Chapitre 10

Temps et relativité restreinte

I Préambule

Définition

Qu'appelle-t-on relativité ?

- Relatif : qui est défini en référence à autre chose.
- Absolu : qui est défini indépendamment de toute autre chose.

Comment savoir si une grandeur est relative ou absolue ?

Par exemple, les affirmations suivantes sont-elles relatives ou absolues ?

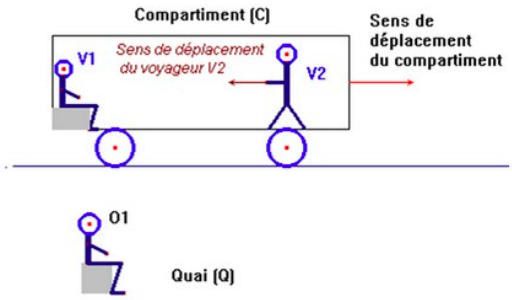
i. c'est chaud
ii. je mesure 1,70m
iii. ma maison est au nord
iv. il va vite

Dans les phrases (i), (iii) et (iv), il est nécessaire de préciser par rapport à quoi : ce sont des notions relatives.

Par contre, l'affirmation (ii) est absolue parce qu'elle peut être affirmée indépendamment de toute autre chose.

II Relativité de Galilée

Considérons une personne marchant dans un train qui roule en ligne droite et à vitesse constante : A quelle vitesse se déplace la personne par rapport au train ?



Dans le même sens : les vitesses s'ajoutent.
Dans le sens contraire : les vitesses se retranchent.
Quoi de plus naturel dans tout cela, n'est ce pas ?

Propriété

En mécanique classique : la vitesse est relative. Les longueurs et le temps sont absolus.

Propriété

Composition des vitesses (transformation de Galilée) : Soit un référentiel R' en mouvement rectiligne uniforme à la vitesse u par rapport à un référentiel R,

$$\vec{v} = \vec{v}' \pm \vec{u}$$

III Qu'en est-il pour la lumière ?

Le train avance en ligne droite et à vitesse constante avec les phares allumés. A quelle vitesse se déplace la lumière émise par les phares par rapport au quai ?

En considérant l'expérience précédente, la lumière vue du quai devrait aller à sa vitesse augmentée de celle du train.

Cette expérience a été menée par deux physiciens américains, Michelson et Morley, avec le train le plus rapide que nous connaissions : la Terre dans sa révolution autour du Soleil.

Résultat : négatif !

Propriété

Dans un référentiel galiléen, la lumière se propage toujours à la même célérité pour tous les observateurs, qu'ils soient en mouvement ou pas !
Dans le vide vaut $c \simeq 3,00 \times 10^8$ m·s^{-1}, constante universelle qui est de fait une limite maximale infranchissable pour les vitesses des particules. En particulier la loi d'addition galiléenne des vitesses est mise en défaut.

Ce résultat va à l'encontre de la mécanique classique que nous vivons au quotidien !

Autrement dit : la célérité de la lumière **semble** être absolue, c'est-à-dire indépendante de toute autre chose.

IV Relativité d'Einstein

L'idée révolutionnaire d'Einstein est de déclarer qu'il est inutile de chercher d'autres expériences pour montrer que la mécanique classique s'applique à la lumière.

Il pose donc le postulat suivant :

Propriété

La célérité de la lumière est absolue. Elle a la même valeur dans tous les référentiels.

Einstein a aussi introduit la notion d'espace-temps :

Définition

On définit un événement par ses quatre coordonnées spatio-temporelles, donc sa position dans l'espace et dans le temps. Le temps apparaît ainsi comme une coordonnée comme une autre.

Albert Einstein a alors montré la transformation de passage d'un référentiel à un autre en mouvement à la vitesse u par rapport au précédent avec ces deux postulats : les **transformations de Lorentz**.

$$\begin{cases} x' &= \gamma(x - ut') \\ y &= y' \\ z &= z' \\ t' &= \gamma\left(t - \frac{ux'}{c^2}\right) \end{cases}$$

avec $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$ et $\beta = \frac{u}{c}$.

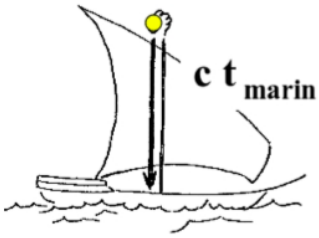
Quelles en sont les conséquences ?

Considérons un bateau muni d'une lampe en haut du mât. Ce bateau avance à vitesse constante v. Le trajet suivi par la lumière est observé par un marin et par un vacancier resté sur la plage.

La lumière se déplace à la même vitesse c pour le marin comme pour le vacancier. (postulat d'Einstein)

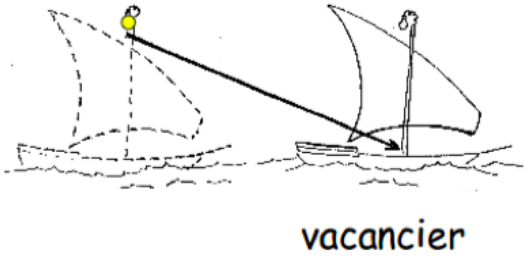
i. **Dilatation des durées**

Le marin chronomètre le temps mis par la lumière pour parcourir la hauteur h du mât. Il trouve : $h = ct_{marin}$ où t_{marin} est le temps chronométré par le marin.



Le vacancier en fait de même : il trouve la distance $D = ct_{vacancier}$ parcourue par la lumière et $d = vt_{vacancier}$ parcourue par le bateau.

$t_{vacancier}$ est la durée chronométrée par le vacancier.



Or, la distance parcourue par la lumière n'est pas la même pour le marin que pour le vacancier. Cependant, la lumière se déplace à la même vitesse pour les deux !

Conclusion : La durée de parcourt de la lumière n'est pas le même pour le marin et pour le vacancier :

$$t_{marin} \neq t_{vacancier}$$

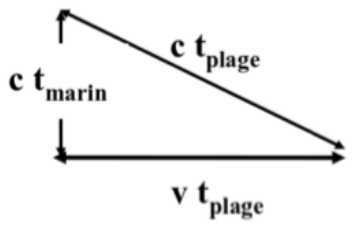
On peut même dire que : $t_{vacancier} > t_{marin}$

Propriété

Le temps est relatif !

Le temps n'est plus une notion universelle, il dépend de l'observateur et donc de son déplacement.

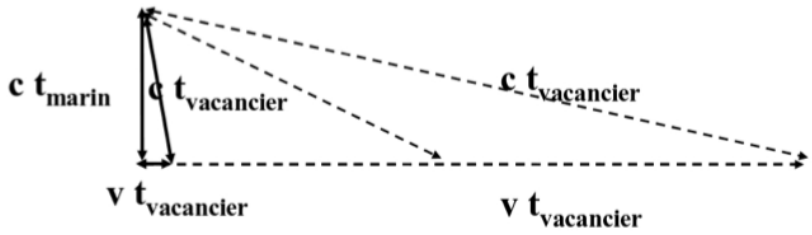
ii. **Comment calculer le temps de l'un par rapport à l'autre ?**



On montre facilement, à partir du théorème de Pythagore : $t_{vacancier} = \dfrac{t_{marin}}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}}$

iii. **Vitesse limite**

Que se passe-t-il si le bateau avance de plus en plus vite ?
Le triangle des distances parcourues s'allonge, s'allonge...



Mais, aussi loin que possible, l'hypothénuse restera toujours plus longue que le côté adjacent ! La vitesse du bateau sera donc toujours plus petite que celle de la lumière qui est alors une vitesse limite indépassable !

Définition

On nomme référentiel propre le référentiel dans lequel la particule est immobile.

Propriété

Si ΔT_0 correspond à un temps propre mesuré dans le référentiel propre, et ΔT à un temps mesuré dans un référentiel quelconque en mouvement alors

$$\Delta T = \gamma \Delta T_0$$