



## Chapitre 10 : Temps et relativité restreinte.

### I. Les postulats émis par Einstein.

#### 1er postulat (principe de relativité):

Toutes les lois de la physique sont valables dans tous les référentiels galiléens.

Conséquences : Dans un système physique animé d'un mouvement rectiligne uniforme, on ne peut pas mettre en évidence le mouvement du système par aucune expérience effectuée à l'intérieur de ce système.

#### 2<sup>nd</sup> postulat :

La vitesse de la lumière dans le vide est un invariant absolu : elle est la même dans tous les référentiels galiléens.

Conséquences : La vitesse de la lumière dans le vide est indépendante du mouvement de sa source et de celui de l'observateur à condition que celui-ci se déplace à vitesse constante.

### II. Le postulat de l'invariance de la vitesse.

#### 1) Addition des vitesses en mécanique classique.

Il est assez naturel de comprendre que si une personne se déplace vers l'avant à 5 km/h dans un train, qui roule à 100 km/h par rapport au quai, alors sa vitesse par rapport au quai sera de 105 km/h, et que s'il effectue ce même déplacement vers l'arrière elle ne sera plus que de 95 km/h.

#### 2) Expérience d'Alväger (1964).

Cette expérience, faite au CERN en 1964 utilise un faisceau de pions neutres  $\pi^0$  ; ils sont produits par l'action de protons de haute énergie sur une cible en Béryllium. Ces pions, d'une énergie de 6 GeV, ont une vitesse voisine de  $0,99975c$ . Cette particule instable a une durée de vie de l'ordre de  $0,84 \cdot 10^{-16}$  s, elle se désintègre en deux photons  $\gamma$  selon l'équation :  $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$ . On dispose ainsi d'une source de lumière qui se déplace à une vitesse de  $0,99975c$  par rapport au référentiel du laboratoire. Les expérimentateurs ont mesuré le temps mis par des « paquets » de photons pour parcourir les  $31,450 \pm 0,0015$  m qui séparaient deux détecteurs A et B, cette durée était d'environ 104,9 ns. Ils ont eu ainsi accès à la valeur de la vitesse des photons gamma et ont constaté qu'elle était égale à  $10^{-4}$  près à celle mesurée lorsque la source est fixe.

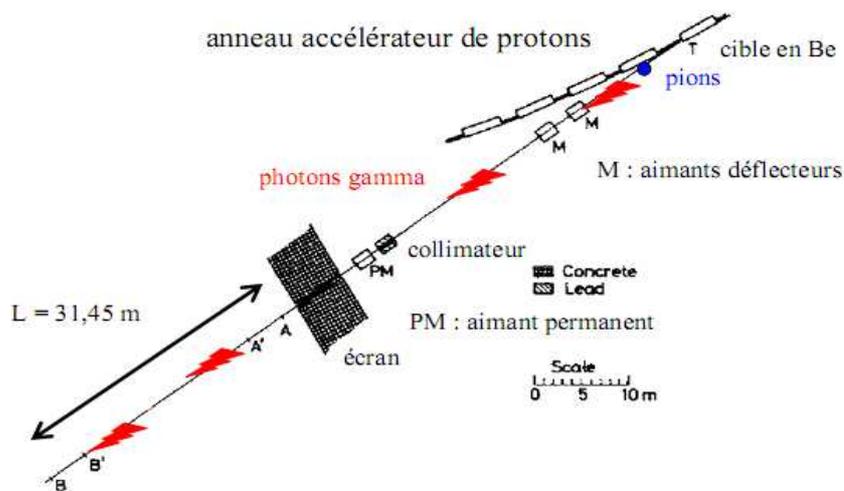


Schéma de principe de l'expérience

Les aimants placés sur le trajet des photons sont destinés à éliminer les particules chargées.

La vitesse des nouvelles particules n'est pas égale à la composition des 2 vitesses. La vitesse ne dépasse pas celle de la lumière.

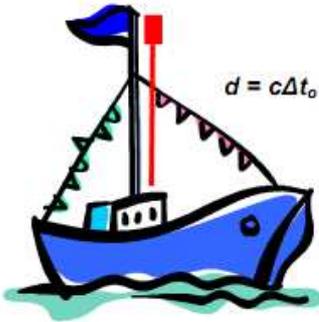
### III. La dilatation des durées.

#### 1) Mise en évidence.

La dilatation des durées est une conséquence directe de l'invariance de la vitesse de la lumière.

#### Dilatation des durées : « Expérience de la lanterne sur le mât d'un bateau<sup>16</sup> »

Un marin allume une lanterne au sommet du mat d'un navire, il s'agit de mesurer la durée mise par la lumière pour arriver au pied du mât en adoptant deux points de vue : celui d'un observateur situé dans le bateau et celui d'un autre situé sur la berge.



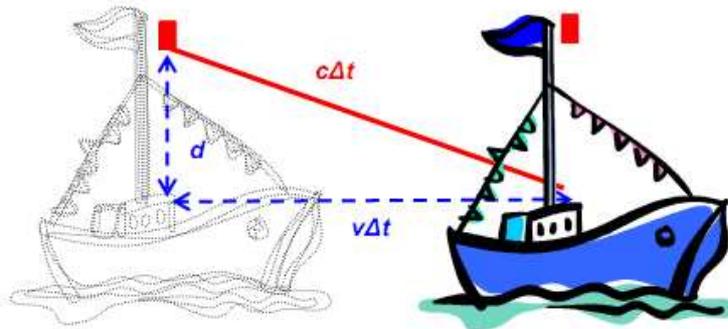
#### Dans le référentiel lié au bateau :

La durée  $\Delta t_0$  mise par la lumière pour aller du haut du mât au bas du mât dans le référentiel du bateau s'écrit :

$$d = c\Delta t_0$$

où  $d$  est la hauteur du mât et  $c$  la vitesse de la lumière dans le vide.

#### Dans le référentiel lié à la berge :



On note  $\Delta t$  la durée mise par la lumière pour aller du haut du mât au bas du mât dans le référentiel de la berge. Le calcul s'appuie sur la figure ci-dessus et utilise explicitement le fait que la vitesse de la lumière est aussi égale à  $c$  dans le repère de la berge. En notant  $v$  la vitesse du bateau par rapport à la berge et en utilisant le théorème de Pythagore on établit que  $c^2(\Delta t)^2 = d^2 + v^2(\Delta t)^2$  et, comme  $d = c\Delta t_0$ , il vient :

$$\Delta t = \gamma \Delta t_0 \text{ avec } \gamma = 1 / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Comme  $\gamma$  est toujours plus grand que 1, on utilise le terme de « dilatation des durées ».

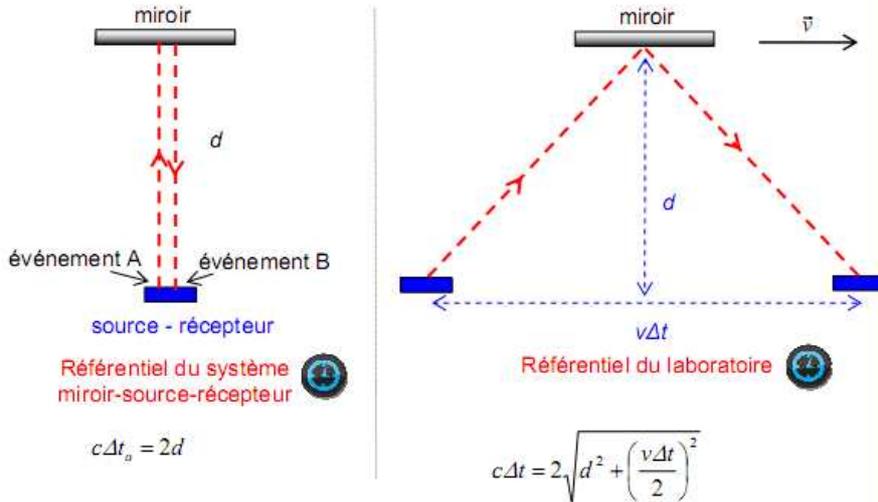
Une horloge qui se déplace par rapport à un observateur fixe bat plus lentement que l'horloge liée à cet observateur fixe. L'horloge en mouvement est proche des 2 événements, elle mesure le temps ou durée propre  $\Delta T_0$ . L'horloge fixe n'est pas proche des événements, elle mesure une durée mesurée  $\Delta T'$ .

$$\Delta T' = \gamma \cdot \Delta T_0 \text{ avec } \gamma = 1 / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$



**Dilatation des durées : « Horloge de lumière<sup>18</sup> »**

On utilise la réflexion d'une impulsion lumineuse sur un miroir, l'ensemble miroir-source-récepteur étant mobile à vitesse  $\vec{v}$  constante par rapport à un référentiel galiléen. A nouveau on regarde l'expérience du point de vue d'un observateur lié à l'ensemble miroir-source-récepteur et du point de vue d'un observateur du laboratoire. On considère les deux événements A : émission de l'impulsion lumineuse et B : la réception de cette impulsion lumineuse après réflexion sur le miroir.



En utilisant la même démarche que précédemment et les mêmes arguments géométriques, on établit la relation qui montre que le temps mesuré est toujours plus grand que le temps propre :

$$\Delta t = \gamma \Delta t_0 \quad \text{avec} \quad \gamma = 1 / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

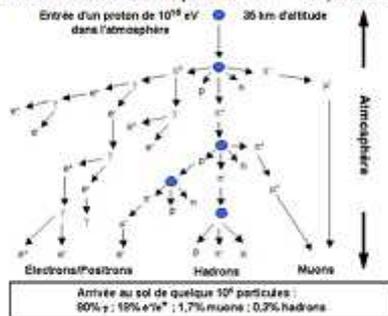
**2) Dans quel cas la dilatation est-elle perceptible ?**

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

|   |   |   |  |
|---|---|---|--|
| <p>Au repos <math>v = 0</math></p> <p><math>\gamma = 1</math></p> | <p>Vélo <math>v = 20 \text{ km/h}</math></p> <p><math>\gamma = 1 + 1,7 \times 10^{-16}</math></p> | <p>TGV <math>v = 300 \text{ km/h}</math></p> <p><math>\gamma = 1 + 3,9 \times 10^{-14}</math></p> | <p>Navette spatiale <math>v = 7,7 \text{ km/s}</math></p> <p><math>\gamma = 1 + 3,3 \times 10^{-10}</math></p> |
|---|---|---|--|

Dans les cas ci-dessus, le facteur de dilatation des durées est quasiment égal à 1, donc peu perceptible. Pour des muons, le coefficient est important donc perceptible.

**Muons cosmiques :  $v = 0,993c$**



$$\gamma = 8.5$$