

La Relativité Restreinte

Jérôme Pouiller

Marco Tessari

07 Juillet 2003

Table des matières

1 Dilem du debut du XXIème

1.1 Galilée : le principe de la relativité (1603)

- La Terre tourne autour du soleil !
- Tentative d'expliquer un mouvement dans l'espace
- Multitudes de repères spaciaux
- Pour l'observateur le résultat est le même

1.2 Newton instaure la physique classique (années 1700)

- Le temps est universel
- Les vitesses s'additionnent : $x = x' + v * t$

1.3 Maxwell prône l'éther (autour de 1850)

- lumière = onde => milieu de propagation = éther
- mouvement absolu
- impossible d'en prouver l'existence

1.4 Expérience de Michelson et Morley (1887)

- But : prouver existence de l'éther
- Hypothèse : la terre traverse l'éther à 30km/s : on a un vent d'éther
- Mesures : deux faisceaux traversent le vent d'éther dans deux directions
- Attentes : décalage entre les faisceaux
- Résultat : Aucun décalage
- Conclusion : L'éther n'existe pas.

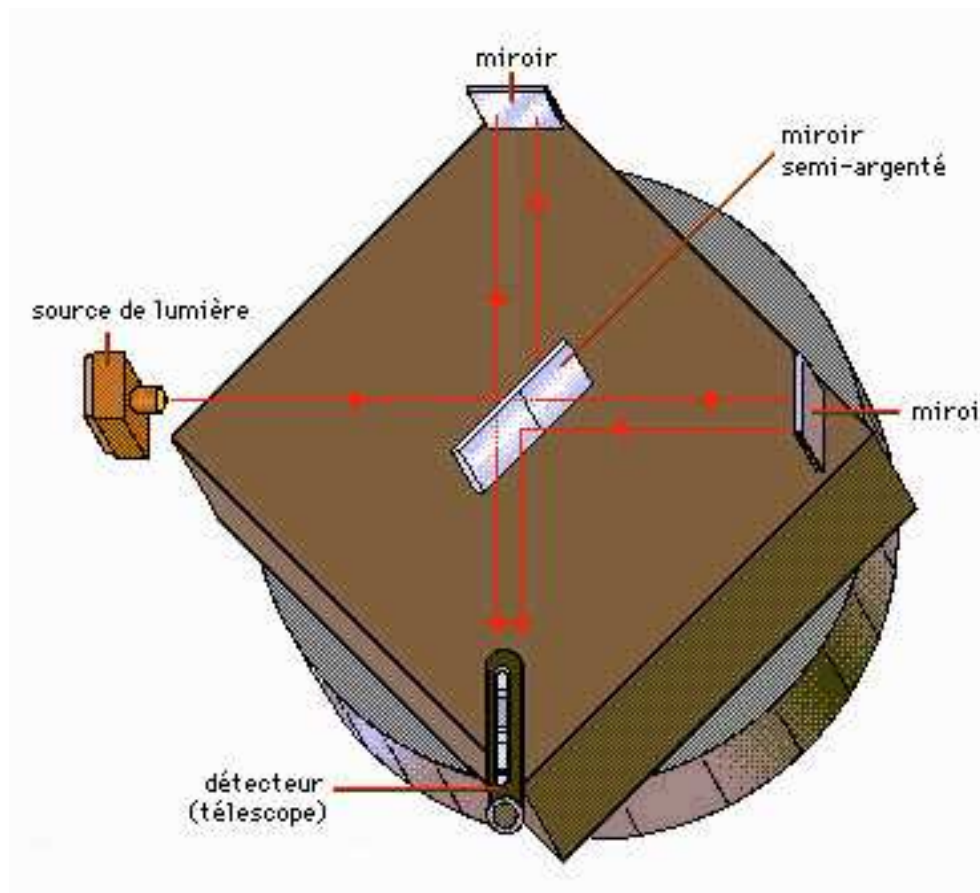


FIG. 1 – Schéma de l'expérience Michelson et Morley

1.5 Les transformations de Lorentz (1904)

- Les corps en mouvements se rétrécissent
- Transformations de Lorentz
- Garde l'idée d'un référentiel absolu
- Pointcaré démontre que les transformations de Lorentz groupe

1.6 L'espace-temps Minkowski (1900)

- Notion d'espace-temps
- Modèle mathématique 4D

1.7 Relativité d'Enstein (1905)

1.7.1 Postulats

- Equivalence des référentiels galiléens pour la formulation des lois physiques
- Invariance de la vitesse dans le vide par rapport à tout référentiel galiléen et indépendant du mouvement de la source

1.7.2 Principe

- Remise en cause du caractère absolu de la simultanéité
- Remise en cause du caractère absolu du temps et de l'espace spaciales
- Invariance de Lorentz postulée pour toute la mécanique classique, et non seulement pour la théorie électromagnétique
- Espace-temps de Minkowski

2 Explication de la relativité

2.1 La transformée de Lorentz

Permet d'exprimer les longueurs et le temps d'un repère d'un observateur en mouvement.

On cherche :

$$x' = a_{11}x + a_{12}y + a_{13}z + a_{14}t$$

$$y' = a_{21}x + a_{22}y + a_{23}z + a_{24}t$$

$$z' = a_{31}x + a_{32}y + a_{33}z + a_{34}t$$

$$t' = a_{41}x + a_{42}y + a_{43}z + a_{44}t$$

On simplifie trivialement :

$$x' = a_{11}x + a_{14}t = a_{11}(x - v_e t)$$

$$y' = a_{22}y$$

$$z' = a_{33}z$$

$$t' = a_{41}x + a_{44}t$$

On crée une sphère lumineuse. On considère deux observateurs S et S' qui se déplacent l'un par rapport à l'autre. A $t = t' = 0$, $x = x'$, $y = y'$, $z = z'$.

On remarque que $x' = a_{11}(x - vt)$.

A tout instant les deux observateurs sont au centre de la sphère lumineuse.

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 - t'^2 c^2 = x^2 + y^2 + z^2 - t^2 c^2$$

Par identification avec l'équation (??), on obtient un système d'équations :

$$x : \quad 1 = a_{11}^2 + a_{41}^2$$

$$y : \quad 1 = a_{22}$$

$$z : \quad 1 = a_{33}$$

$$t : \quad -c^2 = a_{11}^2 v^2 + a_{44}^2 c^2$$

$$xt : \quad 0 = -2a_{11}^2 v - 2a_{41} a_{44}$$

Une fois résolue :

$$a_{11} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$a_{22} = 1$$

$$a_{33} = 1$$

$$a_{44} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$a_{44} = -\frac{v}{c^2} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

D'où :

$$x' = \frac{x - tv}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

On peut ensuite étendre cette transformation aux vitesses.

3 Conséquences de la relativité

3.1 Application à l'énergie cinétique

- Imaginons deux sphères lancées l'une contre l'autre et un observateur qui se déplace.
- On remarque que l'on ne peut pas appliquer la relativité si les vitesses sont constantes.
- On tente de trouver m en fonction de v
- On obtient $E = m(v) \frac{v^2}{2} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} v$.
- La masse diminue avec la vitesse.
- Si fait un développement limité, on obtient :
$$E = mc^2 + \frac{mv^2}{2} + \frac{3mv^4}{8c^2} + \dots$$

4 Plus loin...

La relativité restreinte ne s'appuie que sur des mouvements (sans accélération). Quelques années plus tard, Einstein énonça la généralisation de la relativité à tous les mouvements : **La relativité générale**.

5 Questions ?

6 Glossaire

Postulat : Principe admis comme vrai sans qu'il soit nécessaire de le démontrer

Référentiel : Système de coordonnées auquel sont référés les événements d'un problème physique. Avant Einstein les référentiels étaient composés uniquement de trois coordonnées spatiales, Einstein a ajouté une coordonnée temporelle.

Espace-temps : entité mathématique remplaçant, dans la théorie de la relativité d'Einstein, la conception classique de l'espace et d'un temps absolu.

Mouvement : variation de la position d'un point, d'un système, étudié dans un référentiel donné, en fonction du temps.

7 Liens

A. *Einstein*, La théorie de la relativité restreinte et générale
Ed. Dunod, 1999

La relativité expliquée simplement par Einstein.

<http://www.alberteinstein.info/>

Tous les manuscrits d'Einstein digitalisés. Une référence malheureusement peu exploitable à notre niveau.

<http://elbereth.obspm.fr/~charnoz/grav7.html>

Bon site de vulgarisation et d'histoire de la relativité d'Einstein

<http://histoirechimie.free.fr/Lien/LORENTZ.htm>

Bonne biographie de Lorentz

Mathieu Lefort et Bruno Navert, http://pages.infinit.fr/mycroft/relativite/equations/transformation_lorentz/
Les démonstration de certaines formules expliquées simplement