

Les hypothèses et l'expérience de Michelson et Morley

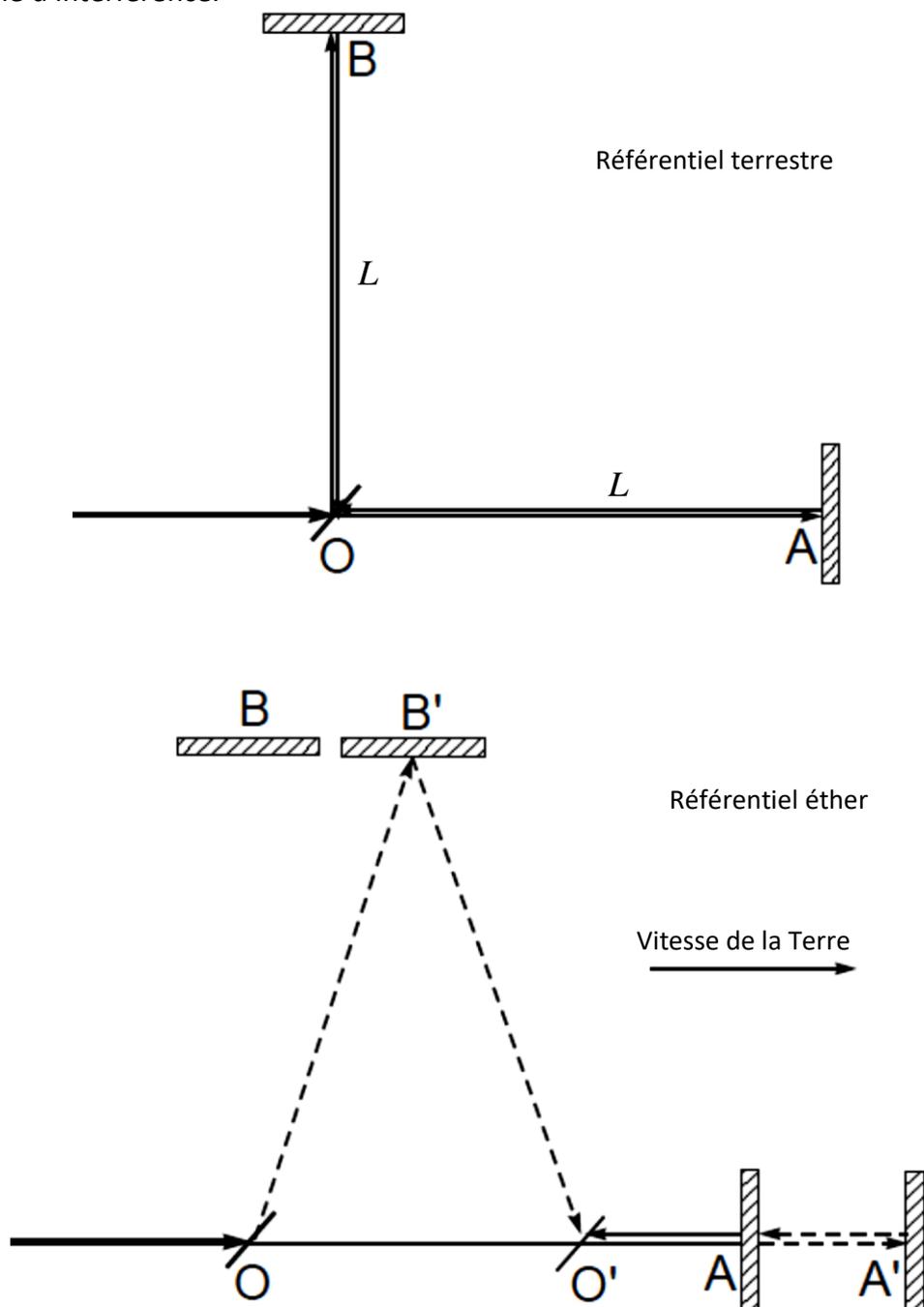
[Série d'expériences entre 1881 (Michelson seul) et 1887 (ensemble)].

Document adapté de : **Fabien Besnard**. *Introduction à la relativité restreinte et générale*.

L'éther est le référentiel absolu : la théorie de Maxwell des ondes électromagnétiques (et donc de la lumière) n'est valable que par rapport à l'éther. Alors la célérité de la lumière vaut environ $c = 3 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ seulement dans ce référentiel absolu. Pour les autres référentiels la célérité de la lumière se calcul théorème d'addition des vitesses de Galilée.

A la fin du XIXe siècle le Soleil est considéré comme le centre de l'Univers, et donc immobile dans l'éther ! La vitesse de la Terre par rapport au Soleil, et donc par rapport à l'éther, est de l'ordre $3 \times 10^4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Michelson espère pouvoir détecter expérimentalement la variation de vitesse de la lumière relativement au référentiel terrestre, à l'aide d'un dispositif appelé interféromètre.

Un rayon lumineux est scindé en deux rayons orthogonaux par un miroir semi-réfléchissant. Les deux rayons sont ensuite réunis après réflexion sur des miroirs ce qui va donner lieu au phénomène d'interférence.



Encadré 1

Supposons que l'axe horizontal soit parallèle au mouvement de rotation de la Terre (axe Est-Ouest). En raisonnant dans le référentiel de l'éther (avec vitesse de la lumière = c), pour faire l'aller et retour la durée du parcours du rayon horizontal est : $OA' + A'O' = c \Delta t_1' + c \Delta t_1''$

On obtient alors :

$$\Delta t_1 = \Delta t_1' + \Delta t_1'' = \frac{L}{c-v} + \frac{L}{c+v} = \frac{2L/c}{1-v^2/c^2}$$

On peut effectuer le raisonnement dans le référentiel terre. La célérité de la lumière est $C' = c - v$ dans le sens OA et $C'' = c + v$ dans le sens AO, ce qui donne le même résultat.

Pour le rayon orienté Nord-Sud, la durée du parcours est : $\Delta t_2 = (OB' + B'O') / c$.

Or $OB'^2 = (\frac{1}{2} c \Delta t_2)^2 = L^2 + (\frac{1}{2} v \Delta t_2)^2$

Et donc :

$$\Delta t_2 = \frac{2L/c}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

Encadré 2

Le décalage temporel entre les deux rayons est donc :

$$\Delta t_1 - \Delta t_2 = \frac{2L/c}{1-v^2/c^2} - \frac{2L/c}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

Etant donné que la vitesse de la Terre est très inférieure à celle de la lumière, on peut établir que ce décalage temporel est approximativement égal à $L v^2 / c^3$.

L'approximation du premier ordre est de la forme : $(1 + \varepsilon)^a \approx 1 + a\varepsilon$

La dimension L du dispositif de l'ordre de 10 m.

Le décalage temporel entre deux rayons lumineux est trop faible pour être mesuré directement.

On peut en revanche espérer la mettre en évidence par l'observation d'interférences puisque les deux rayons lumineux qui vont se superposer ont des temps de parcours différents.

En effet pour une lumière visible de longueur d'onde $\lambda = 600$ nm, une demi-période correspond à 10^{-15} s. On devrait donc observer une interférence d'extinction pour cette longueur d'onde.

Or, l'expérience de Michelson-Morley n'a jamais permis l'observation d'interférences : le résultat était toujours négatif. Cette expérience est sans doute la plus célèbre des expériences négatives, donnant un résultat contraire à ce qui était recherché. Elle valut à Michelson le prix Nobel de physique en 1907.

Plusieurs tentatives d'explications sont alors proposées. L'éther était-il entraîné par le mouvement de la Terre comme le suppose alors Maxwell lui-même ? Lorentz et Fitzgerald suggérèrent que la vitesse du référentiel terrestre par rapport à celui de l'éther provoque une contraction des longueurs dans le sens du mouvement, selon la relation :

$$L' = L \sqrt{1-v^2/c^2}$$

Ernst Mach a émis le premier l'hypothèse qu'il fallait rejeter le concept d'éther. Einstein ensuite postulera, en 1905, l'invariance de la célérité de la lumière vis-à-vis de tout référentiel inertiel.