

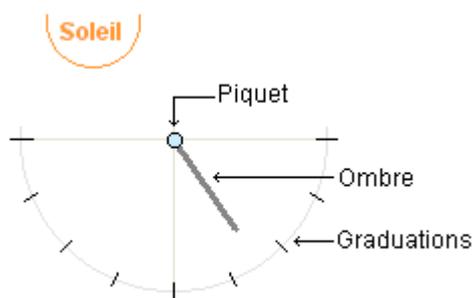
I) invariance de la célérité de la lumière

I-1 mesure d'un durée

Les phénomènes astronomiques, réguliers et facilement observables, ont donné à l'homme ses premiers repères dans le temps : le jour, le mois, l'année. Plusieurs siècles plus tard, ils ont appris à évaluer le temps en observant l'ombre d'un gnomon planté dans le sol ou grâce à un réservoir d'eau ou de sable gradué qui se vide régulièrement.

Dispositifs construits par l'homme :

- le cadran solaire :



Lorsqu'il est placé au soleil, l'ombre d'un piquet parcourt régulièrement les divisions du cadran solaire.

- sablier, **clepsydre** : Dans un sablier, la durée totale d'écoulement du sable est connue. Elle permet une mesure simple du temps. Une clepsydre est un récipient percé muni d'une graduation. L'écoulement du liquide ou du sable permet de mesurer le temps.

- les horloges: il en existe plusieurs types:

- **Les horloges mécaniques** qui apparaissent dès la fin du Moyen Age : le temps est mesuré grâce aux oscillations d'un balancier (pendule simple) dont on connaît la période.

- **Les horloges électriques** : le temps est mesuré grâce aux oscillations d'un cristal de quartz qui oscille à une fréquence $f = 32768 \text{ Hz}$.

- **Les horloges atomiques**: elles datent des années 50. Elles donnent l'heure à l'aide de la fréquence de rayonnement du césium 133.

L'unité légale de temps est la seconde (s)

La **seconde** est actuellement définie comme la **durée de 9 192 631 770 périodes** de la radiation émise au cours de la transition



énergétique entre 2 niveaux d'énergie de l'atome de césium 133.

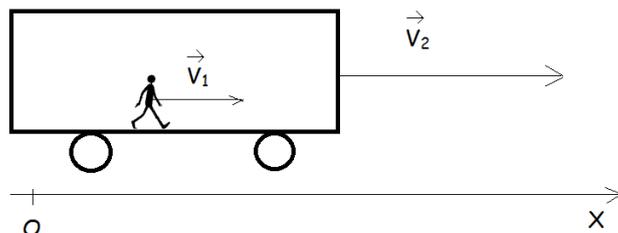
☞ Horloge atomique commerciale à césium ayant servi à réaliser le

temps légal français dans les années 1980 et comme référence pour l'horloge parlante (source wikipédia)

I-2 loi de composition des vitesses

Soit un train se déplaçant à une vitesse \vec{V}_1 par rapport au référentiel Terre, sur un rail rectiligne. Une personne se déplace à une vitesse \vec{V}_2 par rapport au référentiel train.

Quelle est la vitesse \vec{V} de déplacement de la personne par rapport au référentiel Terre ?



$\vec{V} =$ _____

Si et seulement si les vecteurs vitesses 1 et 2 sont colinéaires et de même sens

$$\|\vec{v}\| = \|\vec{v}_1\| + \|\vec{v}_2\|$$

Avec

\vec{V} = : vitesse de l'homme par rapport au référentiel Terre

\vec{V}_1 : vitesse de l'homme par rapport au référentiel train.

Cette loi est appelée _____ des _____ de Galilée.

La vitesse de déplacement d'un objet matériel dépend du _____ d'étude :

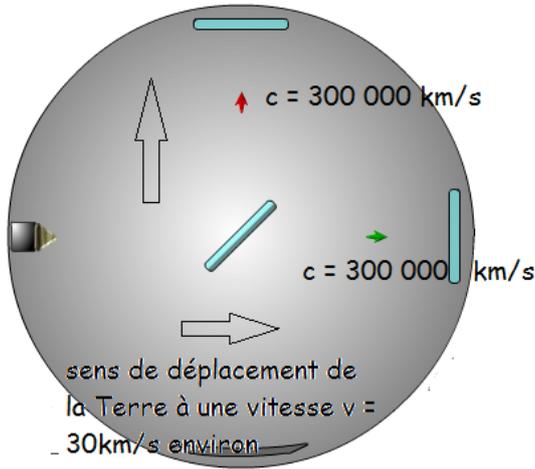
I-3 postulat d'Einstein

Clique sur l'animation **invariance de la vitesse de la lumière dans le cas des étoiles doubles (Serge Bertorello)**



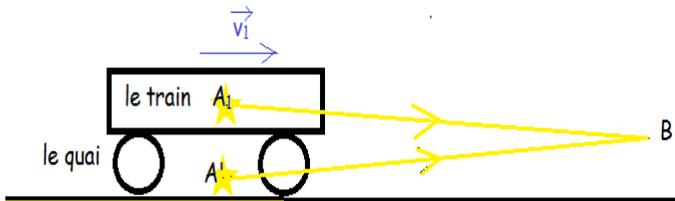
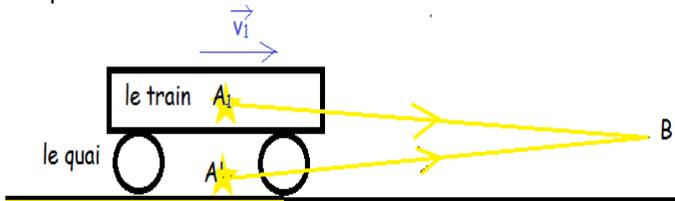
La vitesse de la lumière dépend-t-elle du référentiel d'étude ?

Clique sur l'**animation expérience de Morley et Michelson**. Qu'elle se propage dans la direction du mouvement de la Terre ou dans la direction perpendiculaire à celle-ci la célérité de la lumière est la même.



Que peut-on en déduire ?

Prenons l'exemple maintenant d'une personne fixe dans le train qui envoie un éclair lumineux à l'instant t_1 d'un point A_1 . Le train se déplace à une vitesse v_1 par rapport au référentiel Terre. Au même instant on envoie un éclair d'un point A' du quai de la gare. Un observateur est placé en un point B tel que $A_1B = A'B$. La célérité de la lumière est $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$. L'observateur reçoit-il les éclairs en même temps ? Cette constatation est-elle en accord avec la loi de composition des vitesses ?

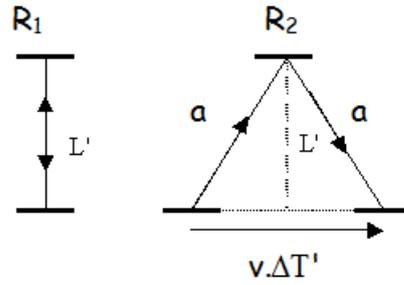


Einstein en 1905 énonce le postulat de l'invariance de la célérité de la lumière:

La **célérité** de la lumière ne _____
 _____ **référentiel d'étude**. Elle est la
 même dans tous les _____
 Dans le vide la célérité vaut $c =$ _____)

II) la relativité restreinte

II-1 différence entre physique classique et relativiste : la relativité du temps !



Un astronaute dans une fusée éclaire un miroir placé au-dessus de lui à une distance L' . Le référentiel R_1 (lié à la fusée) est supposé galiléen. On place une horloge dans ce référentiel. Que vaut la durée ΔT_0 mise par l'éclair pour parcourir un aller-retour entre le point d'émission et de réception du signal ?

ΔT_0 est appelé le **temps propre** car il est mesuré par une horloge placée dans le référentiel où se passe l'événement 'aller-retour de l'éclair'.

Plaçons-nous sur le référentiel terrestre. On considère que la fusée a un mouvement rectiligne uniforme par rapport au référentiel terrestre R_2 . Sa vitesse est notée v . Démontrer que, dans le référentiel terrestre R_2 , la **durée** $\Delta T'$ appelée **durée impropre** ou **durée mesurée** correspondant à l'événement 'aller-retour du flash' vaut :

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

Comparer $\Delta T'$ et ΔT_0 . Conclusion ?

II-3 du temps propre ΔT_0 et impropre $\Delta T'$

Le temps propre ou durée propre ΔT_0 est la durée d'un événement mesurée par une horloge. Cette horloge fixe est placée dans le référentiel où se _____.

Le temps ou durée impropre $\Delta T'$ est la durée d'un événement mesurée dans un référentiel différent de celui où se déroule l'événement.

ΔT_0 et $\Delta T'$ sont liés par la relation suivante:

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

$$\Delta T' = \gamma \cdot \Delta T_0$$

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

Cette formule n'est pas à retenir.

Exercice : calculer le rapport entre la durée impropre et la durée propre dans le cas ou $v = 0,01.c$

Conclusion : dans le cas ou v est faible devant c on peut _____ cette dilatation du temps. Le temps propre est _____ du temps impropre. La mécanique classique et relativiste se rejoignent.

Remarque : ce phénomène de dilatation du temps a été observé dans les satellites GPS. Les horloges embarquées dans le satellite sont _____, il faut les synchroniser avec celle sur Terre.

II-4 mon fils est plus vieux que moi!

Un astronaute Bob de 32 ans part en voyage dans une fusée avec une vitesse $v = 0,99.c$. Il laisse une femme et un enfant de 10 ans, le petit Pierre. Il s'écoule une durée propre $\Delta T_0 = 5,0$ ans avant que Bob ne revienne sur Terre. Quelle durée impropre $\Delta T'$ s'est écoulée sur Terre? Quel est alors l'âge de Pierre? Pourquoi Bob est-il parti ?

Programme officiel

Comprendre: Lois et modèles

Comment exploite-t-on des phénomènes périodiques pour accéder à la mesure du temps ? En quoi le concept de temps joue-t-il un rôle essentiel dans la relativité ? Quels paramètres influencent l'évolution chimique ? Comment la structure des molécules permet-elle d'interpréter leurs propriétés ? Comment les réactions en chimie organique et celles par échange de proton participent-elles de la transformation de la matière ? Comment s'effectuent les transferts d'énergie à différentes échelles ? Comment se manifeste la réalité quantique, notamment pour la lumière ?

Temps, mouvement et évolution

Notions et contenus	Compétences exigibles
Temps et relativité restreinte Invariance de la vitesse de la lumière et caractère relatif du temps.	Savoir que la vitesse de la lumière dans le vide est la même dans tous les référentiels galiléens.
Postulat d'Einstein. Tests expérimentaux de l'invariance de la vitesse de la lumière.	Définir la notion de temps propre. Exploiter la relation entre durée propre et durée mesurée.
Notion d'événement. Temps propre. Dilatation des durées. Preuves expérimentales.	Extraire et exploiter des informations relatives à une situation concrète où le caractère relatif du temps est à prendre en compte.

Préparer le DS

- 1) La vitesse de la lumière dépend-t-elle du référentiel d'étude ?
- 2) Qu'est-ce que le temps propre ?
- 3) Que signifie que le temps est relatif au référentiel ?
- 4) clique sur le [lien suivant \(labolycee\)](#) et effectue la question n°3 'cinétique relativiste'.