

Leçon 26: Cinématique relativiste

Expérience de Michelson et Morley

Gabriel Le Doudic

Préparation à l'agrégation de Rennes 1

11 juin 2024

I.1. Relativité galiléenne

I.1. Relativité galiléenne

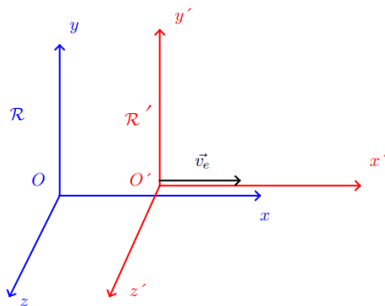


Figure – Référentiel galiléen.

• Transformée de Galilée :

$$\begin{cases} x(t) &= x'(t) + v_e t \\ y &= y' \\ z &= z' \\ t &= t' \end{cases}$$

I.2. Qu'en est-il de l'électromagnétisme ?

- Propagation d'ondes électromagnétiques dans le vide :

$$\Delta E = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}. \quad (1)$$

Conclusion

- Les équations de Maxwell \rightarrow ondes électromagnétiques de vitesse c .
- Si la vitesse de la lumière est définie dans un référentiel privilégié et si elle obéit à la loi de composition des vitesses on doit pouvoir mesurer une variation de la vitesse de la lumière.

II.1. Dispositif

II.1. Dispositif

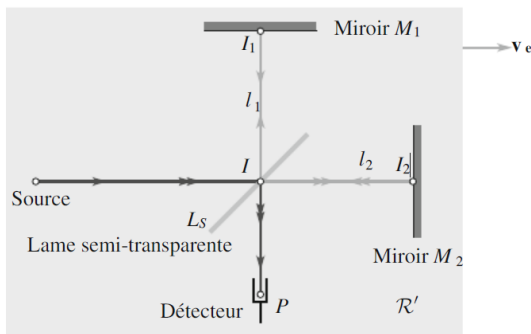


Figure – Schéma de l'interféromètre de Michelson (*Pérez, Relativité*).

II.1. Dispositif

II.1. Dispositif

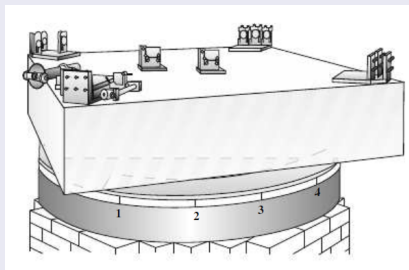


Figure – Interféromètre de Michelson et Morley (*Pérez, Relativité*)

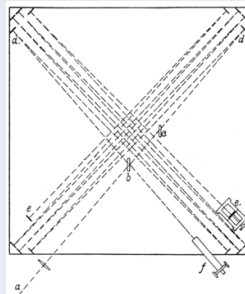


Figure – Interféromètre de Michelson et Morley (*Pérez, Relativité*)

II.1. Dispositif

II.3. Résultats

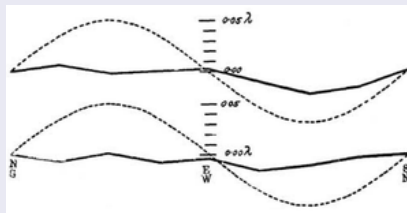


Figure 7. Michelson and Morley's results. The upper solid line is the curve for their observations at noon, and the lower solid line is that for their evening observations. Note that the theoretical curves and the observed curves are not plotted at the same scale: the dotted curves, in fact, represent only one-eighth of the theoretical displacements.

Figure – Résultats obtenus par Michelson et Morley (*Wikipedia*)

III.1. Postulats de la relativité restreinte

Transformée de Lorentz et composition des vitesses

- Dans le référentiel \mathcal{R}' :

$$\begin{cases} ct' = \gamma(ct - \beta x) \\ x' = \gamma(x - \beta ct) \\ y' = y \\ z' = z \end{cases} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}} \\ \beta = \frac{v}{c} \end{cases} \quad (2)$$

- Composition des vitesses :

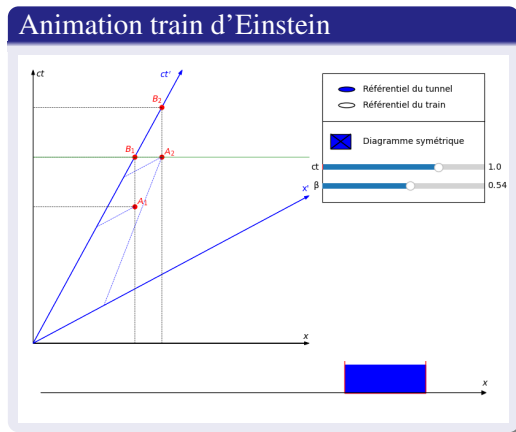
$$\begin{cases} cdt' = \gamma(cdt - \beta dx) \\ dx' = \gamma(dx - \beta cdt) \\ dy' = dy \end{cases} \quad (3) \quad \begin{cases} v_x = \frac{v'_x + v_e}{1 + v_e \frac{v'_x}{c^2}} \\ v_y = \frac{v'_y}{1 + v_e \frac{v'_x}{c^2}} \end{cases} \quad (4)$$

Le train d'Einstein

Considérons un wagon de TGV de longueur $l' = 475$ m mesuré dans le référentiel lié au train \mathcal{R}' qui se déplace à une vitesse $v_e = 0.54c$ par rapport à un tunnel fixe dans le référentiel \mathcal{R} et de longueur L .

On relève quatre évènements différents :

- A_1 L'avant du train rentre dans le tunnel ;
- A_2 L'avant du train sort du tunnel ;
- B_1 L'arrière du train entre dans le tunnel ;
- B_2 L'arrière du train sort du tunnel.



Conclusion : le problème d'Einstein

Pour ce premier cours de relativité restreinte, nous avons établi les bases d'une nouvelle cinématique. Il faut maintenant établir une nouvelle dynamique. Ainsi dans un prochain cours nous mettrons en équation la dynamique relativiste, en particulier nous écrirons les quadrivecteurs énergie et impulsion pour une particule en mouvement. Affaire à suivre :

- Quadri-vecteur impulsion : $\vec{p} = (m\gamma c, m\gamma\vec{v})$
- Énergie : $E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$