

1 - Pourquoi il fallait changer les lois de la physique

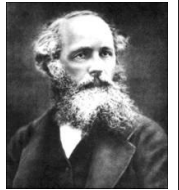
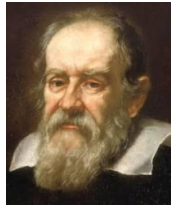
Document 1 : Galiléo Galilei et James Clerk Maxwell

Galilée et Maxwell sont deux physiciens qui, à trois siècles d'intervalle, ont posé les bases de deux branches de la physique : la mécanique dite « classique » pour le premier, l'électromagnétisme pour le second. Nous allons voir comment la confrontation de ces deux théories a conduit les physiciens du XX^{ème} siècle à rénover leurs théories et modèles.

La mécanique de Galilée (1564 – 1642) :

Principe de « relativité galiléenne » :

- La vitesse d'un système ne peut être définie que relativement à un référentiel.
- Il n'existe pas de référentiel « absolu » : les lois de la physique sont les mêmes dans tous les référentiels galiléens.
- Si une expérience de mécanique est conduite et étudiée dans un référentiel galiléen, son résultat ne dépend pas de la vitesse de ce référentiel.
- Ce principe sert de fondement à la mécanique de Newton.



L'électromagnétisme de Maxwell (1831 – 1879) :

- La lumière est une onde électromagnétique.
- La théorie des ondes électromagnétiques de Maxwell permet de prévoir théoriquement sa célérité indépendamment du référentiel d'étude. Cette induit donc que quel que soit le référentiel d'étude et quelle que soit la vitesse de la source : $c = 299\,792\,458\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

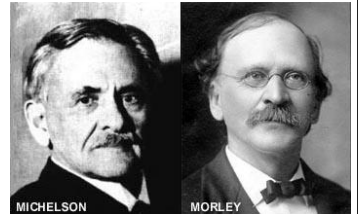
Document 2 : L'éther et l'expérience de Michelson & Morley

L'hypothèse de l'« éther »

Les lois de l'électromagnétisme ne semblent pas valables dans tous les référentiels. Cela suggère qu'il existe un référentiel « absolu », le seul dans lequel les lois de l'électromagnétisme sont valables. Mais cela est en totale contradiction avec le principe de Galilée !

Pour sortir de cette impasse les physiciens avaient trois solutions :

- 1- conserver le principe de Galilée, donc devoir corriger la théorie des ondes électromagnétiques ;
- 2- conserver la théorie des ondes électromagnétiques de Maxwell, donc corriger les lois de la mécanique ;
- 3- conserver les deux théories et admettre que la mécanique satisfait le principe de Galilée mais pas l'électromagnétisme. Les lois de la mécanique sont valides dans tout référentiel galiléen mais pas celles de l'électromagnétisme.



Seulement voilà : le principe de Galilée était à l'origine de la mécanique de Newton, grâce à laquelle tous les mouvements terrestres et astronomiques connus avaient pu être correctement interprétés : il semblait impossible de remettre tout cela en cause. De même la théorie de Maxwell avait permis d'expliquer nombre de phénomènes électriques, magnétiques et lumineux : il était tout aussi impensable de la remettre en question. C'est donc la solution 3 qui a d'abord été choisie.

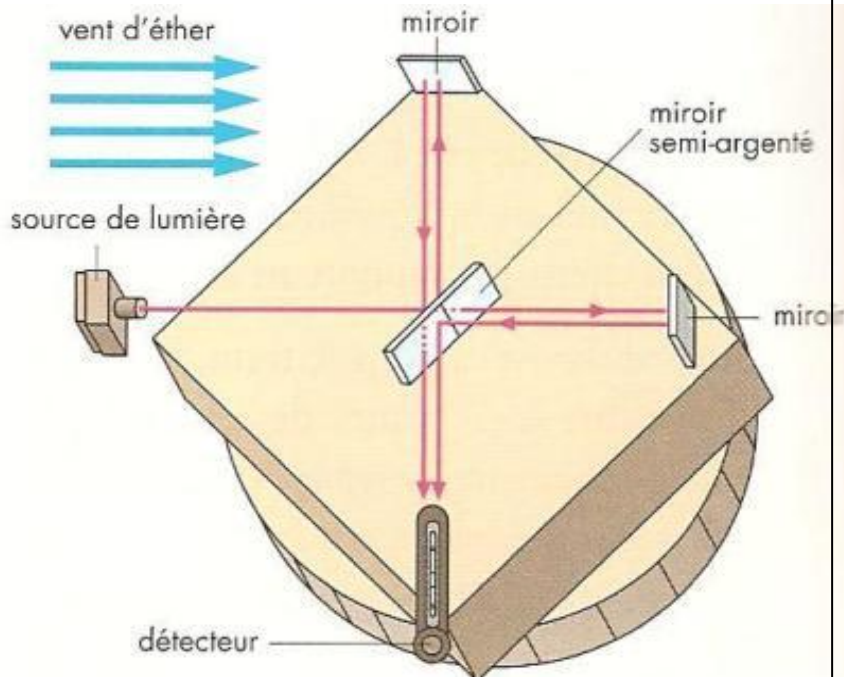
- 1- Les physiciens qui ont fait ce choix ont énoncé 3 hypothèses Il existe un fluide appelé l'« éther », immobile et tellement peu dense que les objets (planètes, etc.) peuvent s'y déplacer sans être freinés.
- 2- L'éther est le référentiel absolu : la théorie des ondes électromagnétiques n'est valable que par rapport à l'éther, donc la célérité de la lumière vaut $c = 299\,792\,458\text{ m/s}$ seulement par rapport à l'éther.
- 3- La célérité de la lumière, dans un référentiel en mouvement par rapport à l'éther, se calcule selon le théorème d'addition des vitesses de Galilée.

L'expérience de Michelson et Morley :

Deux physiciens, Michelson et Morley, ont alors entrepris de mesurer la vitesse de la Terre par rapport à l'éther. Ils ont pour cela conçu le système schématisé ci-dessous, appelé « interféromètre », composé d'une source de lumière, de deux miroirs et d'une lame semi-réfléchissante, posé horizontalement sur le sol terrestre. Ils étaient partisans de l'idée selon laquelle la Terre était en mouvement à la vitesse V dans l'éther, fluide immobile :

Les deux miroirs étaient à égale distance de la lame semi-réfléchissante.

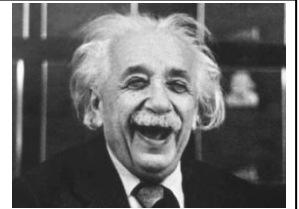
Enfin, l'interféromètre permettait, grâce au phénomène d'interférences lumineuses (que nous n'étudions pas ici), de mesurer l'écart de temps τ entre le parcours 1 et le parcours 2 de la lumière.



Document 3 : la fin de l'hypothèse de l' « éther » et la relativité d'Einstein

L'expérience de Michelson et Morley n'eut pas le résultat attendu par ses auteurs. : l'écart de temps mesuré était toujours rigoureusement nul.

POSTULAT D'EINSTEIN (1870-1952) : Les lois de la physique sont les mêmes dans tout référentiel galiléen. La vitesse de la lumière dans le vide est indépendante du référentiel d'étude et vaut : $c = 299\,792\,458$ m/s par rapport à tout référentiel galiléen.



QUESTIONS

1- Conséquences du principe de relativité galiléenne :

On considère un TGV qui avance à une vitesse $v = 300$ km/h = 83,3 m/s par rapport au sol. Le passager est assis sur un siège.

- Peut-on affirmer que « le passager est immobile » ? Que peut-on affirmer exactement ?
- Le passager, pour se rendre à la voiture bar, marche vers l'avant du train à une vitesse de 5 km/h. Quelle est sa vitesse par rapport au train ? par rapport au sol ?
- Même question, lorsque le passager quitte la voiture bar pour retourner à sa place.

2- Galilée et la vitesse de la lumière :

Le passager précédent, toujours dans le TGV, est à nouveau assis, il regarde dans le sens contraire au sens de la marche du TGV. Il allume une lampe de poche pour éclairer un document placé devant lui.

- Prévision d'après la relativité galiléenne : si on étend le principe de relativité galiléenne à la lumière, à quelle vitesse la lumière émise par la lampe se propage-t-elle par rapport au TGV ? Par rapport au sol ?
- Expliquer pourquoi la réponse précédente n'est pas compatible avec la théorie de l'électromagnétisme de Maxwell.

3- L'hypothèse de l'éther

- Selon l'hypothèse de l'éther, la lumière a-t-elle une célérité de valeur c par rapport à la terre ? Pourquoi ?
- Expliquer pourquoi Michelson et Morley s'attendaient à mesurer un écart de temps entre les 2 parcours possibles de la lumière. Rédiger un court paragraphe mais aucun calcul n'est demandé.

4- Le postulat d'EINSTEIN

- Montrer que le postulat d'Einstein permet d'interpréter le résultat de l'expérience de Michelson et Morley.
- Expliquer pourquoi le concept d' « éther » n'est ainsi plus pertinent selon Einstein.
- Le postulat d'Einstein est aujourd'hui toujours admis : aucune expérience n'est jamais venue le remettre en cause. Ce postulat, à partir de 1905, a conduit les physiciens à corriger certaines théories admises jusqu'alors. Est-ce l'électromagnétisme de Maxwell ou la mécanique de Galilée qu'il a fallu corriger ?

Cette expérience a été conçue par Michelson pour mesurer la vitesse de la lumière dans son support supposé (l'éther) et en se basant sur la loi classique d'addition des vitesses. Il est apparu que la Terre sur son orbite avec une vitesse d'environ 30 km/s par rapport au Soleil était le laboratoire idéal pour détecter une variation de la vitesse de la lumière sur des parcours identiques en longueur mais qui devaient être différents en temps selon qu'ils seraient dans le sens du mouvement ou perpendiculairement au vent d'éther.

