Note sur la perte de simultanéité entre repères en mouvement

Dès 1905, Albert Einstein avec la relativité restreinte mit fin à la simultanéité des évènements entre repères se déplaçant l'un par rapport à l'autre.

Par exemple, si l'allumage de deux voyants lumineux L1 et L2 est simultané pour Alice, pour Bob qui se déplace vers la droite d'Alice, L1 s'allume avant L2. Pour Charly qui se déplace vers la gauche d'Alice, c'est L2 qui s'allume avant L1.

On notera au passage que la **notion de présent se dissout avec celle de simultanéité** : le présent pour Alice diffère de celui de Bob, qui diffère de celui de Charly.

Dans la majorité des démonstrations sont utilisés **des signaux lumineux**, donc **de vitesse c invariante** quel que soit le référentiel.

Certes, cette approche facilite l'explication de la perte de simultanéité, comme on le verra ci-dessous.

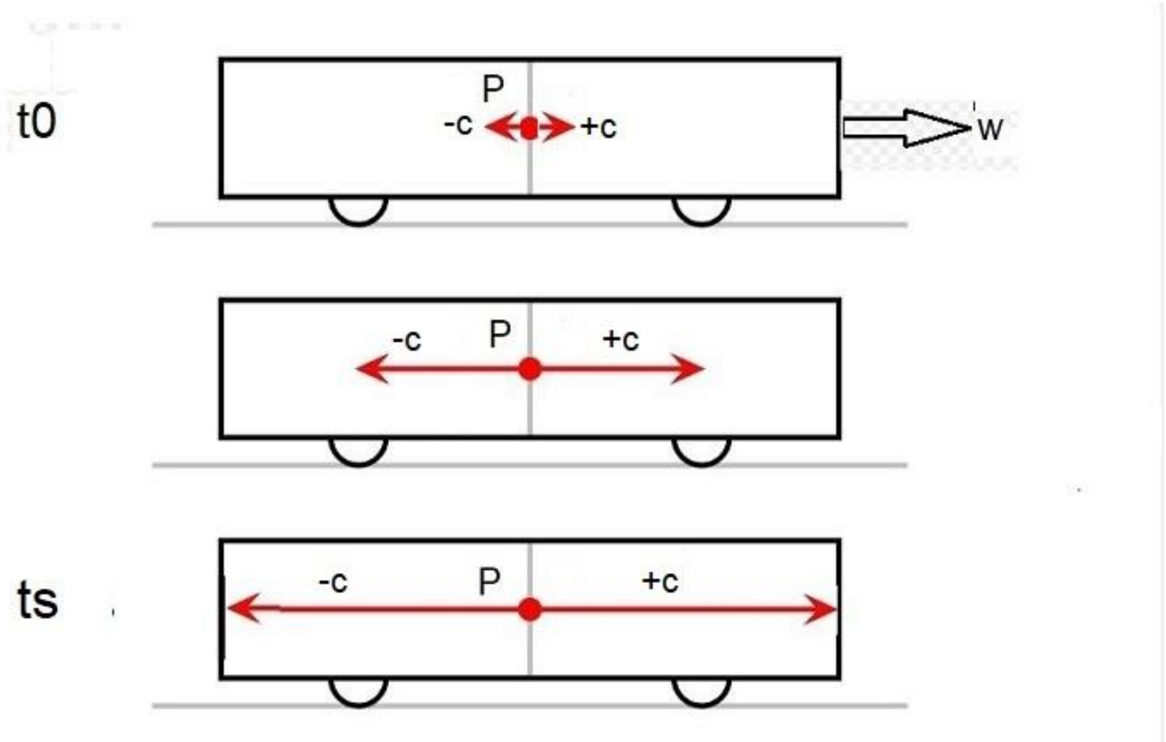
En même temps il est légitime* de se poser la question : ce **phénomène persiste-t-il** pour les **objets matériels**, c'est-à-dire quand la vitesse est inférieure à celle de la lumière ?

On montrera que c'est le cas par la suite.

La relativité de la simultanéité avec la lumière

Un wagon se déplace vers la droite à la vitesse W par rapport à **l'observateur O** immobile sur le sol de la voie ferrée (on oublie les personnages ci-dessus).

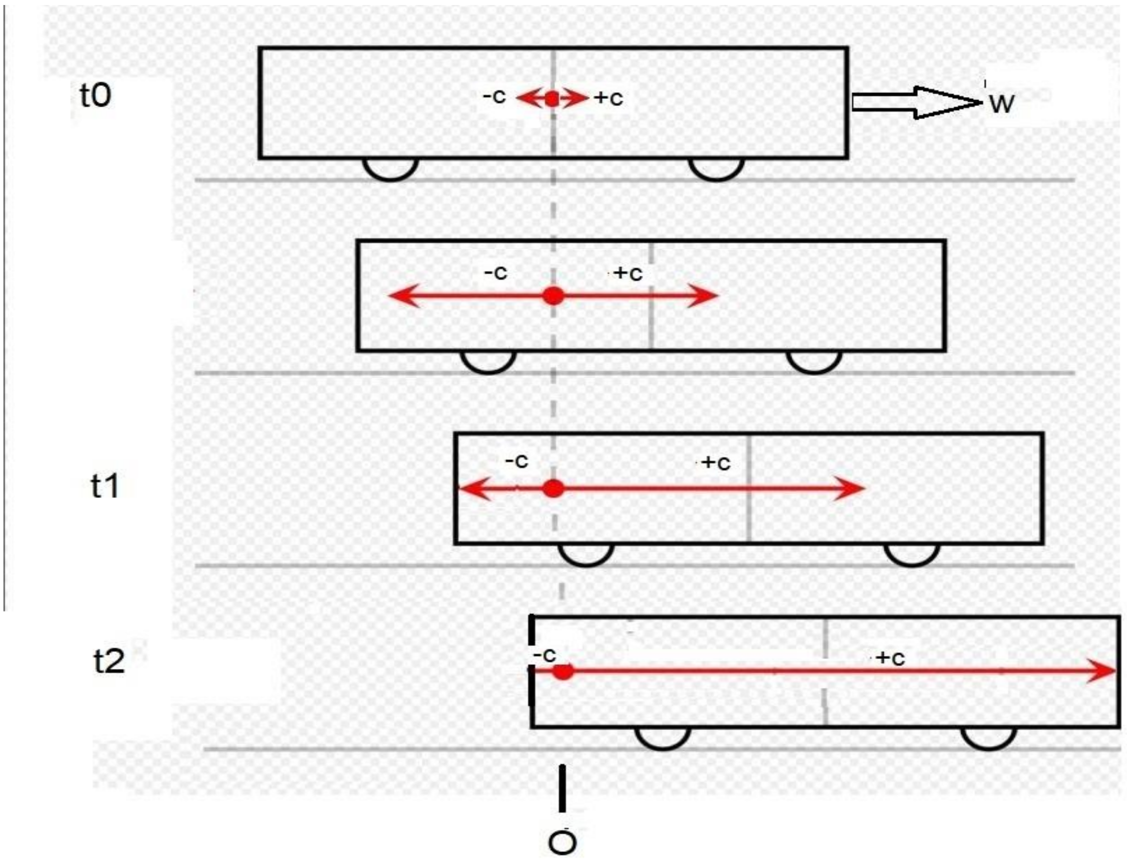
VUE DU TRAIN en P



Le passager P assis au milieu du wagon émet deux signaux lumineux de sens opposés au même instant parallèles à la voie.

Pour P, les faisceaux atteignent les deux extrémités du wagon **simultanément**, c'est-à-dire au même instant ts selon l'horloge du wagon.

VUE DU SOL en O



La vitesse de la lumière c est constante, indépendante de la vitesse de la source. En conséquence le rayon dirigé vers la gauche atteint la **paroi gauche** qui vient à sa rencontre à t1 **avant** que le rayon dirigé vers la droite ne rattrape la **paroi droite** du wagon à t2.

Comme t1 # t2, il n'existe plus de simultanéité.

La relativité de la simultanéité avec des projectiles

Cette fois le passager P lance **deux pierres identiques** à l'instant t0 : la pierre A vers l'arrière du wagon à la vitesse –v et la pierre B vers l'avant à la vitesse +v par rapport au wagon.

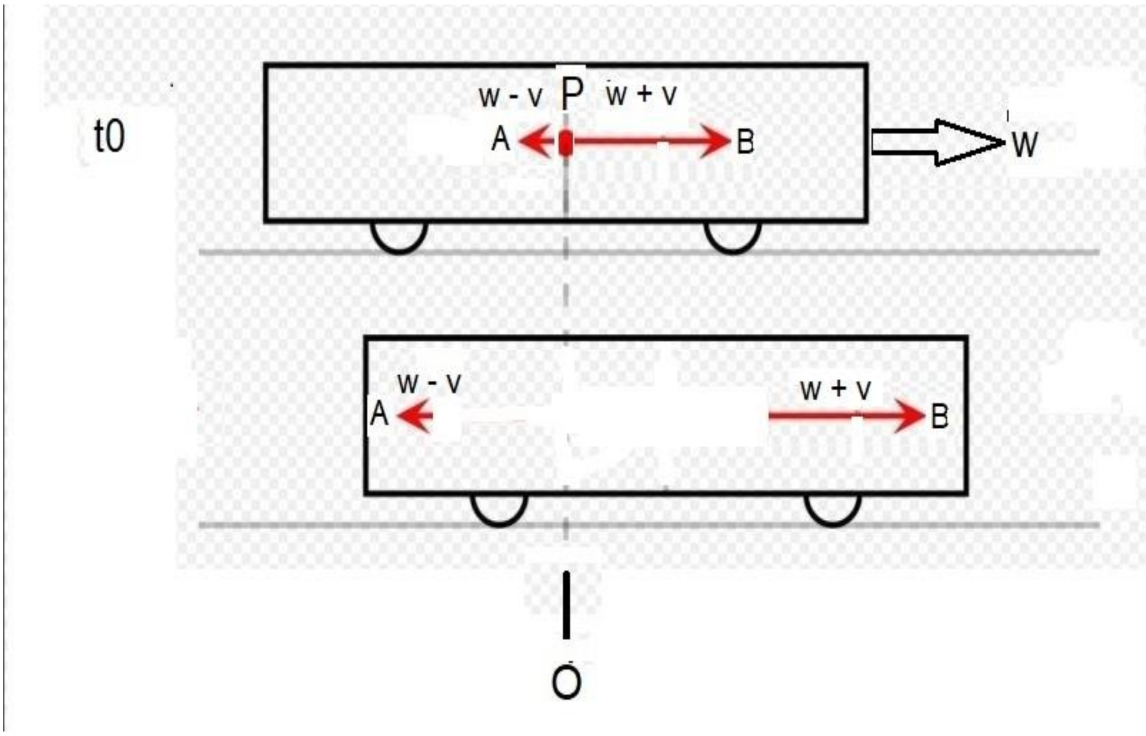
En physique Newtonienne, les vitesses s'additionnent et, vu du sol, pour l'observateur O

Pour A $\quad V_a = w - v$

Pour B $\quad V_b = w + v$

Ce qui garantit **l'arrivée simultanée** des pierres A et B sur les parois, aussi bien pour l'observateur au sol O que pour le passager du train P.

A va moins vite que le wagon mais la paroi gauche vient à sa rencontre. B va plus vite que le wagon, mais elle doit rattraper la paroi droite.



En relativité restreinte

On constate encore **la perte de la simultanéité**, comme dans le cas des rayons lumineux.

La pierre A atteint la paroi gauche **avant** que la pierre B n'atteigne la paroi droite..

La raison en est une **nouvelle cinématique** propre à la relativité (voir l'annexe).

La loi de composition des vitesses n'est plus une simple addition comme chez Newton, elle fait intervenir la **constante c, vitesse de la lumière** (voir le calcul en annexe).

$$Va = \frac{w - v}{1 - \frac{wv}{c^2}}$$

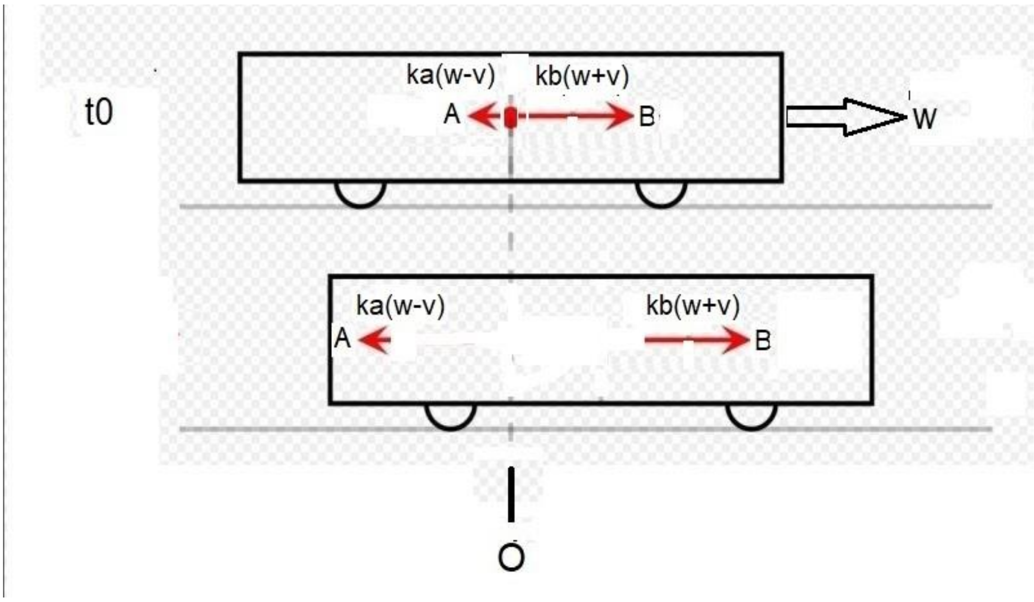
$$Vb = \frac{w + v}{1 + \frac{wv}{c^2}}$$

Posons ka = $\frac{1}{1-\frac{wv}{c^2}}$ et kb = $\frac{1}{1+\frac{wv}{c^2}}$

$Va = (w - v)ka$ et $Vb = (w + v)kb$

Comme ka > 1 et kb < 1 en relativité on constate que les vitesses composées comparées au cas Newtonien sont

- Va supérieure
- Vb inférieure.



La **pierre A arrivera avant la pierre B** sur leur paroi réciproque

Le « présent » du passager P, c'est dire l'impact simultané de A et B diffère du « présent » de l'observateur O au sol puisque celui-ci observe d'abord l'impact de A puis l'impact de B.

Annexe

Calcul de la formule de composition des vitesses en relativité

Pour le repère au sol, on définit les coordonnées (x , t) et (x', t') pour le repère mobile du wagon qui se déplace à la vitesse constante w par rapport au sol .

La relation entre les deux repères est donnée par les formules de **Lorentz**

$$x' = \frac{x - wt}{\sqrt{1 - \frac{w^2}{c^2}}} \qquad\qquad t' = \frac{t - \frac{wx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{w^2}{c^2}}}$$

Dans le wagon un mobile se déplace à la vitesse v = x'/t', soit x' = vt'.

On recherche la vitesse composée V = x/t du mobile **par rapport au sol**.

Dans x' = v t' remplaçons x' et t' par les valeurs ci-dessus

$$\frac{x - wt}{\sqrt{1 - \frac{w^2}{c^2}}} = v\frac{t - \frac{wx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{w^2}{c^2}}}$$

Les racines carrées disparaissent et on regroupe x et t ,

$$x\left(1 + \frac{wv}{c^2}\right) = t(w + v)$$

D'où la formule de composition des vitesses en relativité pour **V = x/t vitesse du mobile dans le wagon par rapport au sol**

$$V = \frac{w + v}{\left(1 + \frac{wv}{c^2}\right)}$$

Calcul des différences de temps

L'impact des deux pierres se produit aux instants t'a et t'b dans le wagon et ta et tb au sol.

Pour calculer tb - ta, on utilise les formules de Lorentz en changeant w en –w et inversant les « ' » par symétrie

$$x = \frac{x' + wt'}{\sqrt{1 - \frac{w^2}{c^2}}} \qquad\qquad t = \frac{t' + \frac{wx'}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{w^2}{c^2}}}$$

$$tb - ta = \frac{t'b - t'a + \frac{w(x'b - x'a)}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{w^2}{c^2}}}$$

La simultanéité dans le wagon annule t'b – t'a .

La longueur du wagon étant L = (x'b – x'a) on trouve finalement

$$tb - ta = wL \frac{1}{c^2\sqrt{1 - \frac{w^2}{c^2}}}$$

Assez logiquement cet **écart** de temps est proportionnel à la **longueur du wagon et à sa vitesse**

*Référence « Déjouez les idées fausses en physique » Pierre Spagnou , Ellipses 2017

Ph Loutrel   www.loutrel.org