 2016 a été réalisée à l'aide d'un détecteur dit interférométrique. Celui-ci est fondé sur la notion d'interférence lumineuse. La lumière étant une onde, elle peut interférer avec elle-même tout comme les ondes mécaniques ou acoustiques. Suivant le déphasage entre deux ondes lumineuses, les interférences peuvent être constructives (renforcement de l'intensité lumineuse) ou destructives (intensité lumineuse nulle).

Pour réaliser des interférences lumineuses de manière à détecter le passage d'une onde gravitationnelle, le dispositif expérimental doit satisfaire de nombreuses contraintes technologiques. On abordera d'abord le principe de détection par interférences, puis divers aspects pour améliorer la sensibilité du détecteur.

II.1 Dispositif de Michelson

La géométrie du système de détection suit celle d'un interféromètre de Michelson. Les résultats du premier interféromètre de ce type, créé en 1881, ont ouvert la voie à la théorie de la Relativité Restreinte d'Einstein, et il est notable que le même dispositif, largement amélioré, a permis de confirmer une prédiction de la relativité générale.

Une unique source laser de longueur d'onde dans le vide $\lambda = 1064 \text{ nm}$ est dirigée vers une lame séparatrice semi-réfléchissante inclinée à 45° qui distribue la moitié de la puissance dans deux directions \vec{u}_x et \vec{u}_y . On appelle *bras* les parties du montage correspondantes de longueur respective L_1 et L_2 (voir figure 8). Chacun des bras est terminé par un miroir de très haute réflectivité qui renvoie la lumière vers la lame séparatrice. Un détecteur en sortie permet d'observer la combinaison des ondes lumineuses provenant des deux bras de l'interféromètre. La différence de parcours de la lumière dans chacun des deux bras est à l'origine des interférences lumineuses observées au niveau du détecteur. En effet, les deux ondes débouchent du système avec des phases différentes dues à la différence de distance parcourue ce qui est de nature à provoquer les interférences.

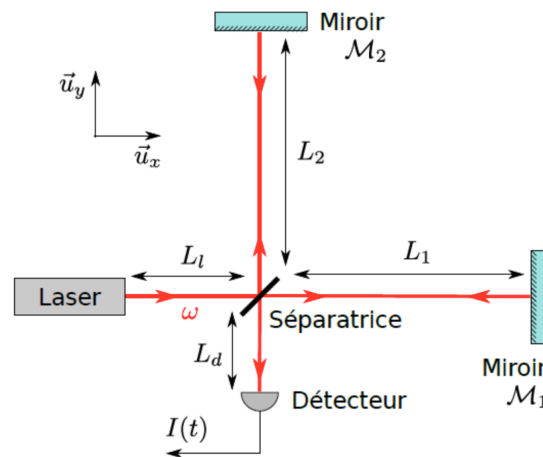


FIGURE 3 – Interféromètre de Michelson.

Une version simple de l'interféromètre de Michelson est présentée figure 3 avec ses notations. On décrit la source laser par une onde électromagnétique plane progressive harmonique de la forme $\vec{E} = \vec{E}_0 e^{j(\omega t - n\vec{k} \cdot \vec{r})}$ en notation complexe, avec n l'indice du milieu traversé et $\|\vec{k}\| = \frac{\omega}{c}$. Le vecteur d'onde \vec{k} est dirigé selon \vec{u}_x en sortie du laser et dans le bras de longueur L_1 , et selon \vec{u}_y dans le bras de longueur L_2 et à l'arrivée sur le détecteur. Pour une onde électromagnétique, on définit les coefficients complexes de réflexion r et de transmission t par

$$\vec{E}_{\text{réfléchi}} = r \vec{E}_{\text{incident}}, \quad \vec{E}_{\text{transmis}} = t \vec{E}_{\text{incident}}.$$