CHAPITRE 12 :

TEMPS ET RELATIVITÉ RESTREINTE

Pierre-André LABOLLE

Lycée International des Pontonniers

Janvier 2016

I. Invariance de la vitesse de la lumière

1. Loi de composition des vitesses de Galilée

- Soit un train se déplaçant à la vitesse $\overrightarrow{v_e}$ dans le référentiel terrestre.
- Soit un observateur A, immobile dans le référentiel terrestre et soit B un observateur immobile dans le référentiel du train.
- On s'intéresse au mouvement d'une balle, animée d'un vitesse $\overrightarrow{v_b}$ constante dans le référentiel du train et colinéaire à la vitesse du train.
- La vitesse de la balle dans le référentiel terrestre est donnée par la relation $\overrightarrow{v} = \overrightarrow{v_b} + \overrightarrow{v_e}$
- Cette loi est appelée loi de composition des vitesses de Galilée et a été utilisée jusqu'au début du XX^{e} siècle et nous allons voir qu'elle n'est pas vérifiée par la lumière qui conserve la même célérité quel que soit le référentiel galiléen considéré.

I. Invariance de la vitesse de la lumière

2. Expérience de Michelson et Morley

- Activité P244

1.a. L'expérience de Michelson et Morley devait permettre de mesurer l'influence du mouvement de la Terre sur la vitesse de propagation de la lumière, mesurée dans le référentiel terrestre.

1.b. $[\tau] = \dfrac{[D] \cdot [v]^2}{[c]^3} = \dfrac{[D]}{[c]} = \dfrac{L}{L \cdot T^{-1}} = T$ donc τ est bien une durée.

$$\tau = \frac{D \cdot v^2}{c^3} = \frac{10 \times (3,0 \cdot 10^4)^2}{(3,0 \cdot 10^8)^3} = 3,3 \cdot 10^{-16}\ s$$

La période de la radiation utilisée est $T = \dfrac{\lambda}{c} = \dfrac{500 \cdot 10^{-9}}{3,0 \cdot 10^8} = 1,7 \cdot 10^{-15}\ s$

On remarque alors que $\tau = \dfrac{T}{5}$ donc la différence de durée de parcours τ induit un décalage d'un cinquième d'interfrange. Ce décalage étant très faible, il est nécessaire de recourir à un système interférentiel permettant des mesures précises.

I. Invariance de la vitesse de la lumière

2. Expérience de Michelson et Morley

- Activité P244

2.a. Il découle de cette expérience que la vitesse de propagation de la lumière mesurée sur Terre ne dépend pas du mouvement de la Terre.

2.b. Le vaisseau constitue un référentiel galiléen. Son mouvement ne devrait pas avoir d'influence sur la vitesse de la lumière : le signal lumineux se propage donc aussi à la vitesse c pour le vaisseau.

I. Invariance de la vitesse de la lumière

3. Postulats d'Einstein

- La théorie de la relativité d'Albert Einstein (1905) est fondée sur l'invariance de la célérité de la lumière qui possède donc un statut particulier par rapport aux autres phénomènes physiques.
- **La lumière se propage avec la même célérité c dans le vide, quel que soit le référentiel d'étude galiléen choisi.**
- **Toutes les lois de la physique ont la même forme quel que soit le référentiel galiléen dans lequel on se place.**

II. Théorie de la relativité restreinte

1. Position du problème

- La théorie de la relativité restreinte résulte de l'invariance de la célérité de la lumière dans le vide (postulat d'Einstein).
- Le terme **restreinte** signifie que cette théorie est limitée à des référentiels **galiléens** (référentiels en translation rectiligne uniforme entre eux).

➠ Activité P245

II. Théorie de la relativité restreinte

1. Position du problème

1.a. Dans le référentiel de la gare, le miroir et les récepteurs se déplacent à la vitesse v. Lorsque l'éclair atteint le miroir, celui-ci a parcouru une distance $v \cdot \dfrac{\Delta t_{gare}}{2}$.
Le récepteur parcourt encore cette même distance pendant que l'éclair se propage du miroir au récepteur.

1.b. Comme c est invariante, on a $\Delta t_{wagon} = \dfrac{2 \cdot h}{c}$ et $\Delta t_{gare} = \dfrac{AM + MA'}{c}$.
Or, $AM > h$ et $MA' > h$ donc $\Delta t_{gare} > \Delta t_{wagon}$.

II. Théorie de la relativité restreinte

1. Position du problème

2.a. D'après ce qui précède, on a $h = \dfrac{c \cdot \Delta t_{wagon}}{2}$

2.b. $AA' = v \cdot \Delta t_{gare}$ et $AM = MA' = c \cdot \dfrac{\Delta t_{gare}}{2}$.

Or d'après le théorème de Pythagore,

$$AM = MA' = \sqrt{h^2 + \left(\frac{AA'}{2}\right)^2} = \sqrt{h^2 + \left(\frac{v \cdot \Delta t_{gare}}{2}\right)^2}$$

II. Théorie de la relativité restreinte

1. Position du problème

2.c. En remplaçant h par son expression, il vient :

$$c \cdot \frac{\Delta t_{gare}}{2} = \sqrt{\left(\frac{c \cdot \Delta t_{wagon}}{2}\right)^2 + \left(\frac{v \cdot \Delta t_{gare}}{2}\right)^2}$$

$$c^2 \cdot \frac{(\Delta t_{gare})^2}{\cancel{4}} = \frac{c^2 \cdot (\Delta t_{wagon})^2}{\cancel{4}} + \frac{v^2 \cdot (\Delta t_{gare})^2}{\cancel{4}}$$

$$c^2 \cdot (\Delta t_{gare})^2 = c^2 \cdot (\Delta t_{wagon})^2 + v^2 \cdot (\Delta t_{gare})^2$$

$$(\Delta t_{gare})^2 \cdot (c^2 - v^2) = c^2 \cdot (\Delta t_{wagon})^2$$

$$(\Delta t_{gare})^2 = \frac{c^2}{(c^2 - v^2)} \cdot (\Delta t_{wagon})^2 = \frac{(\Delta t_{wagon})^2}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}$$

$$\Delta t_{gare} = \frac{\Delta t_{wagon}}{\sqrt{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}}$$

II. Théorie de la relativité restreinte

1. Position du problème

3 L'expression précédente montre bien que $\Delta t_{gare} > \Delta t_{wagon}$ donc que la durée perçue par l'observateur immobile sur le quai est plus grande que celle perçue par un observateur dans le train. Ainsi, on voit que le temps ne s'écoule pas de la même façon dans tous les référentiels. Autrement dit, le temps n'est en fait pas absolu mais possède un caractère relatif.