

## PARTIE 7 : LE TEMPS

### Séquence 2 : La relativité restreinte

#### Séance 1 : Le temps repensé, l'héritage d'Einstein

*Il est absolument possible qu'au delà de ce que perçoivent nos sens, se cachent des mondes insoupçonnés.  
Albert Einstein.*

## **I. Les postulats d'Einstein**

### **1. Insuffisance de la mécanique classique**

Les lois de la mécanique newtonienne sont largement utilisées pour la plupart des phénomènes terrestres, voire astronomiques. Cependant leurs champs de validité trouvent leurs limites pour des vitesses suffisamment élevées.

### **2. Énoncé des postulats**

Un postulat est une affirmation non démontrée servant de base à une théorie.

En 1905, Albert Einstein élabore sa théorie de la relativité restreinte qui repose sur deux postulats :

*La théorie de la relativité générale vint après en 1916 prenant en compte le champ gravitationnel pour expliquer la déformation de l'espace-temps.*

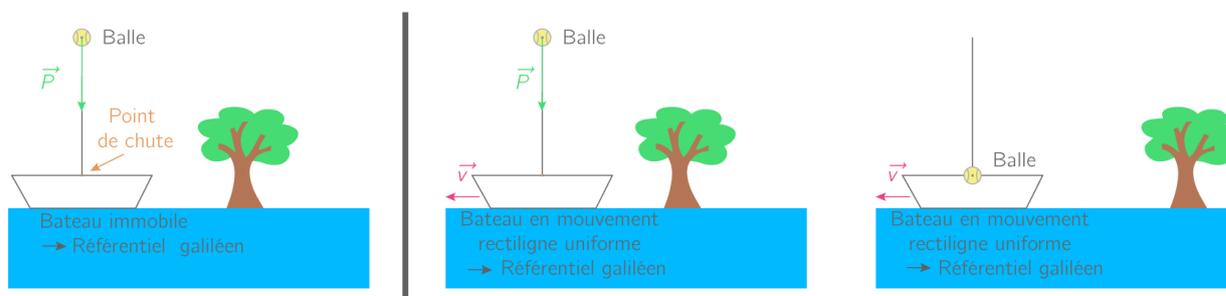
- **Postulat 1 :**

**Les lois de la physique s'expriment de la même façon dans tous les référentiels galiléens :** deux expériences identiques réalisées dans 2 référentiels galiléens différents donnent exactement le même résultat.

On considère le mât d'un bateau du haut duquel on lâche une balle :

- Si le bateau est immobile, la balle tombera au pied du mât.
- Si le bateau est en mouvement rectiligne uniforme, la balle tombera également au pied du mât.

Dans les deux cas, le bateau définit un référentiel galiléen puisque le principe d'inertie y est vérifié. Les lois physiques, ici l'effet de la force de pesanteur, sont donc les mêmes dans les deux référentiels et la balle tombera au même endroit.



- **Postulat 2 :**

**La vitesse de la lumière dans le vide, notée  $c$ , ne dépend ni du mouvement de la source ni de celui de l'observateur. Elle a la même valeur  $c$  quelles que soient les circonstances, elle est invariante (elle ne change pas de valeur au cours de certaines transformations) :**

$$c = 299\,792\,558 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

Remarque : dès 1887, Michelson et Morley montre expérimentalement que la célérité de la lumière est invariante grâce à un interféromètre.

De ces deux postulats découlent plusieurs conséquences. L'une des plus importantes est la notion de relativité du temps.

## II. La relativité du temps

### 1. La mesure du temps

Un **évènement** est un fait qui se produit en un endroit précis dans l'espace, à un instant donné dans le temps.

Une **durée** est l'intervalle de temps mesuré par l'horloge d'un référentiel entre deux évènements.

### 2. Caractère relatif du temps

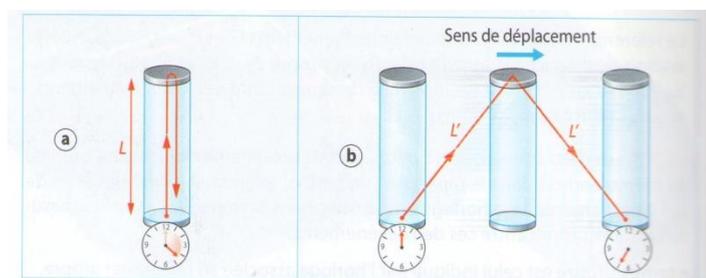
Dans une « horloge à lumière », une impulsion lumineuse effectue un va et vient entre deux miroirs parallèles distants d'une longueur  $L$ .

L'ensemble est placé à l'intérieur d'un tube, embarqué dans une fusée se déplaçant horizontalement.

La mesure de la durée se fait entre deux évènements : l'envoi de l'impulsion lumineuse et sa réception.

Ces 2 évènements ont lieu :

- au même endroit dans le référentiel  $R$  de la fusée :  $c$  est le **référentiel propre**.
- à des endroits différents dans le référentiel de la Terre, qui n'est donc pas le référentiel propre



### a. Temps propre

L'intervalle de temps entre deux événements se produisant en un même lieu dans un référentiel galiléen s'appelle **durée propre ou temps propre**  $\Delta t_P$ . Cette est mesurée par une horloge immobile dans le référentiel propre des événements et proche de ceux-ci.

### b. Temps mesuré

On parle de **durée mesurée ou temps mesuré**  $\Delta t_M$  pour un **observateur en mouvement** par rapport aux événements observés.

- **Activité** « La relativité du temps »

## III. La dilatation du temps

Pour un observateur en mouvement par rapport à un référentiel immobile, le temps s'écoule plus lentement du fait que la vitesse de la lumière est invariante. C'est le phénomène de dilatation des durées.

La durée mesurée  $\Delta t_M$  (en s) entre 2 événements peut-être reliée à la durée propre  $\Delta t_P$  par la relation :

$$\Delta t_M = \gamma \cdot \Delta t_P$$

Avec  $\gamma$  le **coefficient de Lorentz** :

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

Où  $v$  désigne la vitesse de l'observateur et  $c$ , celle de la lumière dans le vide ( $m \cdot s^{-1}$ )

Comme  $\gamma \geq 1$ , la durée mesurée  $\Delta T'$  par l'observateur en mouvement est toujours supérieure ou égale à la durée propre.

Le temps s'écoule plus lentement pour un système en mouvement que pour un système fixe : **on parle de dilatation du temps.**

**Selon la théorie de la relativité restreinte, le temps n'est pas absolu, l'écoulement du temps dépend du référentiel.** La durée séparant deux événements dépend donc du référentiel d'observation.

Remarque :

La dilatation du temps est imperceptible lorsque la vitesse  $v$  de l'observateur est faible devant  $c$ .

## IV. Confirmations expérimentales

### 1. Vitesses voisines de c

Des particules instables animées de vitesses proches de  $c$ , présentes dans les rayons cosmiques ou les accélérateurs de particules peuvent être observées pendant des durées très supérieures à leur durée de vie propre.

**Problématique** : comment les muons peuvent-ils traverser l'atmosphère ?

Le muon est une particule qui porte la même charge électrique que l'électron, mais avec une masse 207 fois plus grande, c'est pourquoi on l'appelle aussi électron lourd.

Les muons sont produits par l'interaction entre les rayons cosmiques émis par le Soleil et la haute atmosphère de la Terre, à une altitude d'environ 10 km.

Un muon au repos se désintègre en moyenne au bout d'une durée de valeur  $\tau = 2,2 \mu\text{s}$ . Les muons émis dans la haute atmosphère le sont avec une vitesse égale à 99,8 % de la célérité de la lumière dans le vide. On peut considérer cette vitesse comme constante.

On considère souvent que le fait de pouvoir détecter des muons à la surface de la Terre est une preuve expérimentale de la dilatation des durées. Cette partie propose de comprendre cette affirmation.

1. Calculer la distance parcourue par un muon pendant  $2,2 \mu\text{s}$ .
2. Pourquoi le fait que des muons parviennent à la surface de la Terre est-il une preuve expérimentale de la dilatation des durées ?
3. En tenant compte de la dilatation des durées, calculer la distance que parcourt, en moyenne, un muon, avant de se désintégrer. On prendra bien soin de définir les événements considérés et durée propres et durée mesurée depuis la Terre. Montrer que ce calcul permet d'interpréter le fait de pouvoir détecter des muons à la surface de la Terre.