

Partie Comprendre : Lois et modèles

CHAP 08-COURS Temps et relativité restreinte

Objectifs : Qu'est ce que la relativité restreinte ?

- Savoir que la vitesse de la lumière dans le vide est la même dans tous les référentiels galiléens
- Définir la notion de temps propre et exploiter la relation entre durée propre et durée mesurée
- Identifier des situations concrètes où le caractère relatif du temps est à prendre en compte

(cf vidéos)

1. INVARIANCE DE LA VITESSE DE LA LUMIERE

1.1 Composition des vitesses

- Jusqu'au début du XXe siècle, pour passer d'une vitesse \vec{v} mesurée dans un référentiel R à la vitesse \vec{v}' mesurée dans un autre référentiel R', les physiciens la vitesse \vec{v}_e de R par rapport à R', dite vitesse d'..... : $\vec{v}' = \dots\dots\dots$

L'invariance de
remet donc en cause la loi composition des vitesses de Galilée :

$$\vec{v}' \dots \vec{v}_e + \vec{v}$$

Celle-ci restant valable si v_e est devant c.

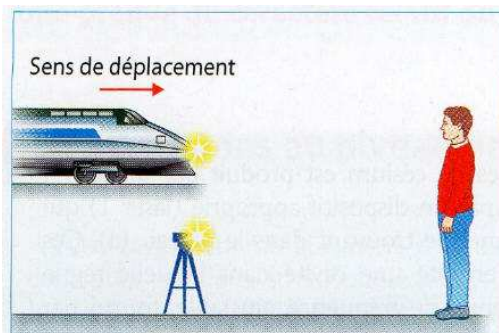
1.2 Preuves expérimentales

a) Expérience d'Arago

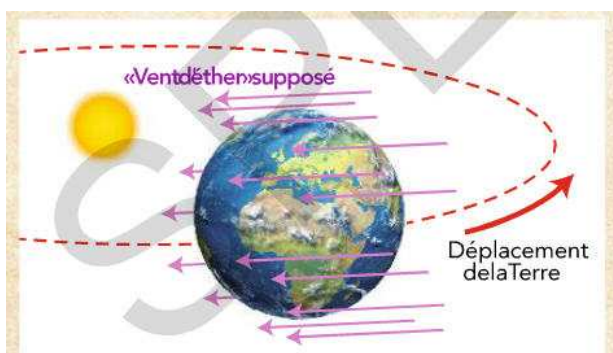
Vers 1810, Arago place un prisme sur le trajet de la lumière émise par différentes étoiles. La déviation des rayons lui fournit une mesure de la célérité de la lumière incidente : la célérité de la lumière ne dépend pas du déplacement de l'étoile vis-à-vis de la Terre.

b) Expérience de Michelson et Morley

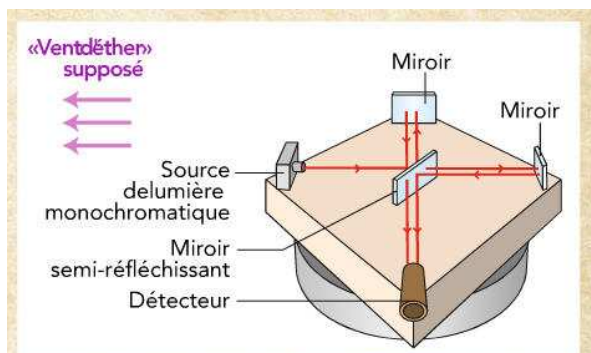
À la fin du XIXe siècle, Albert Michelson met au point un appareil très sensible, qui exploite le phénomène d'interférence. Cela lui permet de mettre en évidence les possibles variations de la célérité de la lumière, selon qu'elle se propage dans la direction du mouvement de la Terre ou dans la direction perpendiculaire. Aucun effet n'est observé : la célérité de la lumière ne dépend pas du mouvement de la Terre



7 Les flashes lumineux émis simultanément depuis le train et depuis la voie ferrée seront reçus au même instant par l'observateur, du fait de l'invariance de la célérité de la lumière.



Doc. 1 Mouvement de la Terre par rapport à l'éther.



Doc. 2 Schématisation du dispositif de A. MICHELSON et E. MORLEY.

c) Expérience d'Alvåger

Torsten Alvåger s'intéresse en 1964 à des particules (les « mésons π ») se déplaçant à grande vitesse ($v = 0,999 c$). Son étude des photons émis par ces particules lors de leur désintégration montre que la célérité de la lumière est c , et non $c' = 1,999 c$ comme la loi de composition des vitesses de Galilée le prédit.

1.3. Postulat d'Einstein

La théorie de la relativité restreinte d'Albert Einstein (1905) est fondée sur de la célérité de la lumière, qui possède donc un statut particulier par rapport à d'autres phénomènes physiques.

- La lumière se propage avec la célérité $c = \dots\dots\dots m.s^{-1}$ dans le vide, quel que soit le d'étude.
- Aucune particule ne peut acquérir une vitesse à la célérité de la lumière dans le vide.

2. REFERENTIELS ET HORLOGES

2.1 Principe de relativité

La théorie de la relativité d'Einstein est aussi fondée sur le principe de
Les lois des phénomènes physiques sont dans deux référentiels R et R'

Rappel: Si un référentiel R' est en translation par rapport à un référentiel galiléen R , alors R' est galiléen lui aussi

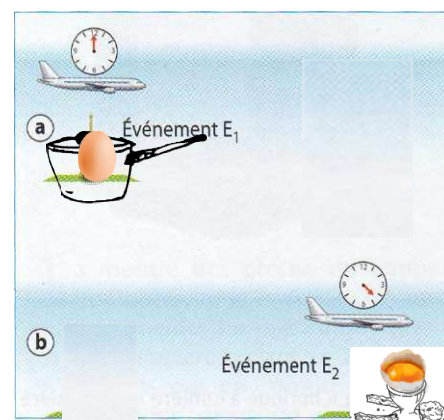
Ex : Du thé versé dans une tasse s'écoule de la même façon chez soi ou dans un train à sur une voie rectiligne : aucune expérience effectuée à l'intérieur du train ne permet de savoir si celui-ci se déplace ou pas

2.2 Notion d'événement

- Un événement est un phénomène qui se produit en un dans l'espace, à un dans le temps.

Exemple :

- Le début de la cuisson d'un œuf à la coque dans un avion définit un événement E_1 et la fin de la cuisson de l'œuf à la coque dans l'avion un événement E_2 (doc. ci-contre).



- Le référentiel galiléen (ici l'avion) dans lequel deux événements E_1 et E_2 ont lieu au de l'espace est appelé référentiel pour E_1 et E_2 .
- L'horloge qui lui est associée mesure un intervalle de temps entre ces deux événements appelé la entre E_1 , et E_2 .

Exemple :

Les deux événements E_1 et E_2 définis précédemment ont lieu au même endroit dans le référentiel de, c'est le référentiel vis-à-vis de ces 2 événements.

Une horloge embarquée dans l'avion est capable de mesurer la durée entre ces deux événements.

Lepropre est celui indiqué par l'horloge associée au référentiel

2.3 La mesure du temps

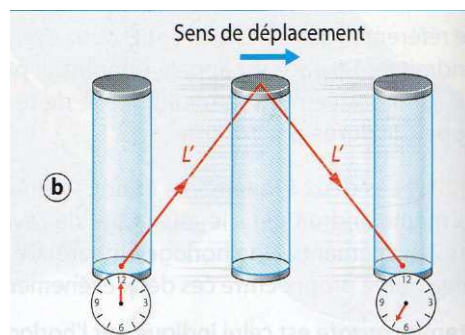
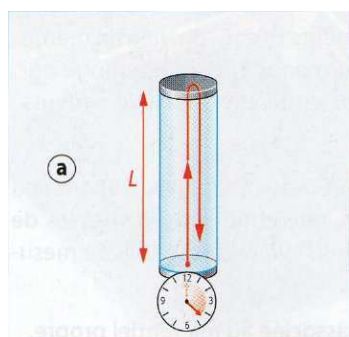
Une durée est de temps mesuré par l'horloge d'un référentiel entre deux événements. L'horloge associée au référentiel indique une : c'est la durée écoulée depuis une origine des dates $t = 0$ choisie.

3. RELATIVITE DU TEMPS**3.1 Caractère relatif des durées**

- 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 (doc. ci-dessous).

- La mesure de la durée se fait entre deux événements : l'envoi de l'impulsion lumineuse et sa réception. Ces deux événements ont lieu :

- au même endroit dans le référentiel R de la fusée : c'est le référentiel propre (doc. a) ;
- à des endroits différents (doc. b) dans le référentiel de, qui n'est donc pas le référentiel propre



Du fait de l'invariance de la célérité de la lumière, l'intervalle de temps entre deux événements mesurés dans deux référentiels différents ne peut pas être : la durée mesurée du référentiel

3.2. Démonstration :

- Calculer la durée mesurée dans R : $\Delta t = \dots\dots\dots$
- Calculer la durée mesurée dans R' : $\Delta t' = \dots\dots\dots$
- Comparer : $\Delta t' \dots\dots \Delta t$

Le temps passe vite à bord de la fusée que sur Terre
On donc moins vite dans la fusée que sur la Terre

3.3. Dilatation des durées

L'intervalle de temps Δt_0 entre deux événements, mesuré dans le référentiel propre galiléen R, est toujours que l'intervalle de temps $\Delta t'$ entre ces mêmes événements mesuré dans un autre référentiel galiléen R', se déplaçant à la vitesse v par rapport à R

$$\Delta t' = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \dots \Delta t_0$$

$\Delta t'$: L'intervalle de temps mesuré dans un autre référentiel galiléen R' se déplaçant à la vitesse v par rapport à R (s)

Δt_0 : L'intervalle de temps propre Δt_0 entre deux événements, mesuré dans le référentiel propre galiléen R (s)

v : Vitesse de déplacement de R' par rapport à R

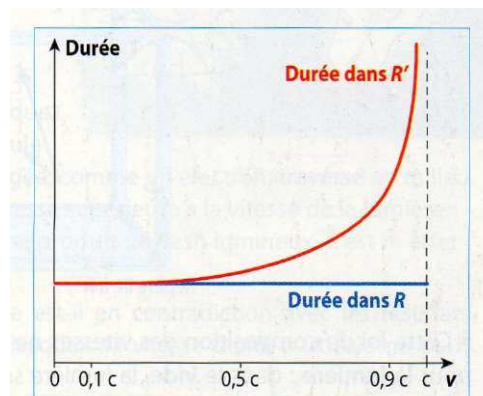
c : Vitesse de la lumière dans le vide ($m.s^{-1}$)

Rq:

Les intervalles de temps sont quasi tant que les référentiels se déplacent à des vitesses devant la célérité de la lumière, mais les différences sont sensibles dès que v devient de c

Ainsi, du fait du mouvement relatif des deux référentiels, il apparaît une apparente des durées d'autant plus sensible que v est proche de c .

- L'expression de $\Delta t'$ montre que v ne peut pas c .



14 Évolution de la durée avec la vitesse v du référentiel R' par rapport à R, référentiel propre.