

Quelques éléments d'histoire des sciences : relativité



Thomas Boyer-Kassem
(Archives H. Poincaré, UMR 7117 : CNRS & Université de Lorraine)
thomas.boyer@univ-lorraine.fr

Cours de Préparation à l'Agrégation de Physique, ÉNS de Cachan, 2014-2015

- **Références générales :**

- Locqueneux, R. (2009), *Une histoire des idées en physique*. (53.1 LOC)
- Jullien, V. (2009), *L'Histoire des Sciences pour les Nuls* (5(091) JUL)
- Longair, M. S. (2003), *Theoretical Concepts in Physics*. (53.2 LON)

- **Références spécifiques :**

- (collectif) (2005) *Einstein aujourd'hui*, chap. 1 : « 1905 : un nouvel élan », O. Darrigol. (53.2 EIN)
- Darrigol, O. (2004) « Faut-il réviser l'histoire de la relativité ? » www.academie-sciences.fr/membres/in_memoriam/Generalites/Darrigol%20_amp.pdf
- Janssen, M. et Stachel, J. (2004) *The Optics and Electrodynamics of Moving Bodies*. www.mpiwg-berlin.mpg.de/Preprints/P265.PDF

Frise chronologique — Relativité

- 1720's — Aberration des étoiles (Bradley)
- 1818 — Coefficient de Fresnel : un entraînement partiel de l'éther
- 1850 — La lumière est ondulatoire, pas corpusculaire (expérience de Foucault)
- 1851 — Mise en évidence du coeff. de Fresnel (expérience de Fizeau)
- 1865 — Équations de Maxwell
- 1887 — Expérience de Michelson et Morley : l'éther est entraîné
La lumière est une onde électro-magnétique (Hertz)
- 1890's — Théorie EM de Lorentz (temps local, contraction des longueurs)
- 1900 — Poincaré : réinterprétation de la théorie de Lorentz
- 1904 — Groupe des transformations de Lorentz
- 1905 — Einstein : relativité restreinte

Légende : optique électro-magnétisme

- Lumière : ondes (1850) à vitesse finie, dans un éther.
- **Coefficient de Fresnel** :
 - un solide accord expérimental (Fizeau 1851, M & M 1886).
 - interprétation : entraînement partiel de l'éther.
- Expérience de **Michelson et Morley** (1887) : le mouvement par rapport à l'éther n'est pas détecté !
Une apparente contradiction avec le coeff de Fresnel.
- Théorie ÉM de **Lorentz** (1890's) :
éther immobile (indétectable), « temps local », contraction des longueurs. Transformation « de Lorentz ».
Explique Fresnel et M & M.
- **Poincaré** (1900) : retire l'éther, invariance des équations.
- **Einstein** (1905) : réinterprétation des concepts d'espace et de temps. Postulats d'une nouvelle théorie.

La question du mouvement de l'éther

- Les ondes se propagent dans l'éther. Si de la matière est en mouvement par rapport à lui, comment l'éther se comporte-t-il ?
 - éther toujours immobile ?
 - éther totalement entraîné ?
 - partiellement ?
- Aberration des étoiles (Bradley, 1720's).
Explication : angle v/c .
- En théorie ondulatoire, cela suppose un éther immobile entre l'étoile et la Terre.

Le coefficient de Fresnel (1818)

- Et l'aberration avec de la lumière qui se réfracte (Arago) ?
- **Coefficient « de Fresnel »** (1818) : $1 - 1/n^2$.

Dans un corps d'indice n à la vitesse v , il faut ajouter une composante

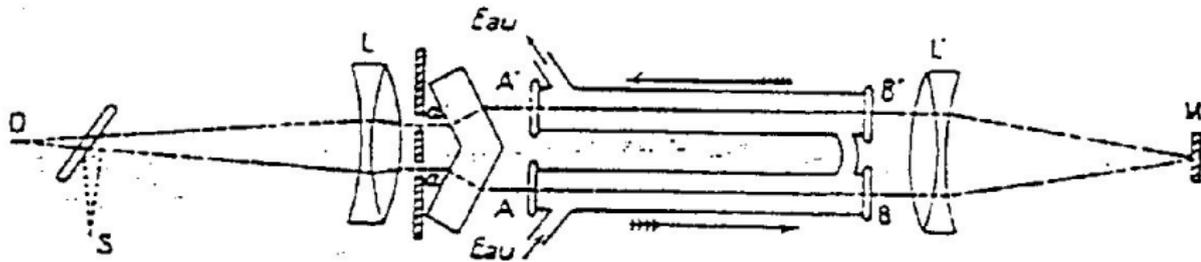
$$v\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$$

à la vitesse absolue de la lumière.

- Interprétation : entraînement partiel de l'éther.

L'expérience de Fizeau (1851)

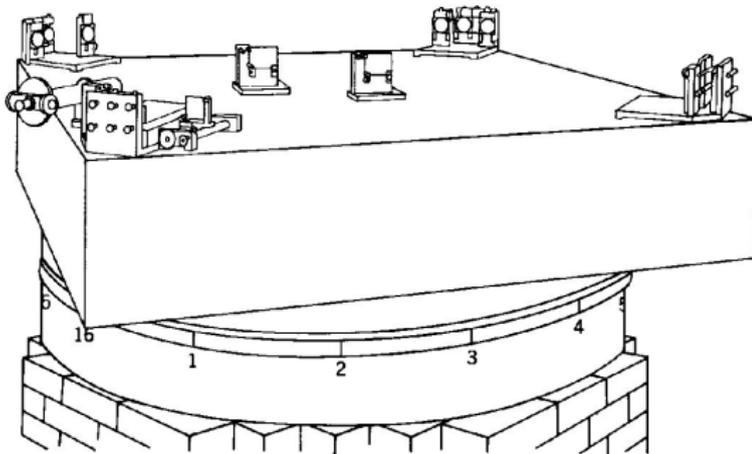
- Quelle acceptation pour ce coefficient de Fresnel ?
- L'expérience de Fizeau (1851) : une mise en évidence directe.



- Succès indéniable du facteur de Fresnel :
les lois de la réfraction sont ainsi les mêmes pour un observateur en mouvement.
- Mais son interprétation est sujette à caution.
- Bilan de l'optique des corps en mouvement :
éther immobile, et coefficient de Fresnel.

L'expérience de Michelson et Morley (1887)

- Maxwell suggère un effet en v^2/c^2 dans une expérience avec un aller-retour de la lumière.
- Michelson reprend l'idée, seul puis avec Morley.



- Avec l'hypothèse d'un éther immobile, ils attendent une variation de 0,4. Sensibilité de 0,01 mais ne voient rien !
- Interprétation : pas de mouvement relatif entre la terre et l'éther. L'éther n'est pas immobile, il est entraîné par les corps.
- En contradiction avec l'interprétation du facteur de Fresnel !

L'électromagnétisme, 1880's.

- La théorie de Maxwell : une description macroscopique.
- Hertz (1887) : ondes électromagnétiques. Nature ÉM de la lumière.
- L'ÉM doit rendre compte des phénomènes optiques !
- L'ÉM s'accomode plutôt bien d'un éther immobile. Mais comment intégrer un éther entraîné ?
- Le défi pour l'ÉM : expliquer à la fois le facteur de Fresnel, et l'expérience de Michelson et Morley.
- Théorie de Lorentz (1886) : un éther partiellement entraîné.

La théorie de Lorentz (1890's)

- Une théorie microphysique, avec un éther (toujours) immobile. Champs dans l'éther, et charges dans la matière.
- Avec cela, il explique les résultats de l'optique :
 - l'aberration des étoiles,
 - le coefficient de Fresnel,
 - l'expérience de Michelson et Morley.
- Nécessité d'admettre :
 - un "**temps local**" $t' = t - ux'/c^2$
 - une **contraction** des corps dans le sens du vent d'éther (facteur $\sqrt{1 - u^2/c^2}$). Cf FitzGerald.

- Théorème des états correspondants.
- Méthode : écriture des équations dans le référentiel de l'éther. Puis **changement de référentiel**. Paramètre : u/c .
- Montrera plus tard : groupe des transformations de Lorentz (1904).
- La masse, la période, la force ... doivent dépendre de la vitesse.
- Un accueil plutôt favorable.
- Autres théories : Cohn, Abraham.

- Poincaré, critique de Lorentz, pour l'améliorer.
- (1900) Nouvelle interprétation physique :
 - l'éther n'est qu'une métaphore, pas un corps matériel.
 - le « temps local » est le temps mesuré.
 - temps et espace mesurés ne sont qu'apparents.
 - l'éther reste le référentiel privilégié.
- Interprétation physique des transformations de Lorentz. Invariance des équations, et des phénomènes.
- Il réaffirme en 1905 la validité du principe de relativité : les lois physiques doivent être invariantes selon les transformations de Lorentz.

Les motivations d'Einstein

- La théorie que va proposer Einstein est équivalente prédictivement à celle de Poincaré.
- Motivation : avoir une seule explication physique pour des observateurs en mouvement relatif.
- Einstein finit par ne plus chercher à mettre en évidence le mouvement par rapport à l'éther.
Il accepte le principe de relativité.
- Déclare la pleine équivalence des différents référentiels.
- Élimination de l'éther.

- Une idée : le temps peut être redéfini pour que la vitesse de la lumière soit la même dans tout référentiel inertiel.
- Deux principes :
 - principe de relativité
 - constance de la vitesse de la lumière dans le vide
- Il retrouve les transformations de Lorentz, et en donne une interprétation physique.
- Accueil : pas immédiat.

Une théorie à principe

« En physique, on peut distinguer des théories de nature différente. La plupart sont des théories constructives : au moyen d'un système de formules relativement simple placé à la base, elles cherchent à construire une image de phénomènes plus complexes. C'est ainsi que la théorie cinétique des gaz cherche à ramener les phénomènes mécaniques, thermiques et de diffusion à des mouvements de molécules, c'est-à-dire à construire en partant de l'hypothèse du mouvement moléculaire. [...]

Mais à côté de cette classe importante de théories, il y en a une deuxième, que j'appellerai les théories à principes, qui, au lieu de la méthode synthétique emploie la méthode analytique. Ici, le point de départ et la base ne sont pas constitués par des éléments de construction hypothétique, mais par des propriétés générales trouvées empiriquement, des phénomènes naturels, principes d'où découlent ensuite des critères mathématiques formulés, auxquelles les phénomènes particuliers ou leurs images théoriques doivent satisfaire. C'est ainsi que la thermodynamique essaie, en partant de ce résultat général d'expérience que le mouvement perpétuel est impossible, de déterminer, par la voie analytique, les relations auxquelles les phénomènes particuliers doivent satisfaire. [...]

La théorie de la relativité appartient à la deuxième catégorie. »

Einstein (1919), *Comment je vois le monde*