

# Club science

Philippe Ribiere

[ribierep@orange.fr](mailto:ribierep@orange.fr)

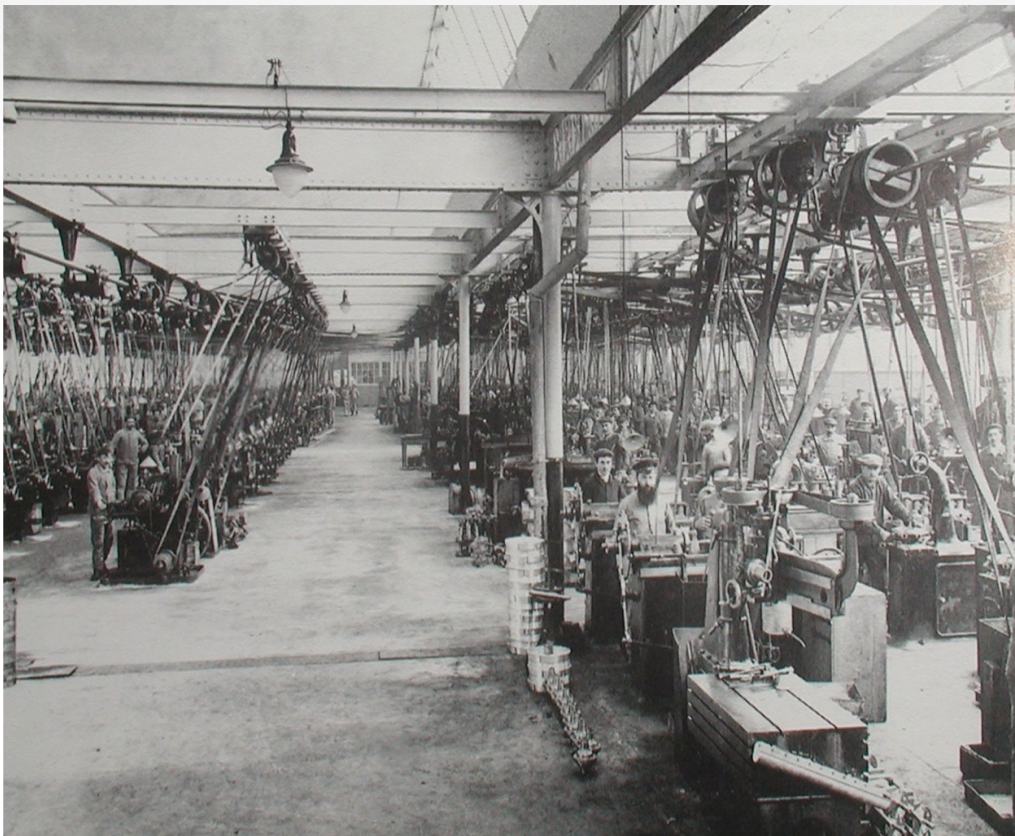
Mercredi 9 Janvier 2013

Quelques idées sur ...  
la relativité restreinte

# La relativité restreinte

## 1. Un peu d'histoire

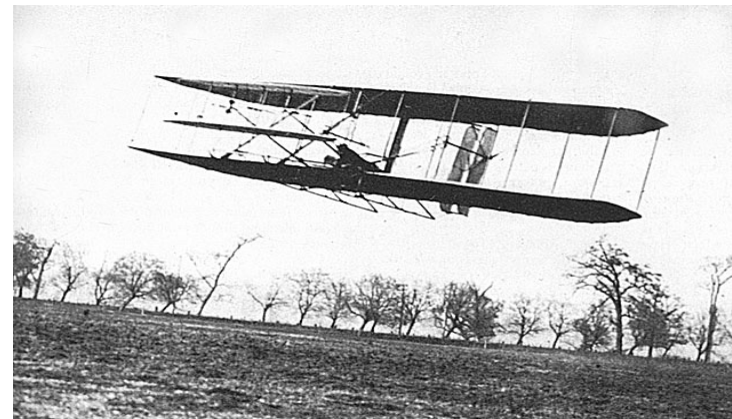
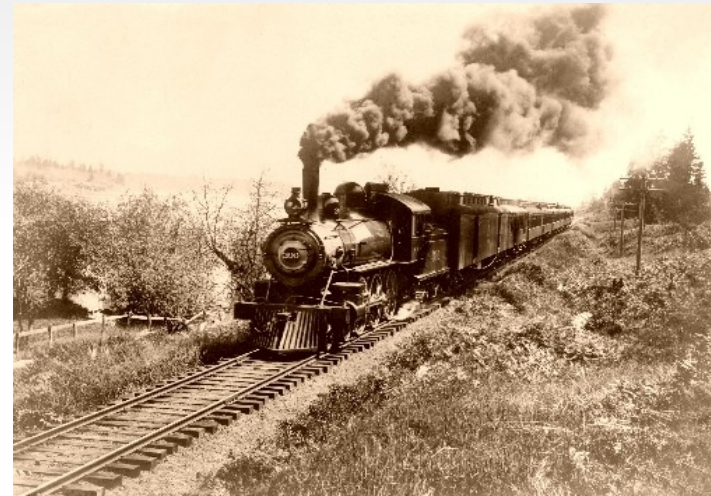
Juste avant 1900, mécanique maitrisée



# La relativité restreinte

## 1. Un peu d'histoire

Juste avant 1900, révolution industriel

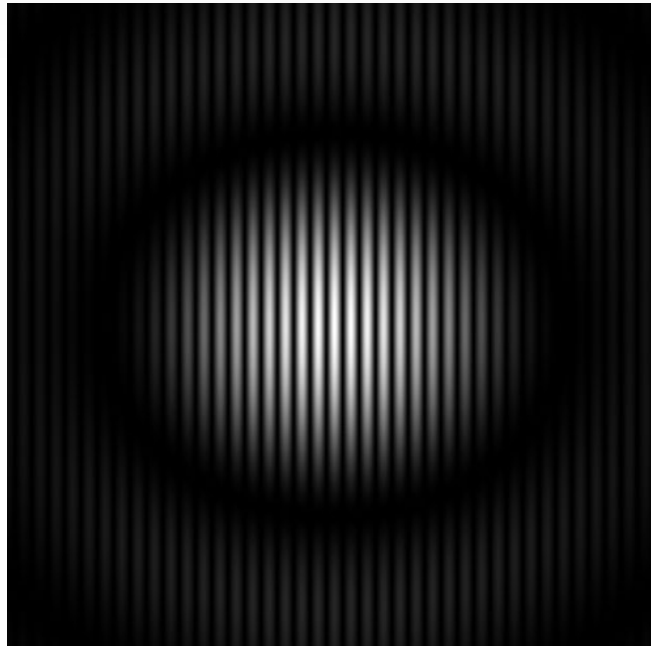




# La relativité restreinte

## 1. Un peu d'histoire

Juste avant 1900, Maxwell a expliqué les ondes électromagnétiques



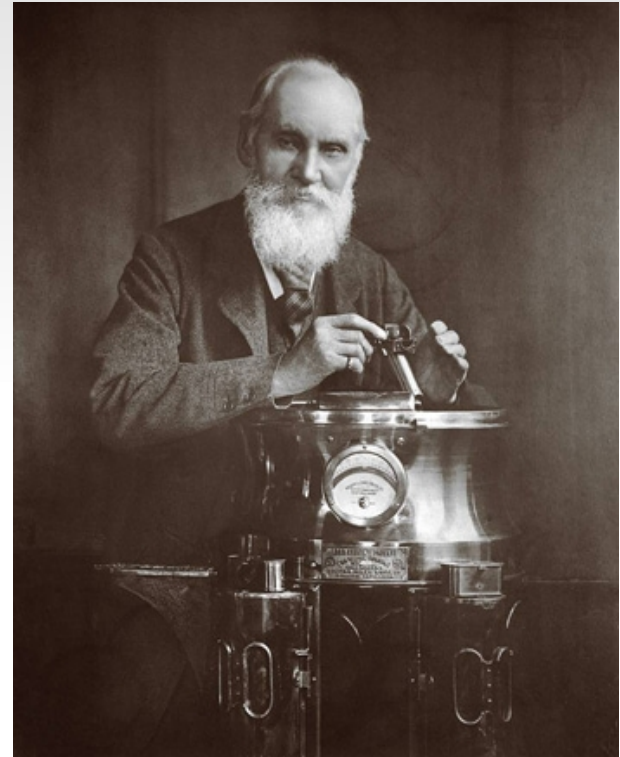
# La relativité restreinte

## 1. Un peu d'histoire

Juste avant 1900

Lord Kelvin:

" A part une petite difficulté (...),  
la Physique est terminée. "



# La relativité restreinte

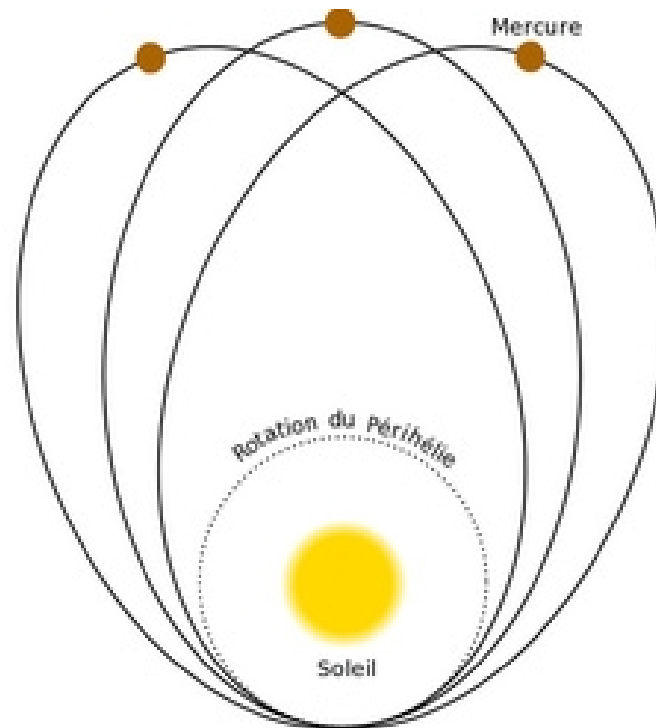
## 1. Un peu d'histoire

Mais...

# La relativité restreinte

## 1. Un peu d'histoire

Mais... Problème de l'avance de la périhélie de mercure.





# La relativité restreinte

## 1. Un peu d'histoire

1905, Einstein:



# La relativité restreinte

## 2. La relativité avant Einstein, relativité galiléenne.

# La relativité restreinte

## 2. La relativité avant Einstein, relativité galiléenne.

Loi fondamentale de la mécanique galiléenne:

Principe Fondamental de la Dynamique

Il existe un référentiel galiléen dans lequel le mouvement d'une particule ponctuelle est décrit par la loi:

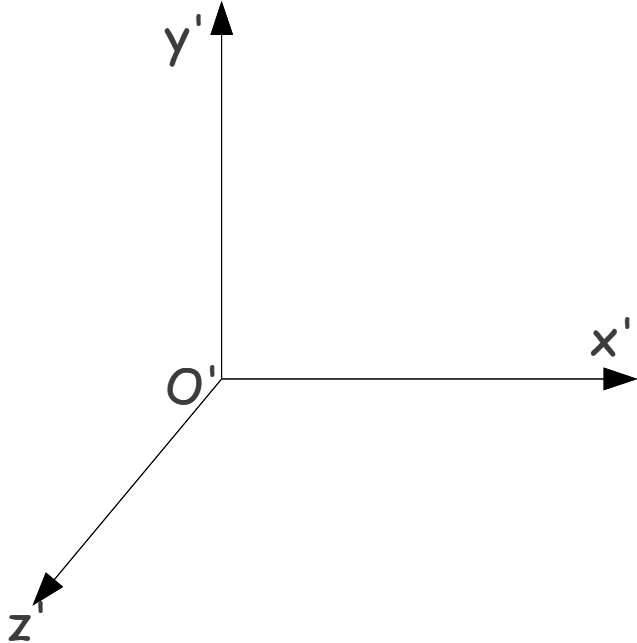
$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{f}$$

$$\vec{p} = m.\vec{v}$$

# La relativité restreinte

## 2. La relativité avant Einstein, relativité galiléenne.

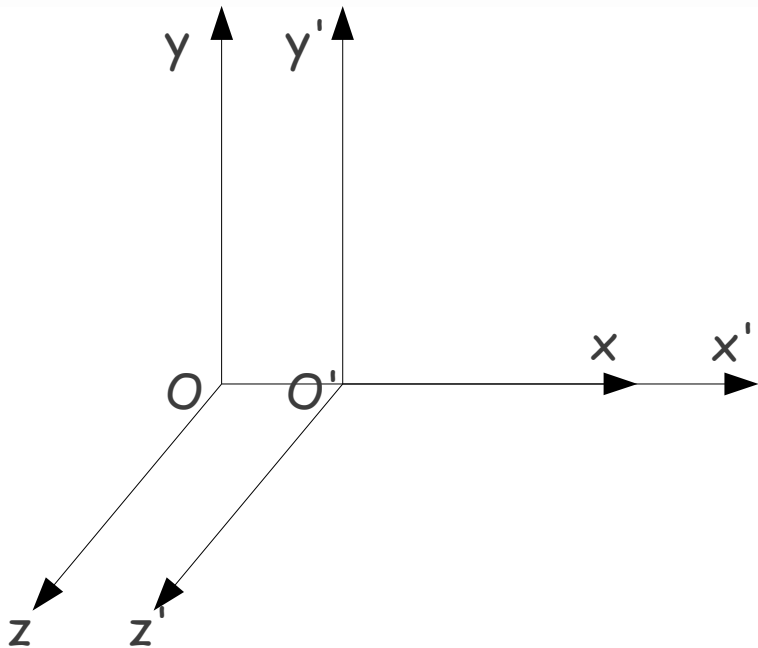
Changement de référentiel galiléen



# La relativité restreinte

## 2. La relativité avant Einstein, relativité galiléenne.

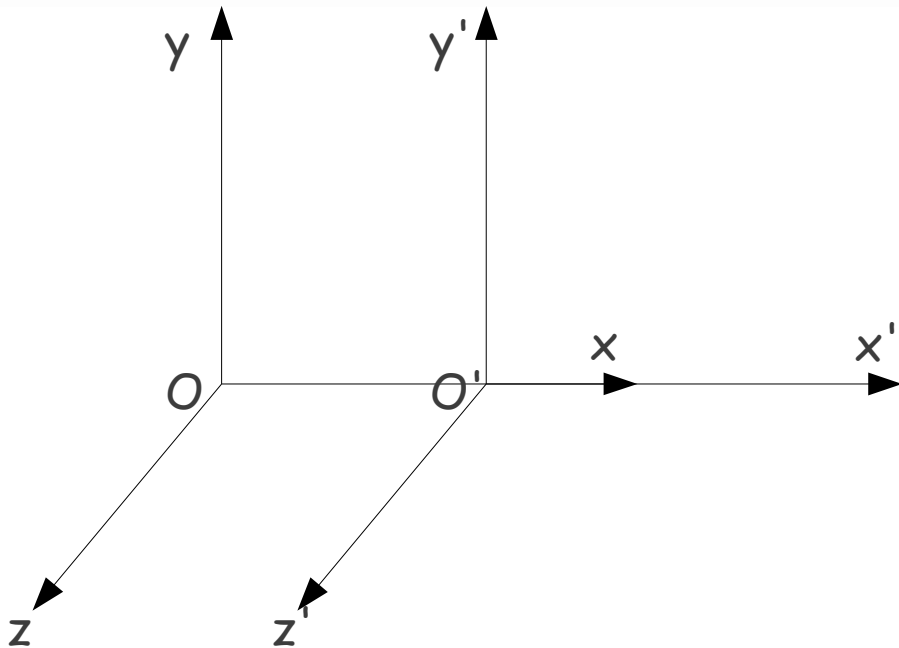
Changement de référentiel galiléen



# La relativité restreinte

## 2. La relativité avant Einstein, relativité galiléenne.

Changement de référentiel galiléen

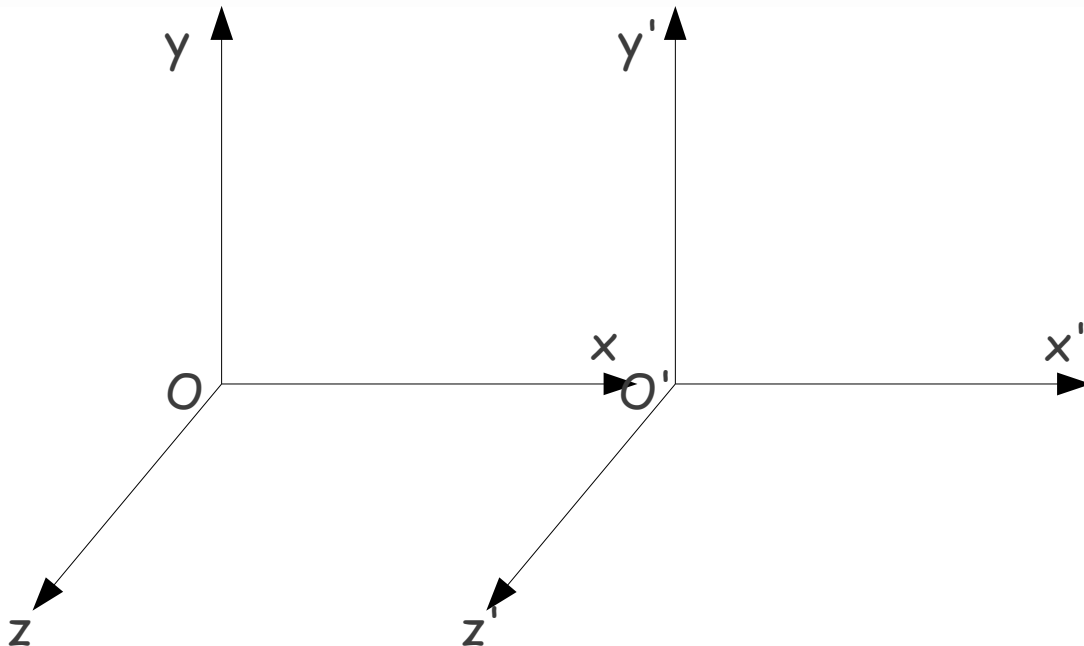




# La relativité restreinte

## 2. La relativité avant Einstein, relativité galiléenne.

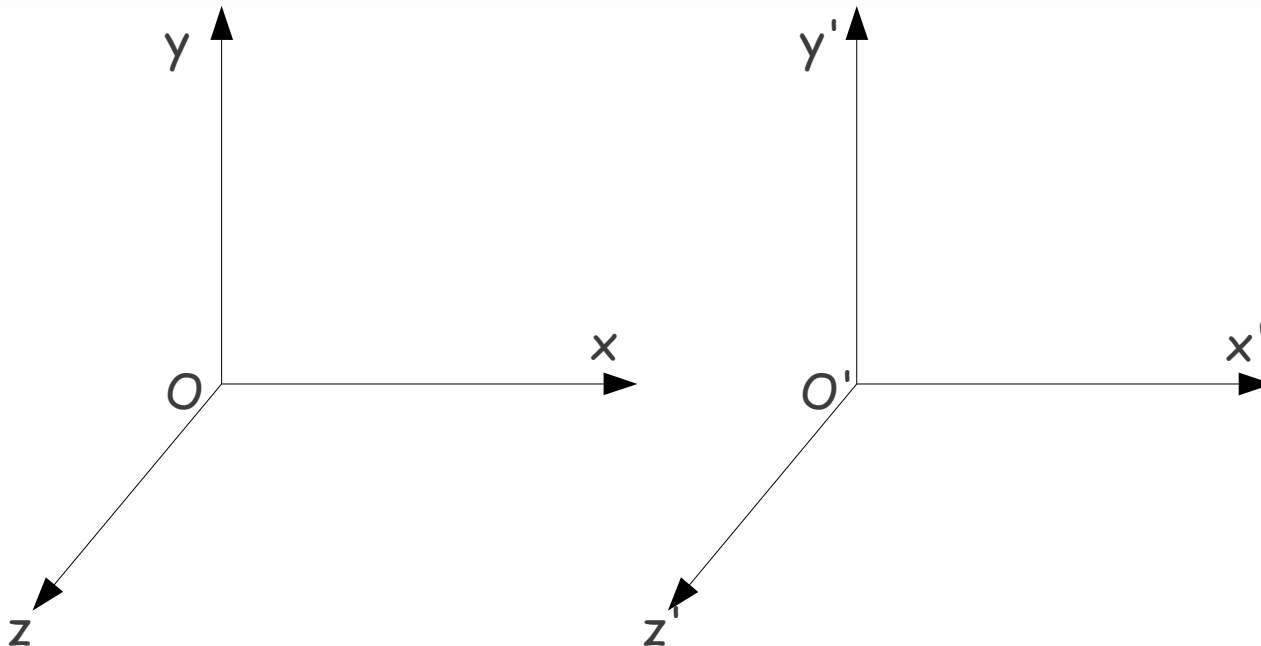
Changement de référentiel galiléen



# La relativité restreinte

## 2. La relativité avant Einstein, relativité galiléenne.

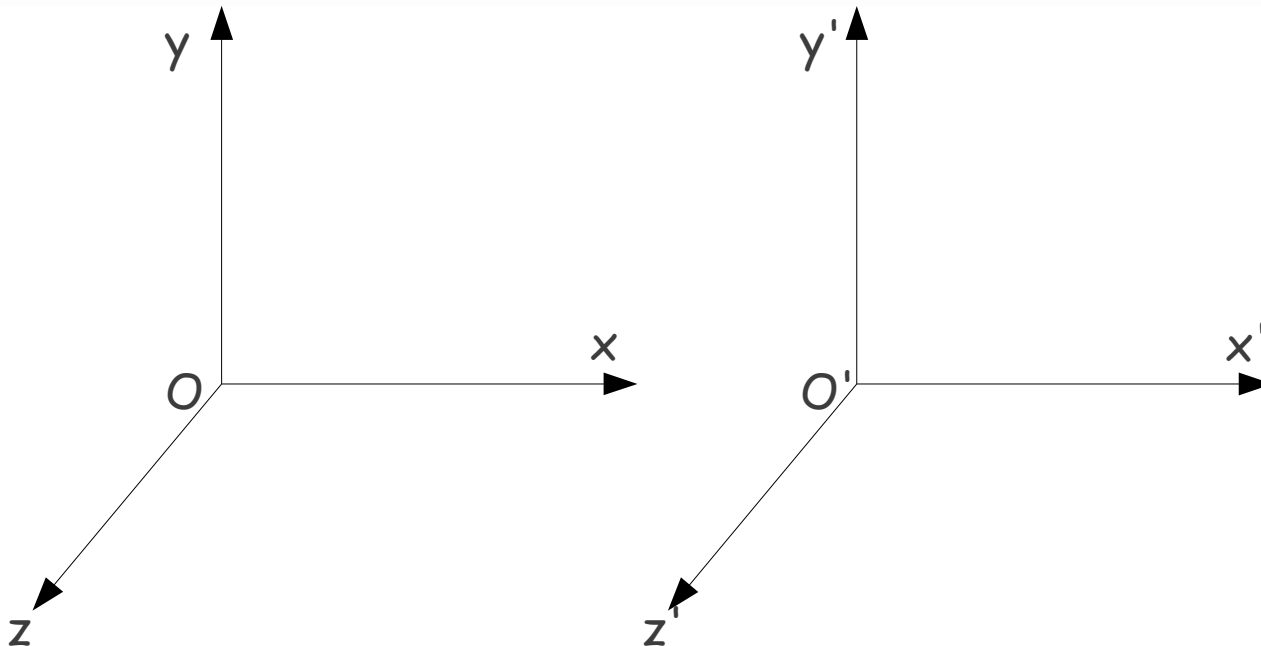
Changement de référentiel galiléen



# La relativité restreinte

## 2. La relativité avant Einstein, relativité galiléenne.

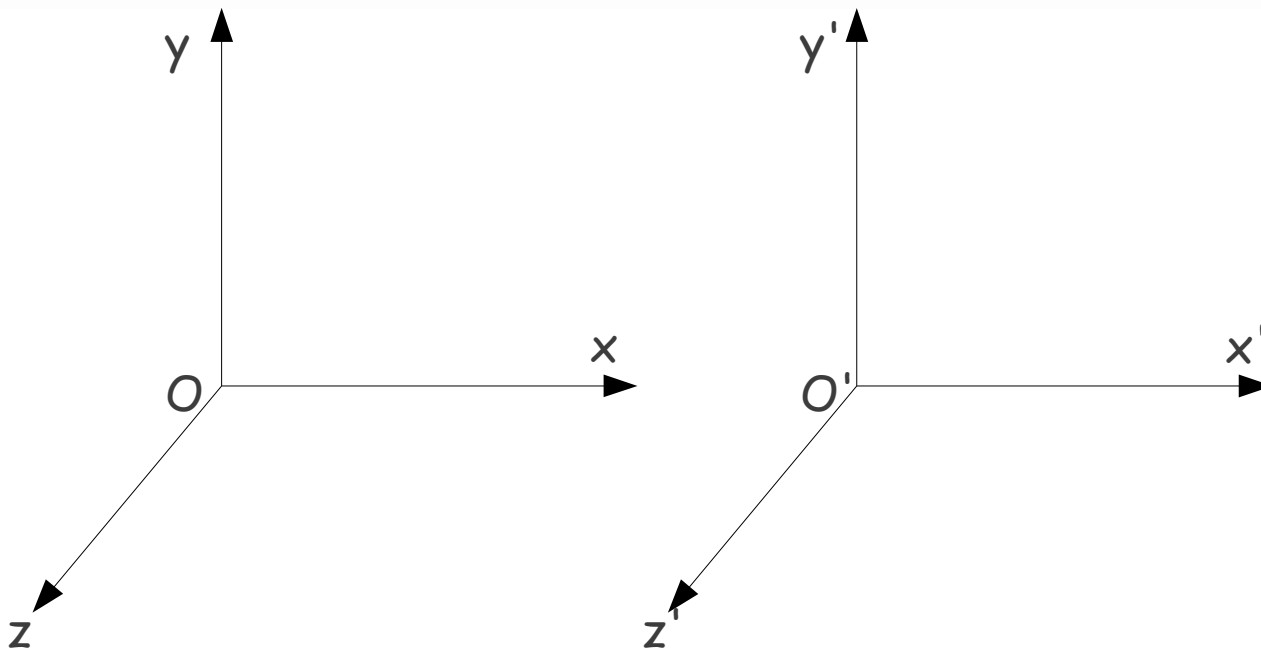
Les référentiels galiléens sont en translation sont en translation rectiligne uniforme les uns par rapport aux autres.



# La relativité restreinte

## 2. La relativité avant Einstein, relativité galiléenne.

Les référentiels galiléens sont en translation sont en translation rectiligne uniforme les uns par rapport aux autres.

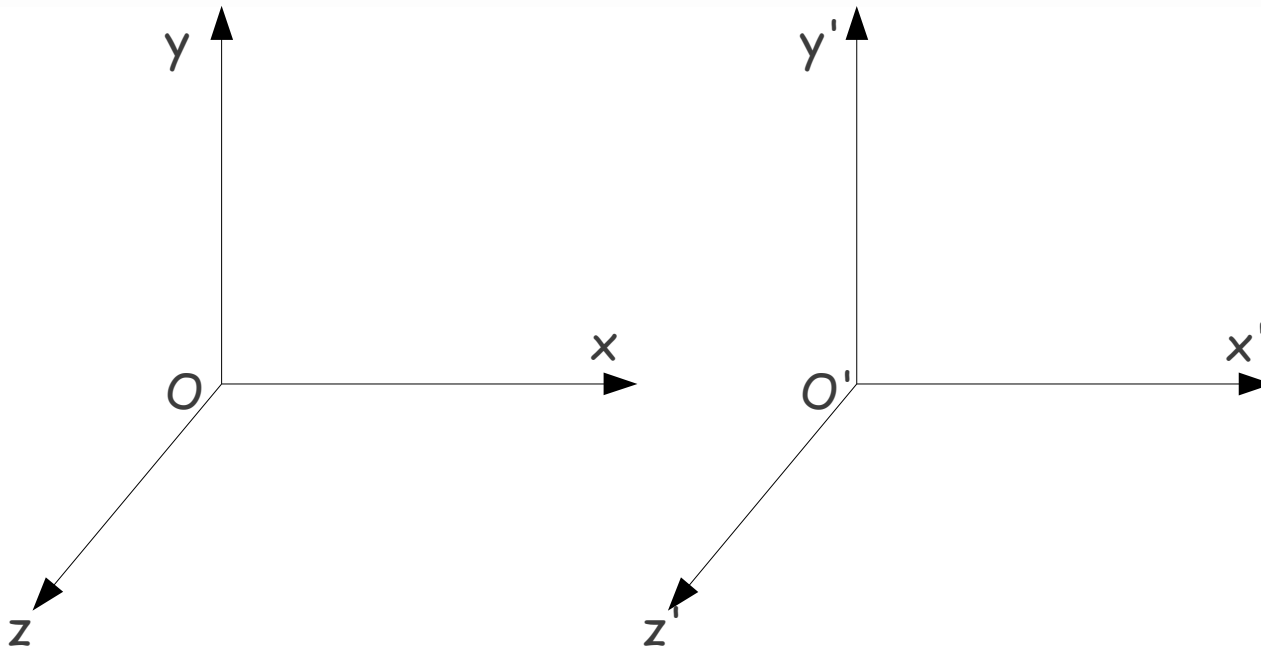


$$\vec{v} = \vec{v}' - \vec{u}$$

# La relativité restreinte

## 2. La relativité avant Einstein, relativité galiléenne.

Les référentiels galiléens sont en translation sont en translation rectiligne uniforme les uns par rapport aux autres.



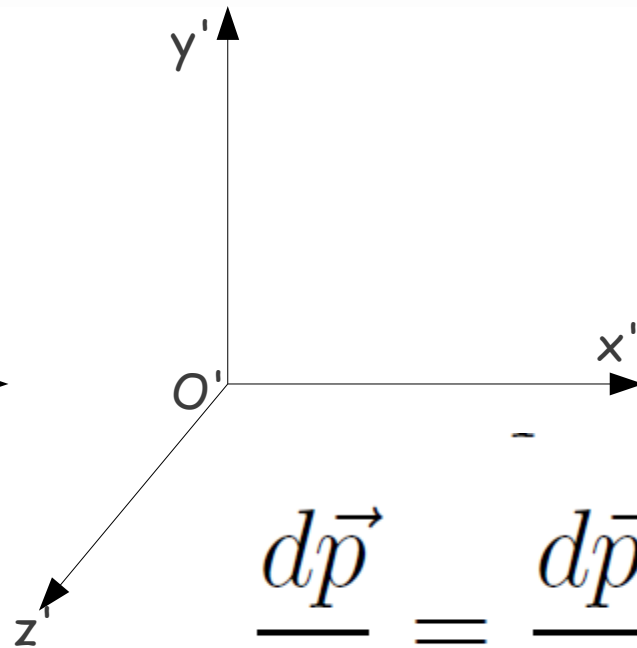
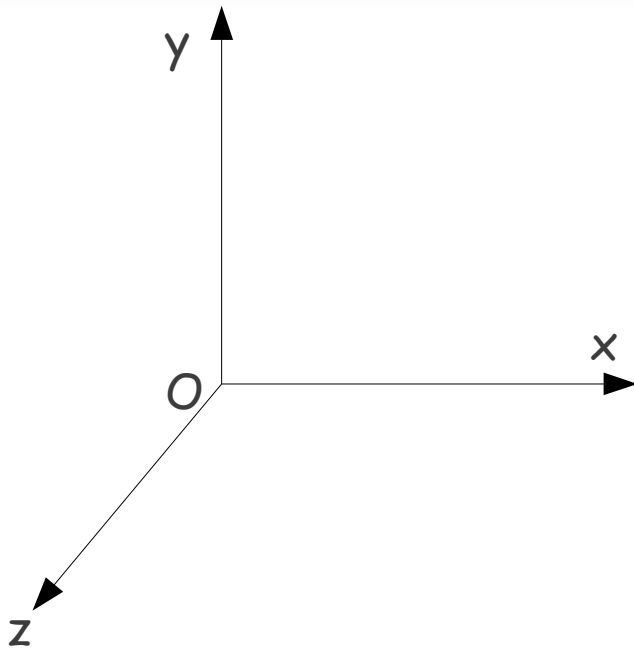
$$\vec{v} = \vec{v}' - \vec{u}$$

$$\vec{p} = \vec{p}' - m.\vec{u}$$

# La relativité restreinte

## 2. La relativité avant Einstein, relativité galiléenne.

Les référentiels galiléens sont en translation sont en translation rectiligne uniforme les uns par rapport aux autres.



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

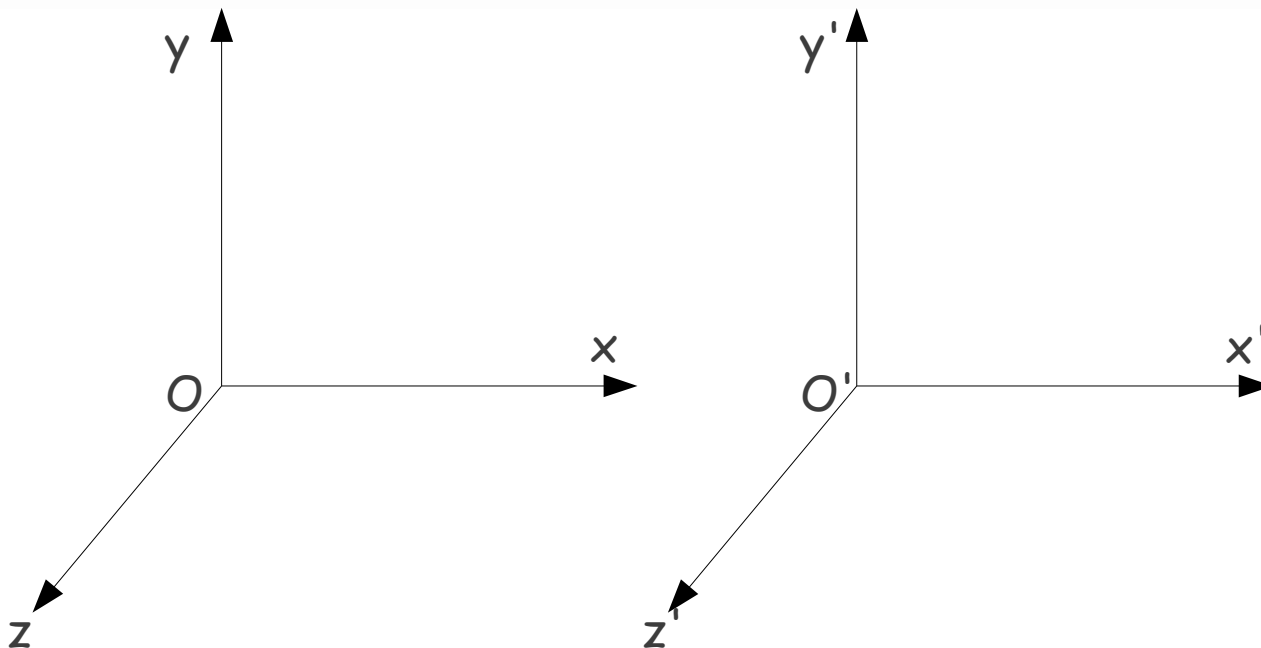
$$\vec{p} = \vec{p}' - m \cdot \vec{u}$$

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d\vec{p}'}{dt} - m \cdot \frac{d\vec{u}}{dt} = \frac{d\vec{p}'}{dt}$$

# La relativité restreinte

## 2. La relativité avant Einstein, relativité galiléenne.

Les référentiels galiléens sont en translation sont en translation rectiligne uniforme les uns par rapport aux autres.



$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{f}$$

$$\frac{d\vec{p}'}{dt} = \vec{f}$$

# La relativité restreinte

## 2. La relativité avant Einstein, relativité galiléenne.

Principe de relativité galiléenne:

Les lois de la mécanique classique ont même formulation dans tous les référentiels galiléens.

(La mécanique est covariante par changement de référentiel galiléen)

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{f} \qquad \frac{d\vec{p}'}{dt} = \vec{f}$$



# La relativité restreinte

## 2. La relativité avant Einstein, relativité galiléenne.

Conséquence du Principe de relativité galiléenne:

Il est impossible de mettre en évidence le mouvement de translation rectiligne uniforme de R' par rapport à R à l'aide d'une expérience de mécanique.

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{f} \qquad \frac{d\vec{p}'}{dt} = \vec{f}$$

# La relativité restreinte

## 2. La relativité avant Einstein, relativité galiléenne.

Conséquence du Principe de relativité galiléenne:

Il est impossible de mettre en évidence le mouvement de translation rectiligne uniforme de  $R'$  par rapport à  $R$  à l'aide d'une expérience de mécanique.

Expérience de la chute d'une balle dans un train en translation rectiligne uniforme par rapport au sol.

# La relativité restreinte

## 2. La relativité avant Einstein, relativité galiléenne.

Conséquence du Principe de relativité galiléenne:

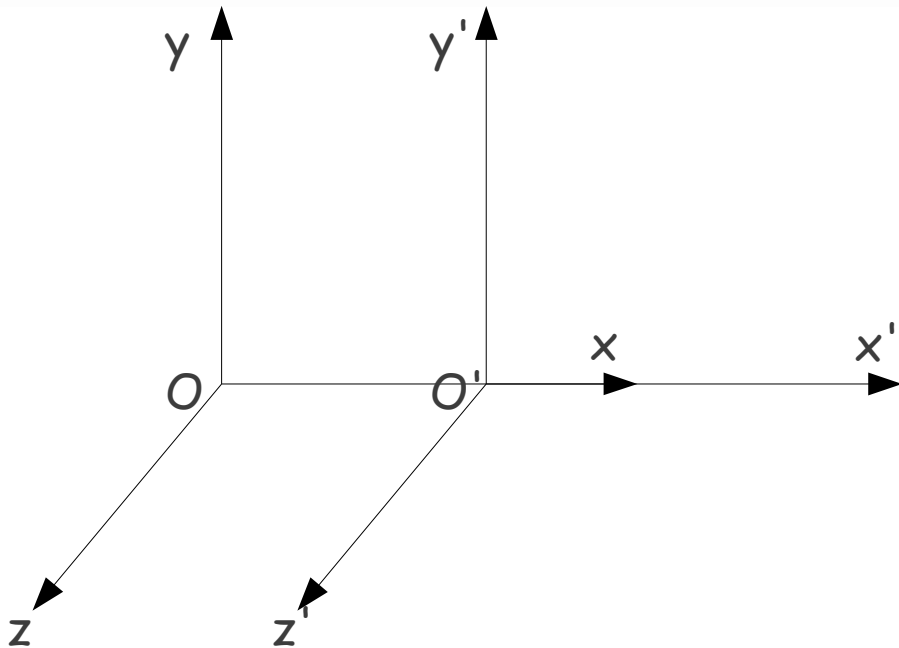
Il est impossible de mettre en évidence le mouvement de translation rectiligne uniforme de  $R'$  par rapport à  $R$  à l'aide d'une expérience de mécanique.

D'où son nom: le mouvement de translation rectiligne uniforme n'a de valeur que par rapport à un référentiel précis.

# La relativité restreinte

## 2. La relativité avant Einstein, relativité galiléenne.

Changement de référentiel galiléen, transformation de Galilée



$$t' = t$$

$$x' = x - u.t$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$v'_x = v_x - u$$

$$v'_y = v_y$$

$$v'_z = v_z$$

# La relativité restreinte

## 3. La relativité restreinte d'Einstein, 1905.

Des équations de Maxwell (1864), les physiciens déduisent que la lumière se propage à la vitesse de la lumière

# La relativité restreinte

## 3. La relativité restreinte d'Einstein, 1905.

Des équations de Maxwell (1864), les physiciens déduisent que la lumière se propage à la vitesse de la lumière

Einstein généralise le principe de relativité de Galilée:

Toutes les lois de la physique ont même formulation dans tous les référentiels galiléens

(Toutes les lois de la physique sont covariantes lors des changements de référentiels galiléens)

# La relativité restreinte

## 3. La relativité restreinte d'Einstein, 1905.

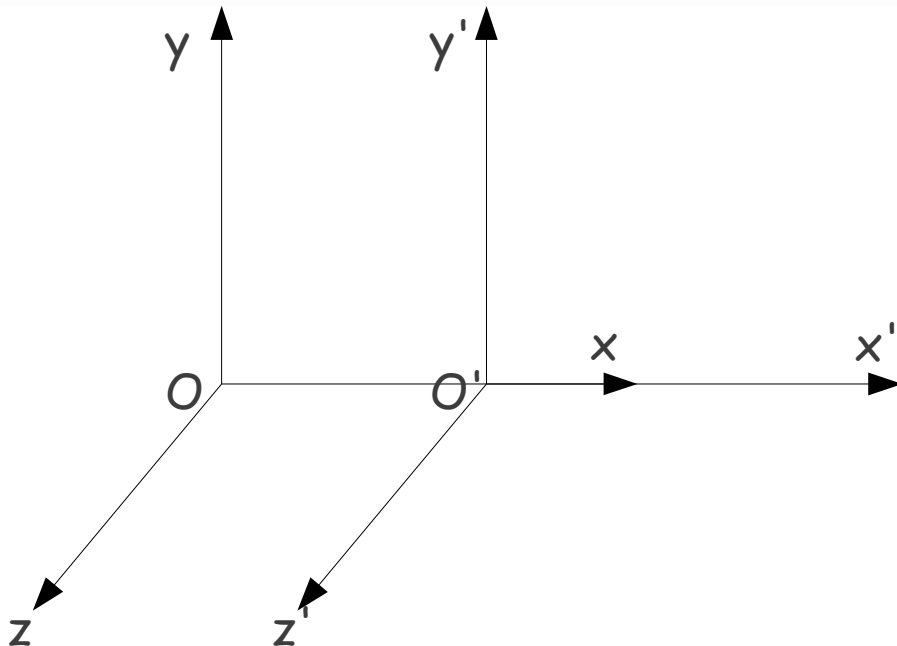
Toutes les lois de la physique ont même formulation dans tous les référentiels galiléens

Conséquence: la vitesse de la lumière est  $c$  dans tous les référentiels galiléens.

# La relativité restreinte

## 3. La relativité restreinte d'Einstein, 1905.

Conséquence: la vitesse de la lumière est  $c$  dans tous les référentiels galiléens.



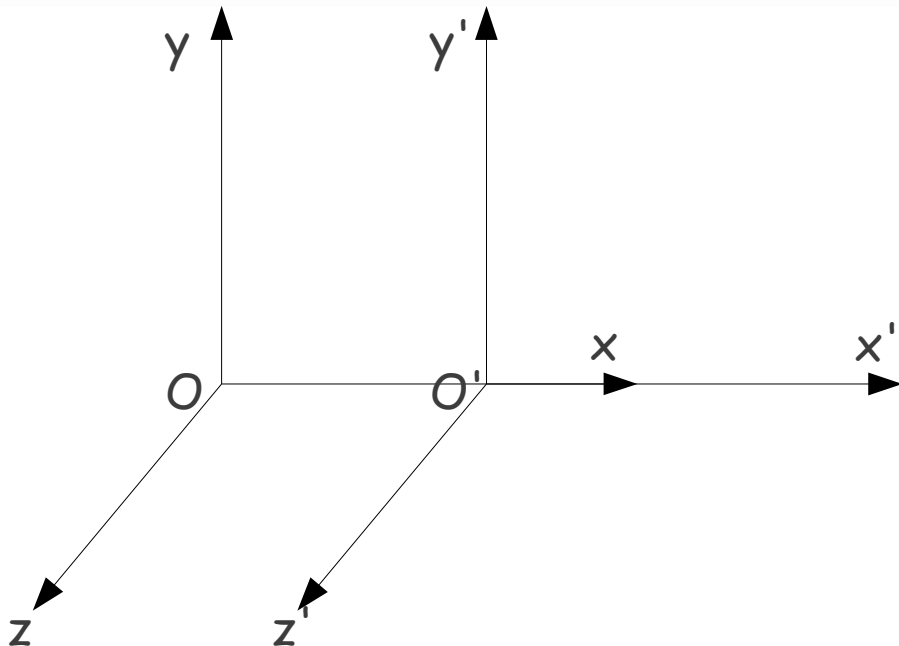
Vitesse de la lumière:  
 $c$  dans  $R$   
 $c$  dans  $R'$



# La relativité restreinte

## 3. La relativité restreinte d'Einstein, 1905.

Conséquence: la vitesse de la lumière est  $c$  dans tous les référentiels galiléens.



Vitesse de la lumière:  
 $c$  dans  $R$   
 $c$  dans  $R'$

Et non pas  $c' = c - u$

# La relativité restreinte

## 3. La relativité restreinte d'Einstein, 1905.

La transformation de Galilée n'est plus vraie.

# La relativité restreinte

## 3. La relativité restreinte d'Einstein, 1905.

Conséquences de cette proposition sont si surprenantes que certains ne pouvaient s'y résoudre:

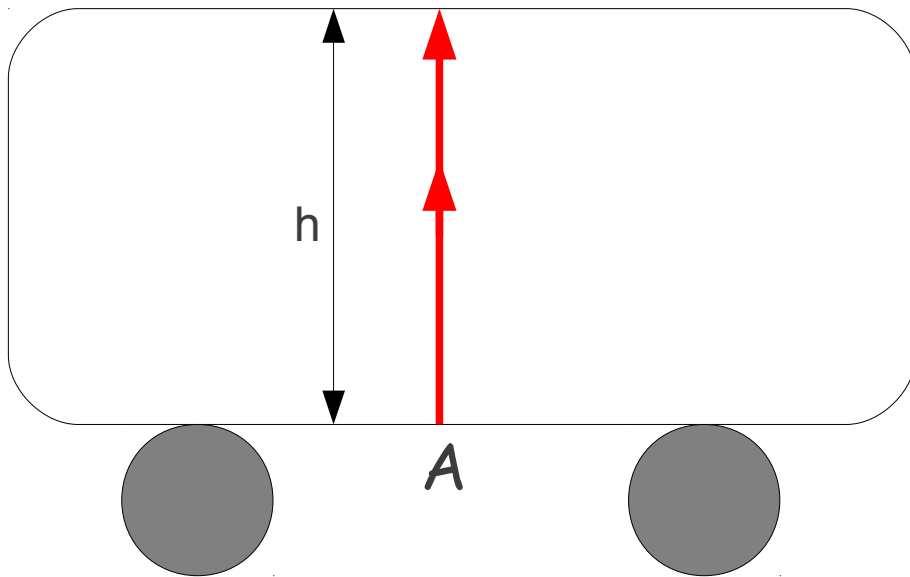
Expérience de Michelson et Morley (1881 à 1929) qui voulait mettre en évidence le mouvement de la terre sur son orbite

# La relativité restreinte

## 3. La transformation de Lorentz en relativité restreinte

Etude d'une "horloge" lumineuse dans un train en translation rectiligne uniforme.

Vue du train B

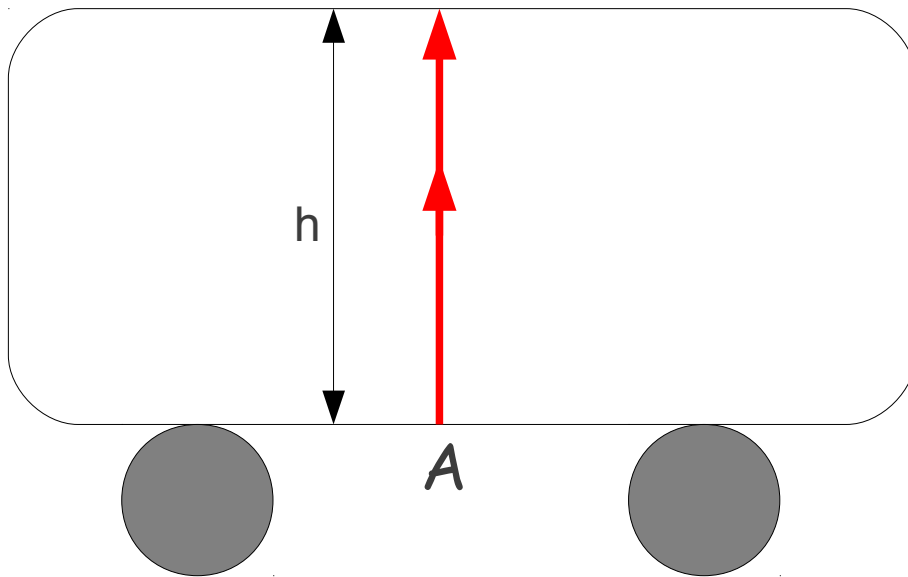


# La relativité restreinte

## 3. La transformation de Lorentz en relativité restreinte

Etude d'une "horloge" lumineuse dans un train en translation rectiligne uniforme.

Vue du train B



$$t_A = 0$$

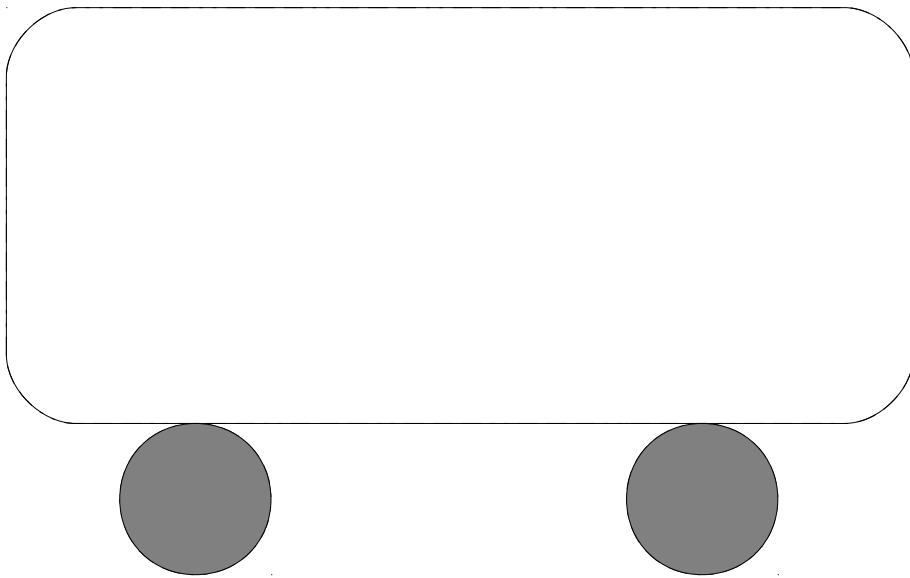
$$t_B = \frac{h}{c}$$

# La relativité restreinte

## 3. La transformation de Lorentz en relativité restreinte

Etude d'une "horloge" lumineuse dans un train en translation rectiligne uniforme.

Vue du quai

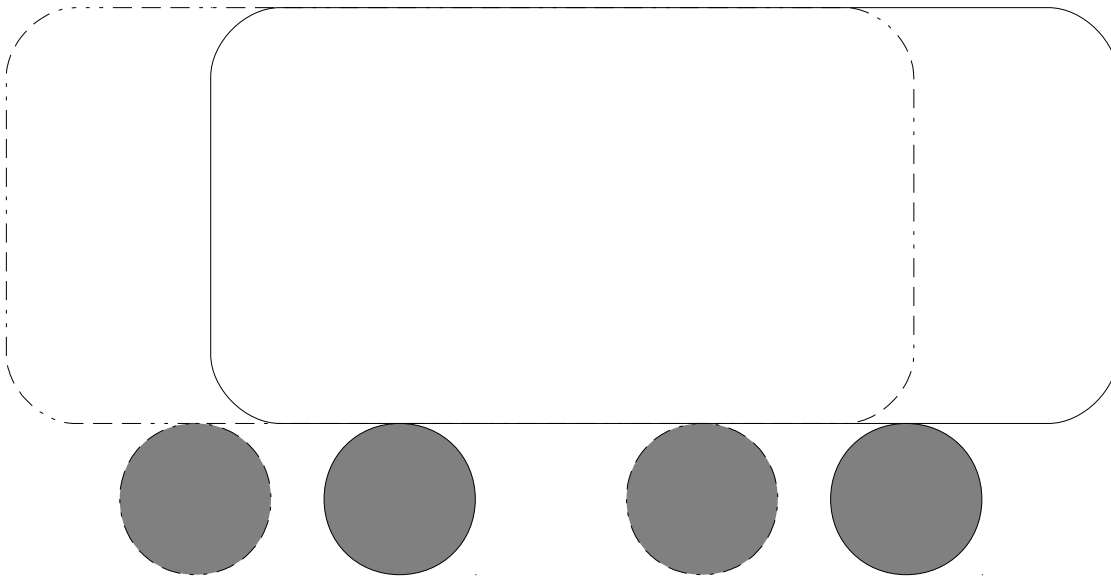


# La relativité restreinte

## 3. La transformation de Lorentz en relativité restreinte

Etude d'une "horloge" lumineuse dans un train en translation rectiligne uniforme.

Vue du quai

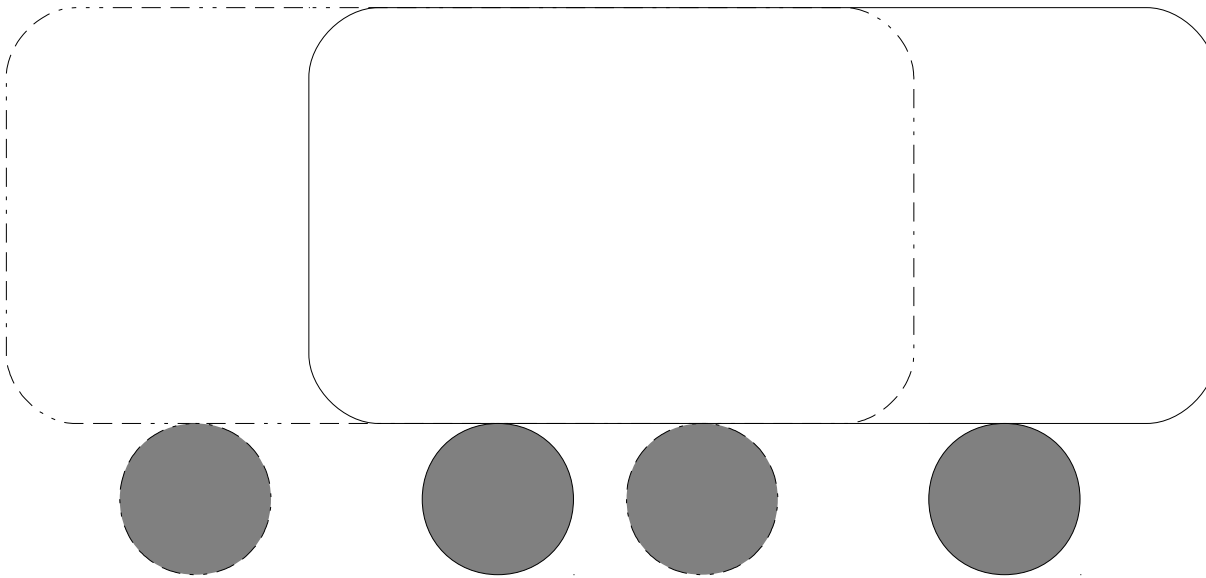


# La relativité restreinte

## 3. La transformation de Lorentz en relativité restreinte

Etude d'une "horloge" lumineuse dans un train en translation rectiligne uniforme.

Vue du quai



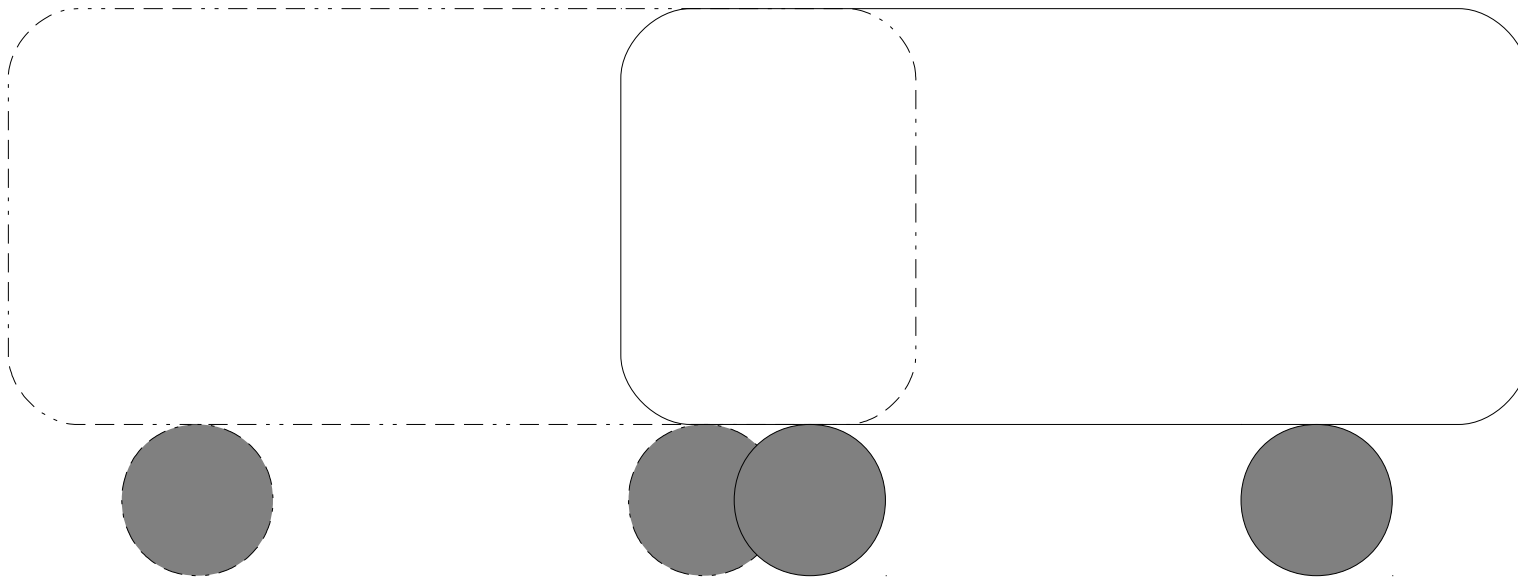


# La relativité restreinte

## 3. La transformation de Lorentz en relativité restreinte

Etude d'une "horloge" lumineuse dans un train en translation rectiligne uniforme.

Vue du quai

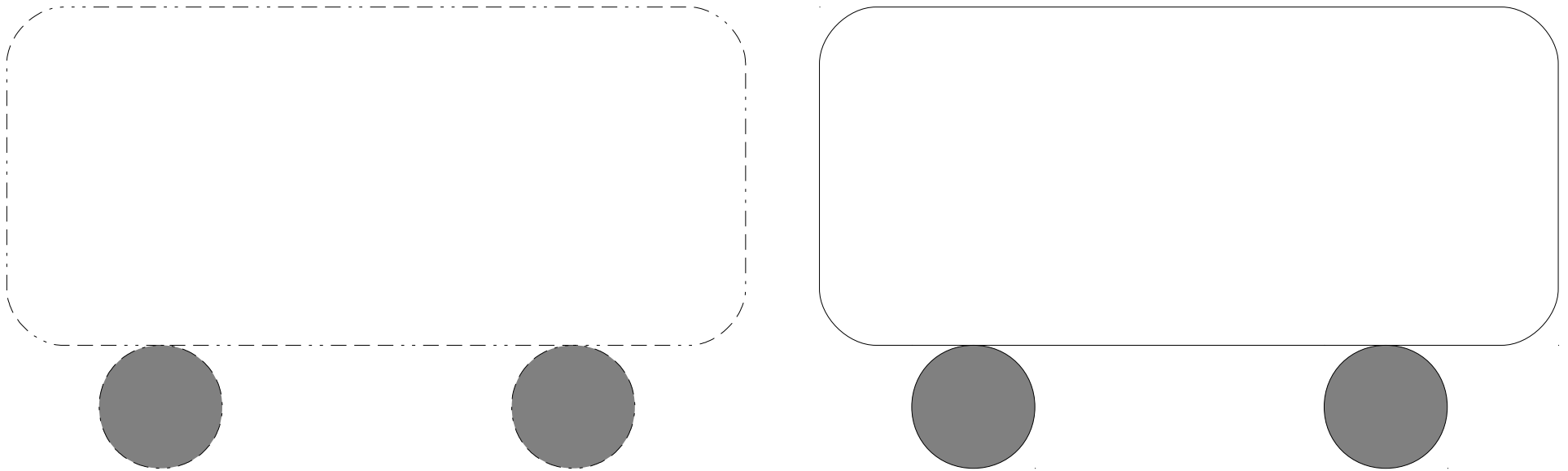


# La relativité restreinte

## 3. La transformation de Lorentz en relativité restreinte

Etude d'une "horloge" lumineuse dans un train en translation rectiligne uniforme.

Vue du quai

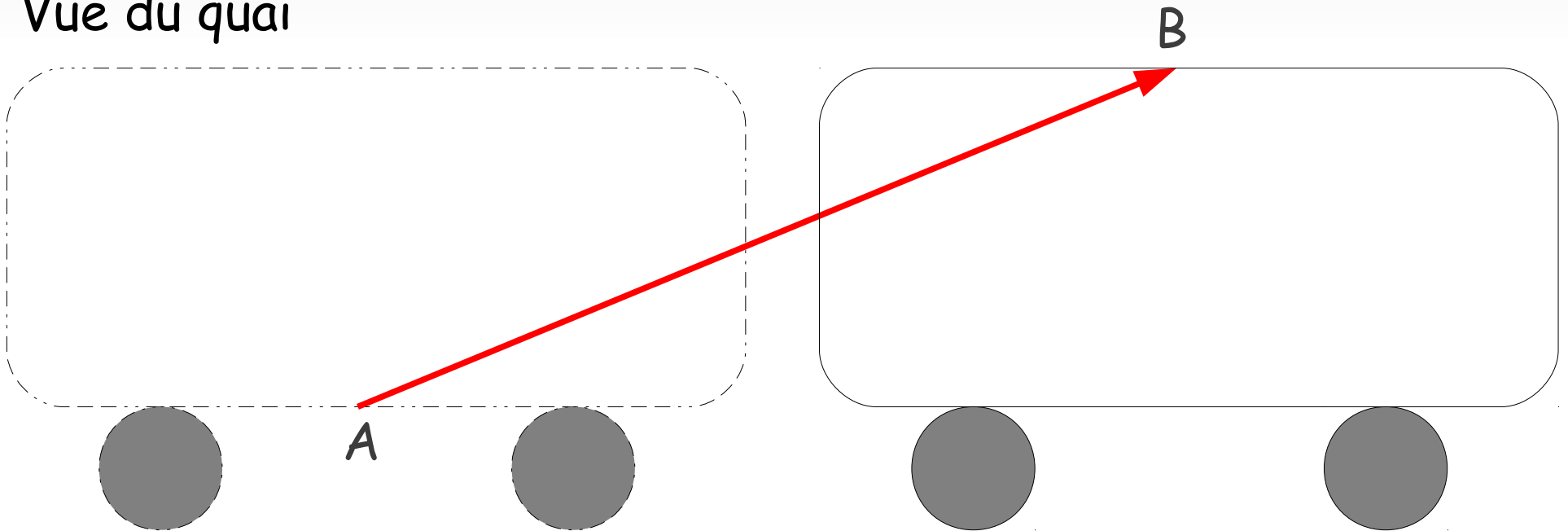


# La relativité restreinte

## 3. La transformation de Lorentz en relativité restreinte

Etude d'une "horloge" lumineuse dans un train en translation rectiligne uniforme.

Vue du quai

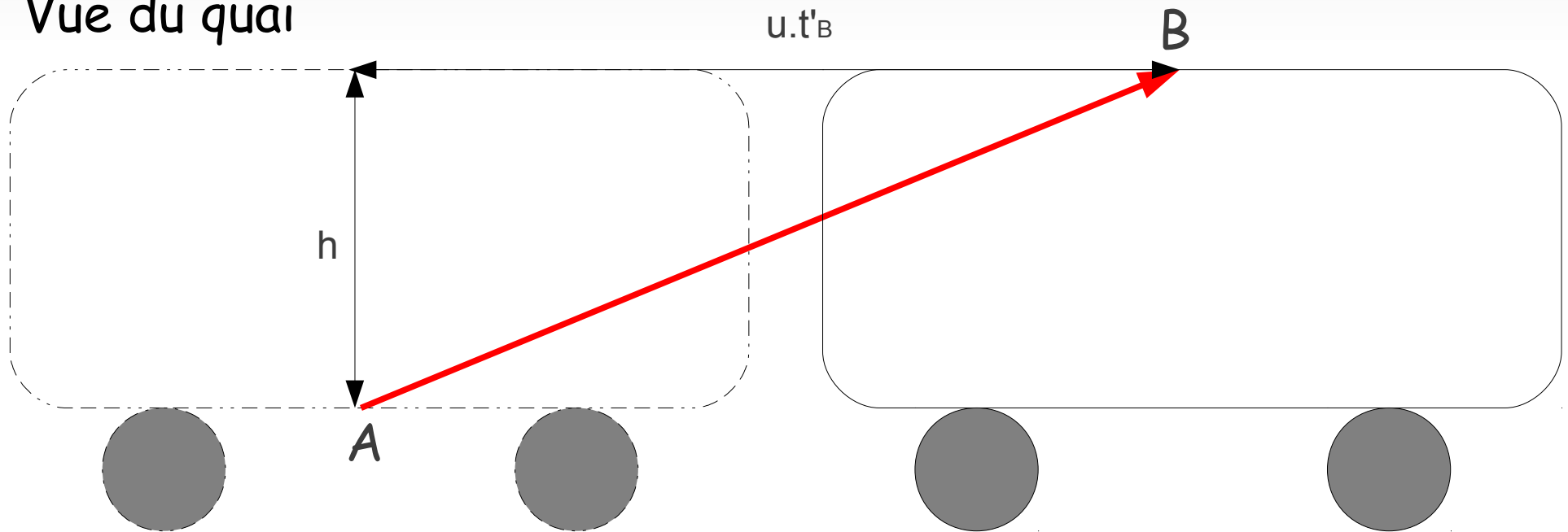


# La relativité restreinte

## 3. La transformation de Lorentz en relativité restreinte

Etude d'une "horloge" lumineuse dans un train en translation rectiligne uniforme.

Vue du quai

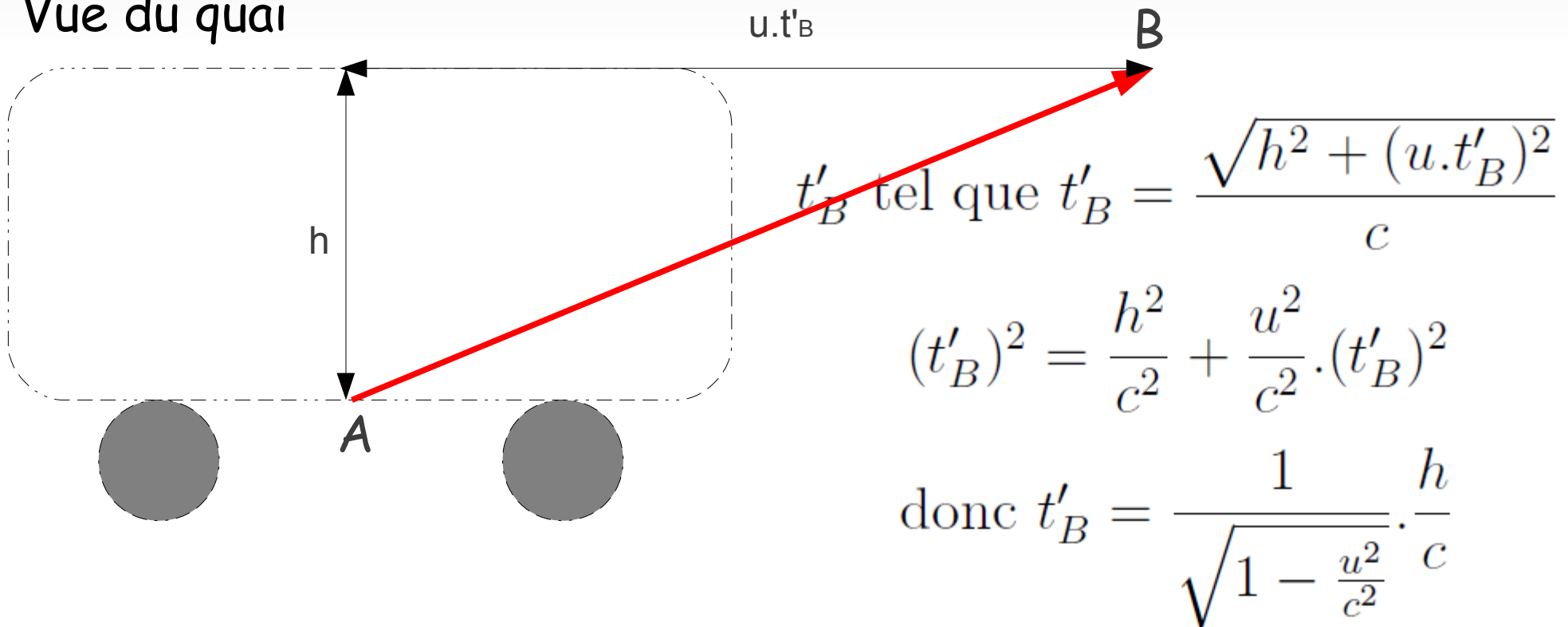


# La relativité restreinte

## 3. La transformation de Lorentz en relativité restreinte

Etude d'une "horloge" lumineuse dans un train en translation rectiligne uniforme.

Vue du quai

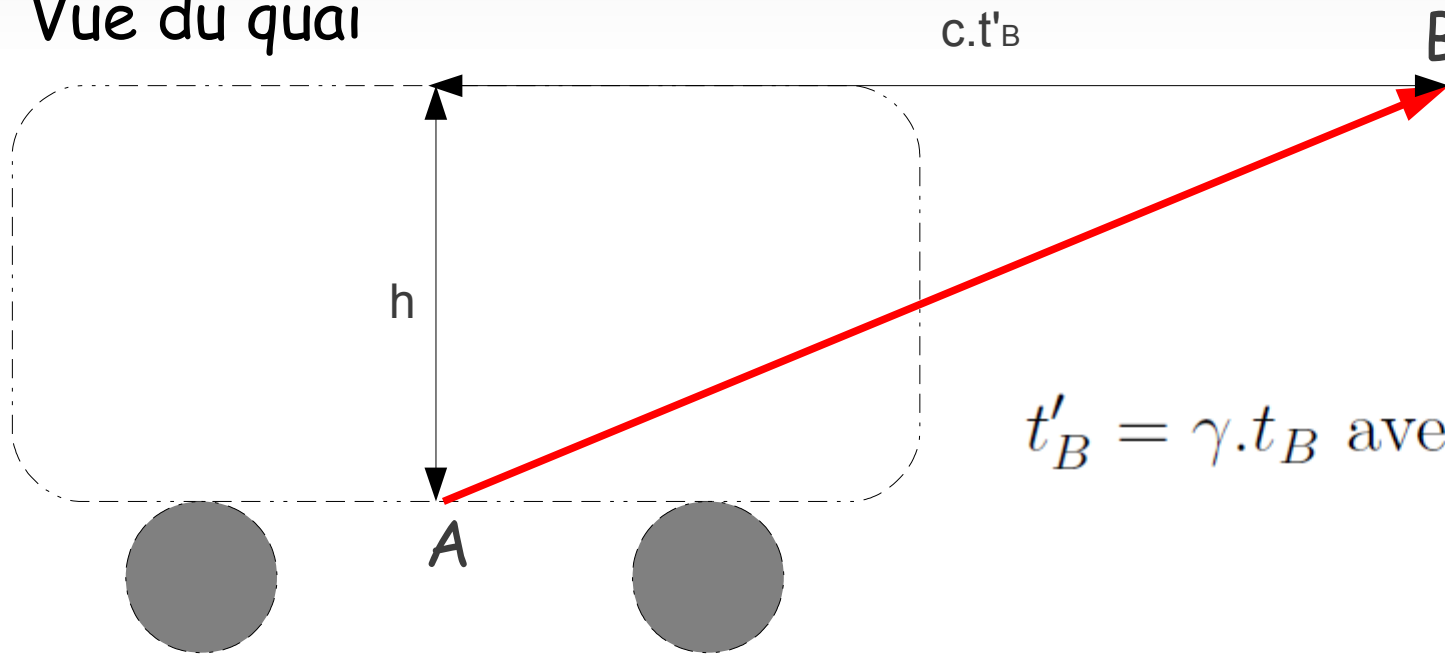


# La relativité restreinte

## 3. La transformation de Lorentz en relativité restreinte

Etude d'une "horloge" lumineuse dans un train en translation rectiligne uniforme.

Vue du quai



$$t'_B = \gamma \cdot t_B \text{ avec } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$$

# La relativité restreinte

## 3. La transformation de Lorentz en relativité restreinte

Etude d'une "horloge" lumineuse (aller-retour) dans un train en translation rectiligne uniforme.

$$t'_B = \gamma \cdot t_B \text{ avec } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$$

Le temps pour l'observateur sur le quai semble s'écouler plus lentement que le temps pour l'observateur dans le train.

Le temps pour l'observateur sur le quai est dilaté d'un facteur relativiste  $\gamma$