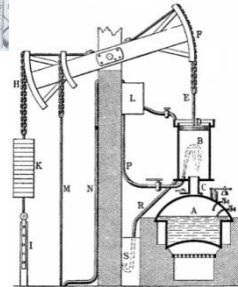
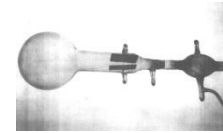
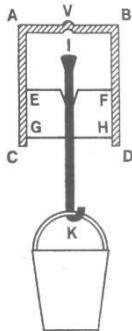


# Le vide

## Une histoire philosophique, expérimentale, instrumentale, théorique



Pierre Marage

Faculté des Sciences, Université Libre de Bruxelles

ULB

<http://homepages.ulb.ac.be/~pmarage> pmarage@ulb.ac.be

P. Marage

Histoire du vide

# I. Le vide philosophique

# L'Ecole d'Athènes



# Parménide (v. 515-450) et les Éléates



P. Marage

***L'Être est,  
le Non-Être n'est pas,  
telle est la voie de la Certitude***

Donc :

l'Être est incréé, impérissable, complet,  
immobile, indivisible, continu, fini et sphérique

C'est la voie de la Vérité, que Parménide  
parcourt tout entière, « *saisi par le frisson  
glacial de l'abstraction* » (Nietzsche)

## Les apories de Zénon (v. 490-425)

Le mouvement, le changement, le monde ne sont **qu'illusions** !

**Zénon** :

implacable logique de Pythagore  
(env. 580-500), le tiers-exclu :

**ou bien** l'espace et le temps sont  
indéfiniment divisibles

la dichotomie, Achille et la tortue :

-> le mouvement n'existe pas

**ou bien** ils ne le sont pas

la flèche :

-> le mouvement n'existe pas non plus .

Donc le mouvement est illusion !

*Zénon ! Cruel Zénon ! Zénon d'Elée !*

*M'as-tu percé de cette flèche ailée*

*Qui vibre, vole et qui ne vole pas !*

Paul Valéry



## Aristote (384-322)



Univers fermé, fini, plein, la Terre immobile au centre

➤ **deux mondes**

- ✓ **sublunaire** : imparfait, soumis au changement, à la corruption – 4 éléments
- ✓ **supralunaire** : parfait, immuable, éternel – quintessence

➤ **deux types de mouvement**

- ✓ **naturels**, selon la nature du corps :
  - m. sublunaire : vers son *lieu naturel* : le haut / le bas
  - m. supralunaire : mvt circulaire, parfait, éternel
- ✓ **forcés**, violents (monde sublunaire) : il y faut une *cause*

**Le vide** n'existe pas. D'ailleurs, dans le vide :

- le mouvement naturel est impossible (pas de haut ni de bas, pas de centre !)
- le mouvement forcé est impossible (pas de résistance => serait infiniment rapide)

Le cosmos est fini (et a donc un centre) – *pas d'extérieur* (le paradoxe stoïcien)

**Physique et cosmologie forment un système global, cohérent !**

# L'alternative atomiste

Les atomes sont incréés, indivisible, éternels, **et** le vide existe

## Pensée héroïque !

Leucippe (v. 470, v. 390)

Démocrite « le rieur » (v. 460, v. 370)

## Pensée suspecte !

Épicure (341-270)

Lucrece (v. 98-55)

*Il n'y a rien à craindre de la mort, ni des dieux...*

## Pensée minoritaire, opprimée, persécutée...



# ***Natura abhorret vacuum***

La pensée d'Aristote (logique, physique, métaphysique, cosmologie) + l'astronomie d'Eudoxe et Ptolémée dominant **sans partage** la pensée occidentale pendant 2 millénaires (-> révolution scientifique du XVIIème siècle)

➤ **Moyen-âge arabo-musulman** – la *falsifia*

NB le paradoxe acharite

➤ **Moyen-âge occidental** - l'université, la scolastique, Thomas d'Aquin

NB le problème de la toute-puissance de Dieu :

condamnation des 219 thèses des « averroïstes latins », Paris 1272

« *Que Dieu ne pourrait mouvoir les cieux d'un mouvement rectiligne. La raison est qu'alors un vide subsisterait* »

Enjeu théologique : la « double vérité »

***L'horreur du vide*** : un ***principe***

le paradoxe du vase percé; le principe des pompes



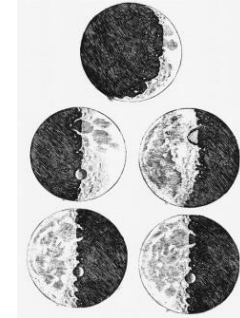
## **II. Le vide expérimental**

# Galilée (1564-1642) et la science moderne

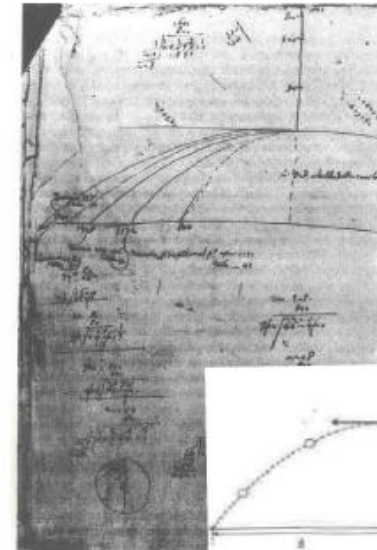
## Le triple combat de Galilée

- contre la **cosmologie** d'Aristote, pour Copernic :

**la lunette** (le « *Dialogue* », 1632) : cratères de la Lune, satellites de Jupiter, phases de Vénus



- contre la **physique** d'Aristote : **la relativité du mouvement**  
principe d'inertie, contre la théorie des lieux;  
la vitesse de chute « dans le vide » ne dépend pas du poids  
(expérience – de pensée – de la tour de Pise)



- pour la **liberté** de la recherche :  
**le procès**



Une science **mathématique** et **expérimentale**,  
**une nouvelle manière de pratiquer la science, et de comprendre le monde**

# Galilée et l'« horreur du vide »

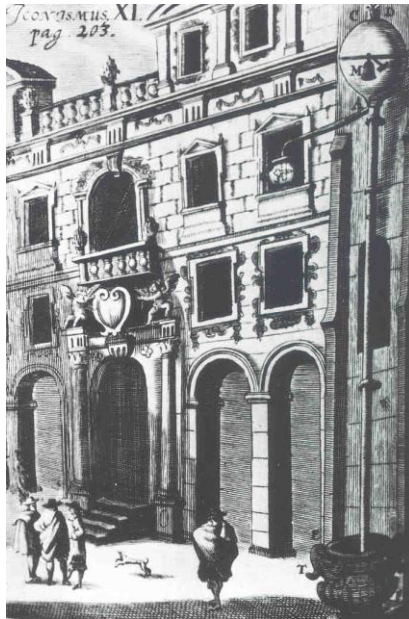
Les « *Discorsi* » (1638)

- l'« horreur du vide » assure la cohésion des matériaux
- mais fontainiers de Florence :

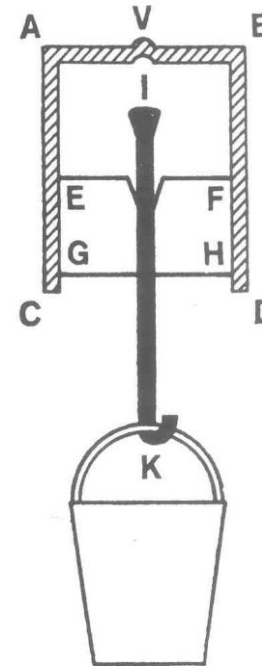
la nature a horreur du vide « **à raison de 18 brasses** »

**Retournement** : le « principe » est devenu **mesurable** !

Expérience du palais Cesi



P. Marage



DISCORSI  
E  
DIMOSTRAZIONI  
MATEMATICHE,  
*intorno à due nuove scienze*  
Attenenti alla  
MECANICA & i MOVIMENTI LOCALI;  
*del Signor*  
GALILEO GALILEI LINCEO.  
Filosofo e Matematico primario del Serenissimo  
Grand Duca di Toscana.  
*Con una Appendix de' centre di gravità à alcuni Soldati.*



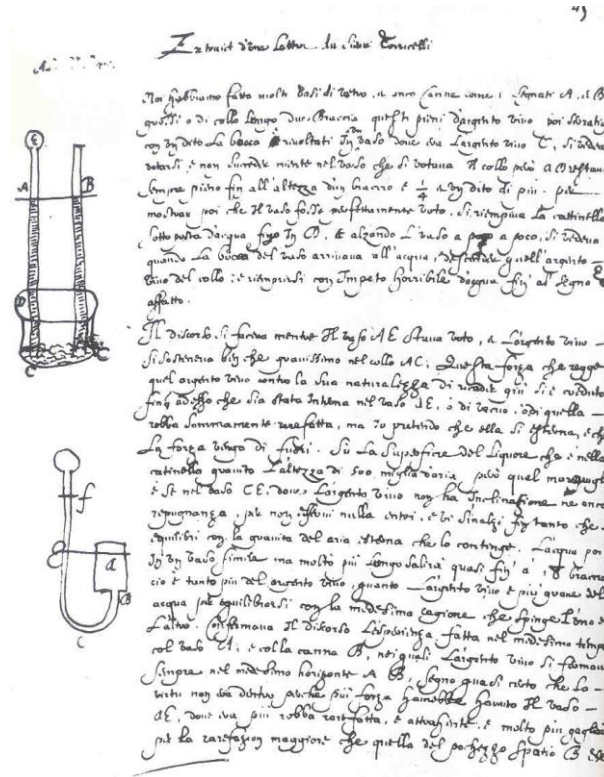
IN LEIDA.  
Appresso gli Elsevirii. M. D. C. xxxviii.  
*Al. G. P. Marage*

# Evangelista Torricelli (1608-1647)



Le tube rempli de **mercure** – aussi Viviani (1622-1703)

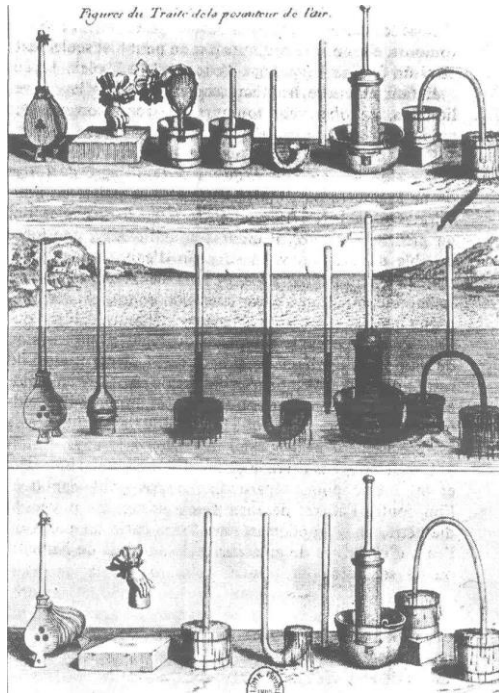
L'hypothèse de la **pression atmosphérique** : « le poids de l'air »



# Blaise Pascal (1623-1662)



1646 - *Traité de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de l'air* (v. 1651)



*La grande expérience de l'équilibre des liqueurs* (1648)



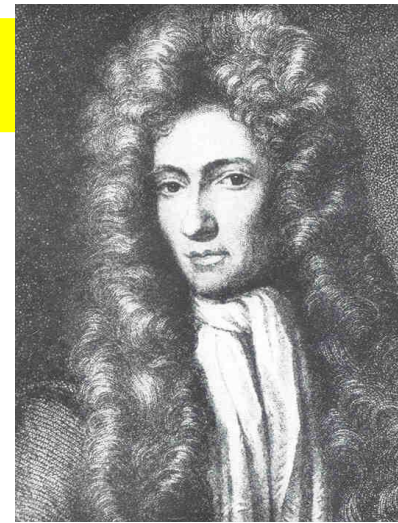
Polémique avec le Père Noël; Descartes



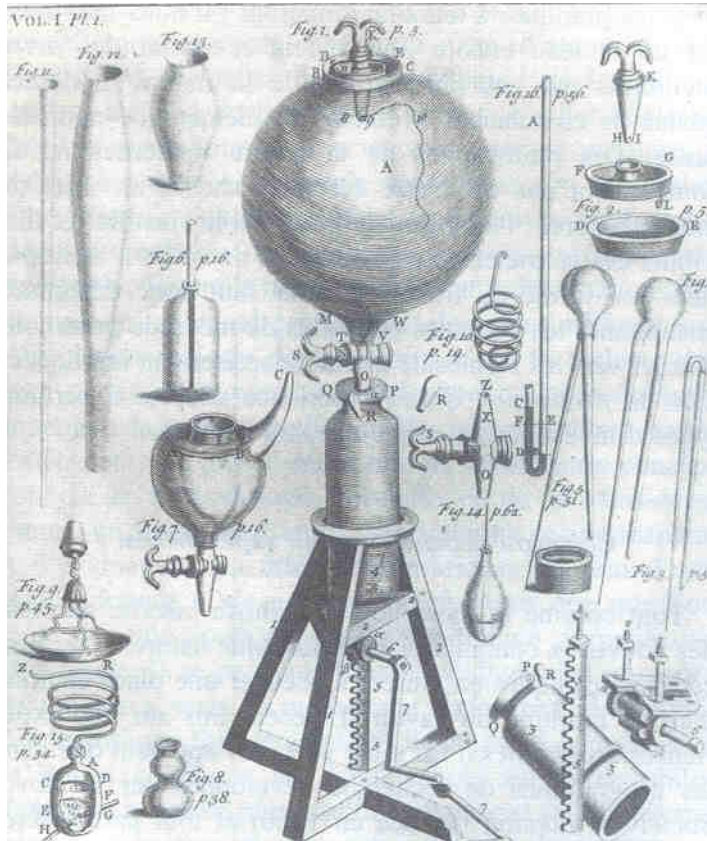
# L'expérience de Magdebourg (1657)



# Robert Boyle (1627-1691)



Les perfectionnements de la pompe  
Christian Huygens (1629-1695), Robert Hooke  
(1735-1703), Robert Boyle



R. Boyle, *New Experiments Physico-Mechanicall, Touching the Spring of the Air and its Effects ...* (1660-1662)

La position « philosophique » de  
Hobbes



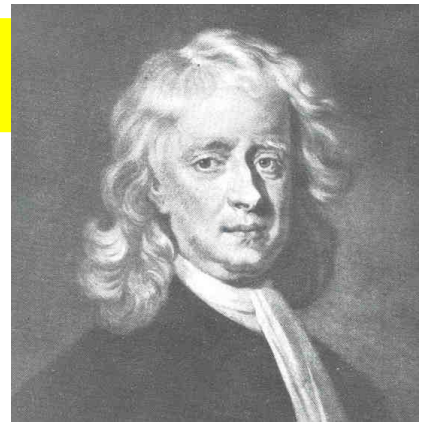
## Les « expérimentalistes »

*« Boyle n'était pas "vacuiste" (...) Il n'était pas non plus "pléniste" (...) Ce qu'il s'efforçait de créer, c'était un discours philosophique de la nature, dans lequel de telles questions n'avaient pas à être posées. La pompe à air ne permettait pas de décider si un vide "métaphysique" existait ou non. Ce n'était pas là un défaut de la pompe; c'était au contraire une de ses forces. »*

*(L'enjeu pour Boyle était de définir) « une nouvelle manière de travailler, de parler, de nouer des relations sociales entre philosophes de la nature. Aux yeux de Boyle et de ses collègues, (...) les divergences étaient sans conséquences, voire même fécondes et nécessaires (à l'intérieur) d'une frontière essentielle construite autour des pratiques de la nouvelle forme de vie expérimentale. Les dissensions impliquant une violation de cette frontière (...) étaient quant à elles jugées fatales. »*

*S. Shapin et S. Schaffer, Léviathan et la pompe à air*

# Isaac Newton (1642-1727)



L'espace vide (et infini, homogène, isotrope), support de la mécanique

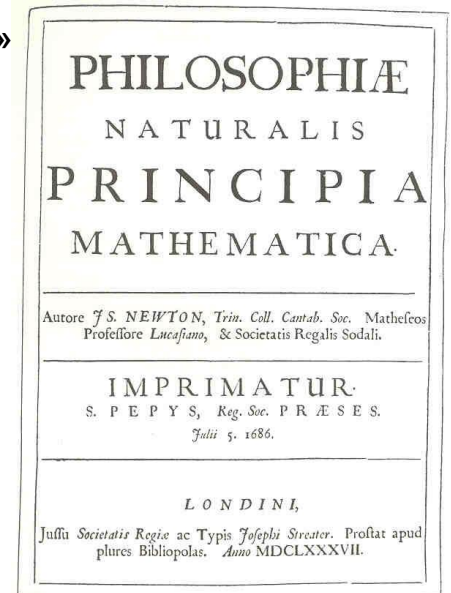
« Les projectiles n'éprouvent ici-bas d'autre résistance que celle de l'air, et dans le vide de M. Boyle la résistance cesse, en sorte qu'une plume et de l'or y tombent avec une égale vitesse. Il en est de même des espaces célestes au-dessus de l'atmosphère de la terre, lesquels sont vides d'air. »

Newton, *Principia* (1687)



« (...) je n'imagine point d'hypothèses ('**Hypothèses non fingo**'). Car tout ce qui ne se déduit point des phénomènes est une hypothèse, et les hypothèses, soit métaphysiques, soit physiques, soit mécaniques, soit celles des qualités occultes, ne doivent pas être reçues dans la philosophie expérimentale. »

Newton, *Principia*, Scolie générale (1713)



# Une nouvelle intelligibilité

*La science venait de conquérir la notion de phénomène (...)*

*En renonçant à connaître l'essence des choses, elle s'allégeait d'un poids considérable.*

*Par le fait même, elle devait formuler à son usage un type d'intelligibilité que les Anciens n'avaient même pas soupçonnée.*

*Jusqu'alors, une vérité était intelligible quand on pouvait y voir un reflet de l'en-soi : idée platonicienne ou essence aristotélicienne, qui nous emmenait hors du monde des apparences. (...)*

*Désormais, la vérité scientifique se définira sur le plan même du phénomène comme l'organisation des apparences par un système de lois, l'en-soi étant ce qu'il voudra.*

*(...) Il s'agit déjà d'une révolution capitale. (...) Pour la science, la cause d'un phénomène se sera plus jamais un en-soi métaphysique qui « l'engendre », selon la vieille métaphore biologique d'Aristote, mais un autre phénomène qui se trouve lié à lui par un rapport constant. (...)*

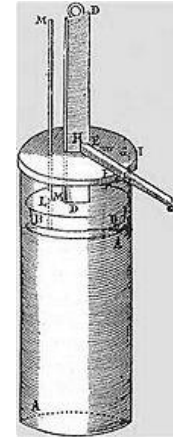
R.P. Lenoble, in : *Histoire de la Science* (La Pléiade)

# **III. Le vide instrumental**

# Les machines à feu, héritières des recherches sur le vide

L'élasticité de l'air :

v. 1680 : Christian Huygens et Denis Papin (1647-1713) :  
refroidissement de gaz brûlés -> rappel d'un piston, poussé par  
la pression atmosphérique



La machine à vapeur

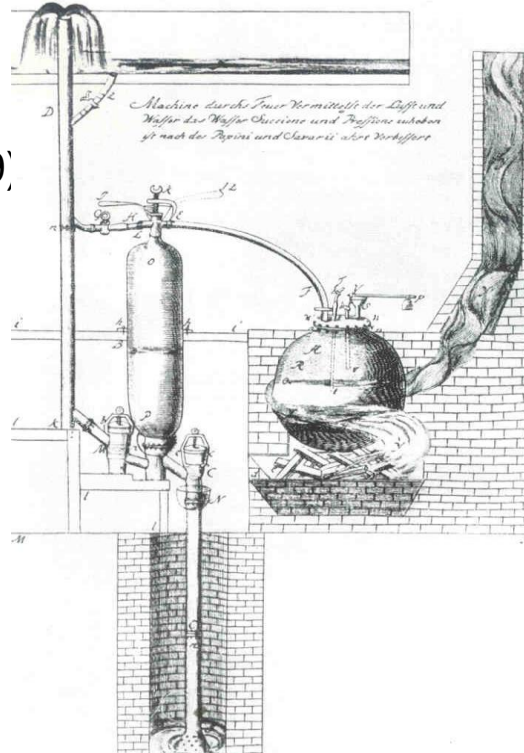
Thomas Savery (1650-1715)

Thomas Newcomen (1664-1729)

...

James Watt (1736-1819)

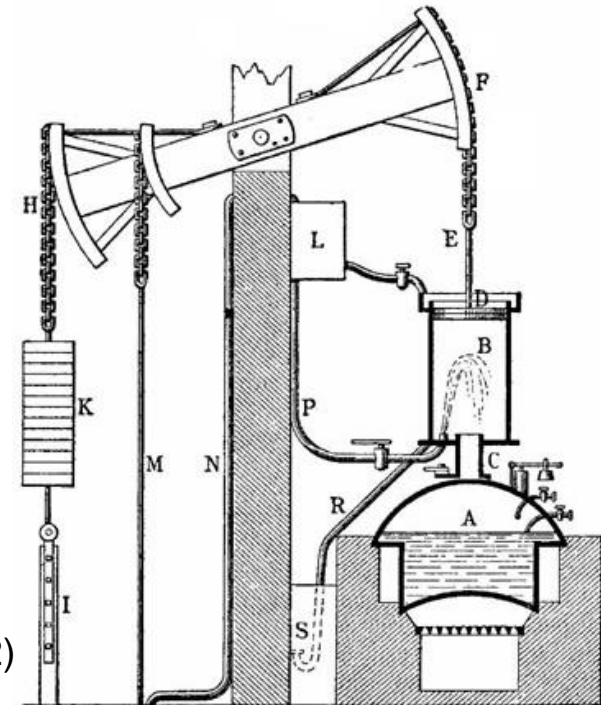
*La machine de Savery*



*La machine atmosphérique de Newcomen (1712)*

P. Marage

Histoire du vide

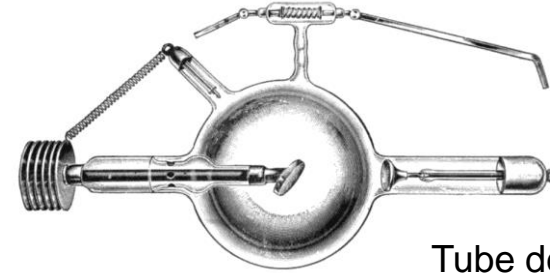


# Les techniques du vide

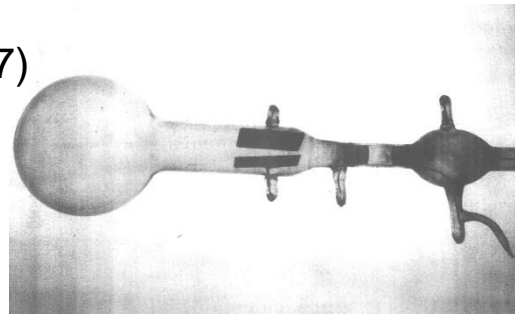
De l'étude des décharges dans les **gaz raréfiés** (dès 1675; Faraday)

...à la découverte des **rayons X** (1895)

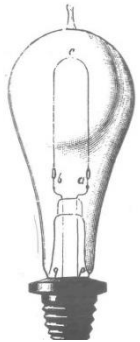
... et de **l'électron** (1897)



Tube de Crookes



Tube de Thomson



... et de **l'ampoule** de Swan et d'Edison (1880)

... à la fabrication des composants électroniques, aux technologies des surfaces et à l'ultravide des accélérateurs de particules

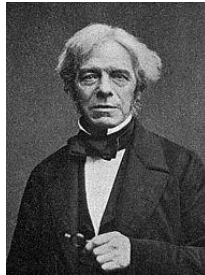
# IV. Le vide théorique

# De l'éther...

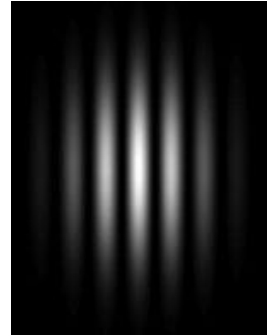
Le triomphe de la **mécanique** de Newton – le *Système du Monde* (Laplace, 1799-1825)

**Mais** nature ondulatoire de la **lumière** : interférences, franges de Young (1801), polarisation, théorie ondulatoire de Fresnel, expériences de Fizeau.

Michael Faraday (1791-1867)



James Clerk Maxwell (1831-1879)



**théorie électromagnétique unifiée** (1864) :

la **lumière** est une onde électromagnétique (Hertz, 1885),

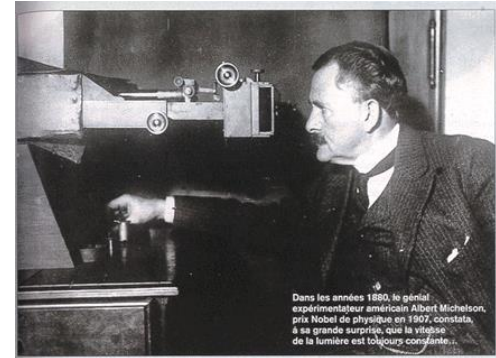
se propageant dans **l'éther** immobile, siège des oscillations lumineuses, qui remplit l'espace,

-- mais aux propriétés paradoxales (rigide mais sans résistance aux astres)



## ... à la relativité restreinte

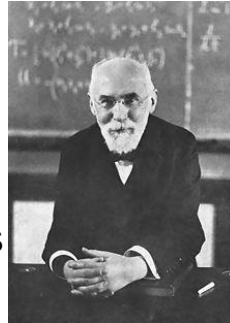
Cependant on ne mesure pas de « vent d'éther » :  
**constance** de la mesure de la vitesse de la lumière  
expérience de **Michelson et Morley** (1881-1887)



Konrad Lorentz (1853-1928)

### lois de transformation

- contraction des longueurs
- dilatation des temps



Henri Poincaré (1854-1912)



Albert Einstein (1879-1955)



**relativité restreinte (1905)**

**Exit l'éther**, nouvelle cinématique de l'espace-temps « vide »

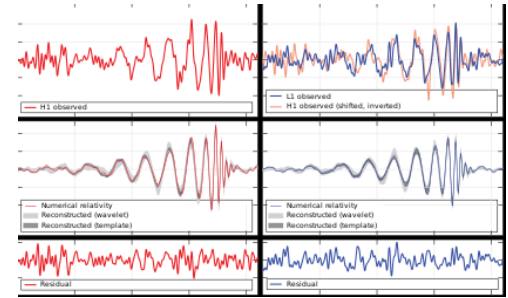
# Relativité générale et vide quantique

**1915 : Relativité générale** (théorie de la gravitation)

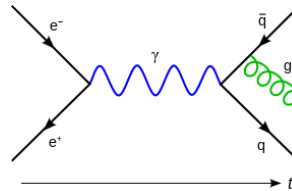
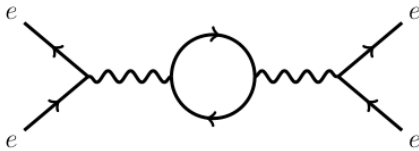
l'espace-temps n'est pas vraiment **vide** :

il est doté d'une structure, une **métrique**

Et il peut se déformer (**ondes gravitationnelles**)



Et pour la **théorie quantique des champs** (physique des particules), le « vide » n'est que **l'état d'énergie le plus bas** d'un système (voire l'Univers entier), lequel est « rempli » de particules virtuelles, de paires virtuelles de particules – antiparticules, etc. – **l'énergie du « vide »**



Sans compter le problème de **l'énergie noire**

**Le « vide »** a-t-il finalement pour fonction d'absorber / de réfléchir les propriétés de symétrie décrivant le fonctionnement de la **matière** ?

N'est-il qu'un autre nom de la matière ?