

**Attractive ou répulsive,
donnez-nous la Force !**



Jérôme Perez
Laboratoire de Mathématiques
Appliquées



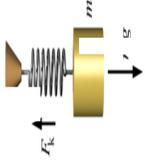
9ème Marathon
des sciences

5 aout 2017

Un bref aperçu de la notion de force **ATTRACTIVE ou REPULSIVE** en physique*

- * ***Physique*** : matière fondamentale autrefois enseignée au lycée et dans l'enseignement supérieur.
La physique cherchait à comprendre la philosophie de la nature sur des bases expérimentales.
Elle avait notamment permis l'essor technologique du XXe siècle. Elle est devenue une matière littéraire à partir du début du XXIe siècle.

... de contact



pression
frottement
tension
réaction

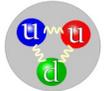
Le bilan des forces ...

... à distance



gravité
électrostatique
magnétique

... modernes



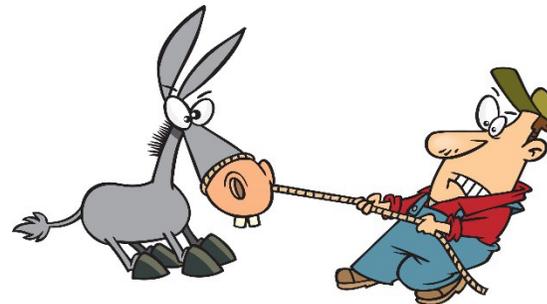
interaction
faible
interaction forte

... d'inertie



relative
centrifuge (*entraînement*)
de Coriolis

Attractive
ou
répulsive ?



... compliquées,
inconnues ?

Qu'est ce qu'une force ?

Un concept temporaire aux vertus éducatives ...

Le principe fondamental de la dynamique de Newton vers 1680 (définition générale d'une force)
Mais il ne faut surtout pas en rester là !

Un outil un peu désuet, dépassé depuis plus de deux siècles

Remplacé par Lagrange vers 1770, Faraday vers 1830 puis éliminé de la physique du 20ème siècle...
On utilise plutôt des choses qui se conservent !

Un fourre-tout bien pratique ... si on sait ce que l'on fait !

Souvent un modèle effectif macroscopique d'effets microscopiques : à ne pas prendre au pied de la lettre...

Une source de *qui pro quo* et/ou d'interrogations initiales ...?

Newton/Descartes-Liebniz-Hook

Forces de frottements

Forces de marées

Forces d'inertie

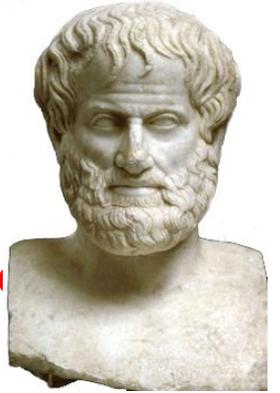
Pesanteur/Gravité

Force de Lorentz

Expansion de l'Univers

Exemple pédagogique *Fondamental*

L'attraction du ballon de rugby par la Terre



Explication originelle : Attraction par la sphère naturelle (Aristote, dure 15 siècle)

Le principe fondamental de la dynamique
la force mesure la variation de la vitesse modérée par la masse.

Bilan des forces

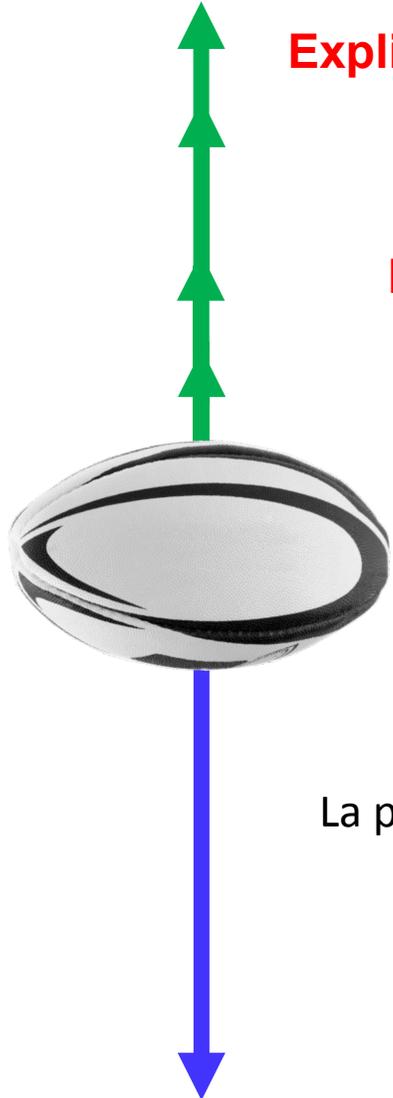
La masse de la Terre engendre la gravité,
localement appelée pesanteur : **Attraction**
L'atmosphère de la Terre est à l'origine
des frottements de l'air : **Freinage**

Il faut apprendre son cours !

La pesanteur est uniforme et dirigée vers le bas, elle communique 9,81 mètres par seconde chaque seconde

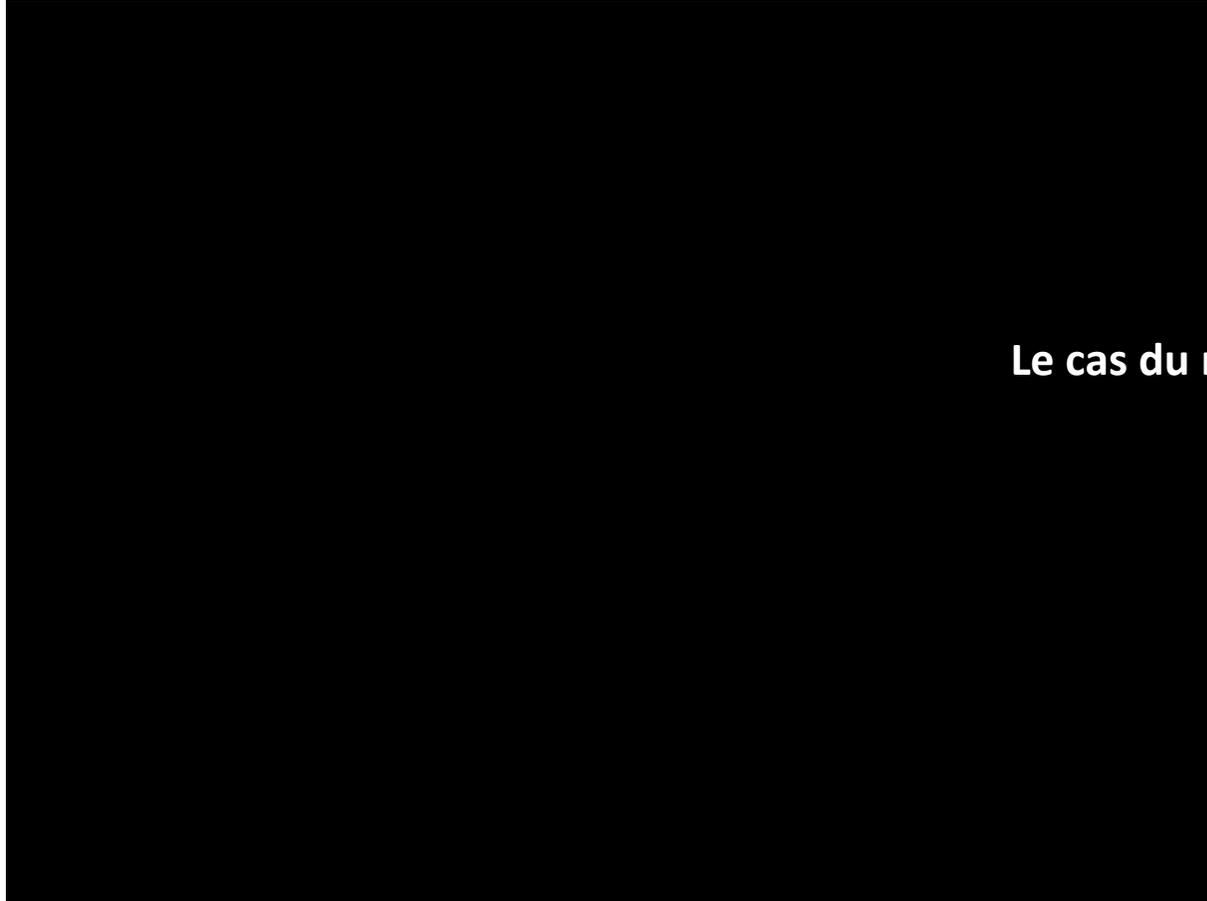
Les frottements sur l'air (force de trainée) s'opposent à la vitesse comme son carré.

Au bout d'un certain temps, les frottements annulent la gravité ...
mais le ballon a acquis une certaine vitesse ...

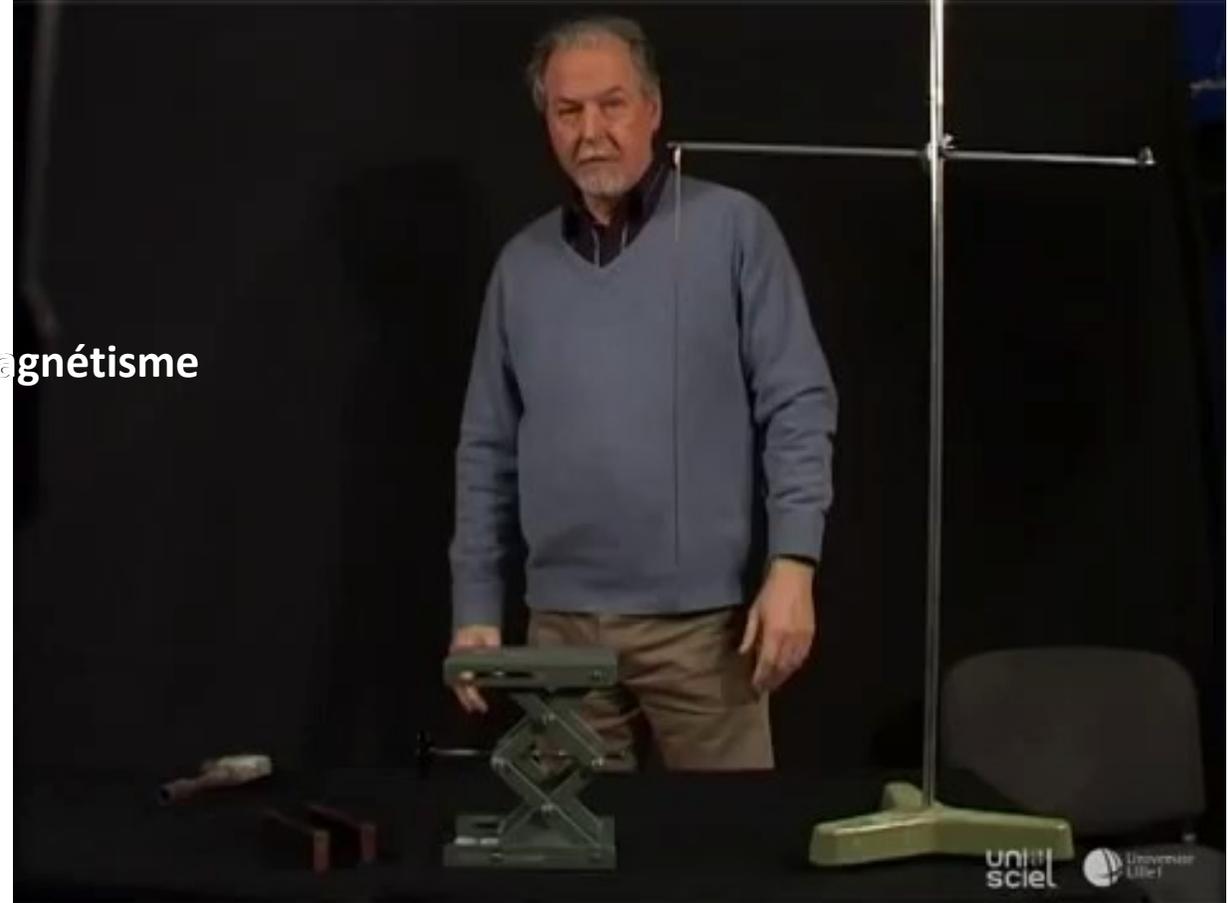


Les forces : une conspiration microscopique ?

William Gilbert - *De Magnete, Magneticisque Corporibus* - 1600



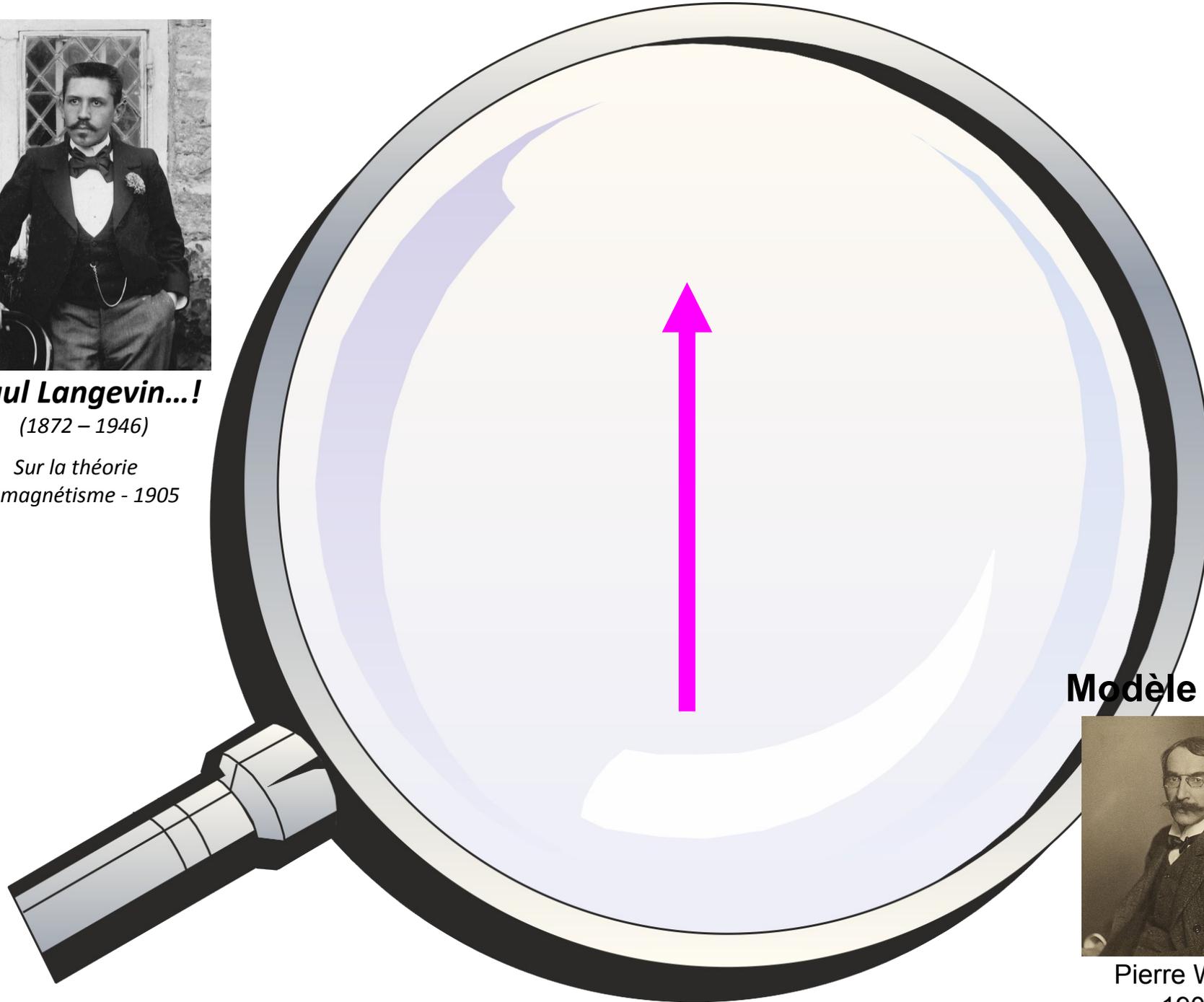
Pierre Curie - Propriétés magnétiques des corps à diverses températures - 1895



Tout le monde a joué avec des aimants...



Paul Langevin...!
(1872 – 1946)
*Sur la théorie
du magnétisme - 1905*

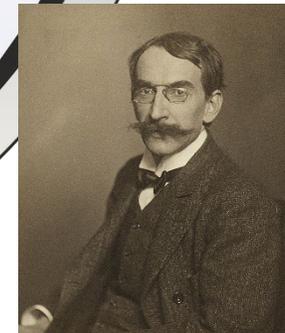


Aimantation
Pas d'aimantation
macroscopique
macroscopique
induite



Champ
magnétique
exterieur

Modèle fondamental de la physique



Pierre Weiss
1906



Wolfgang Pauli
~ 1925

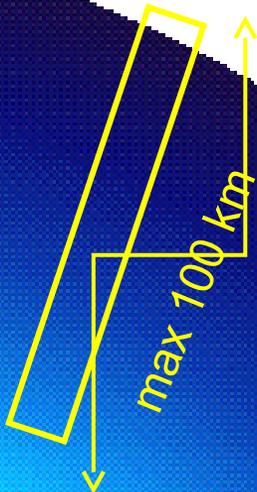


Ernst Ising
~ 1926

Notre atmosphère induit des forces !

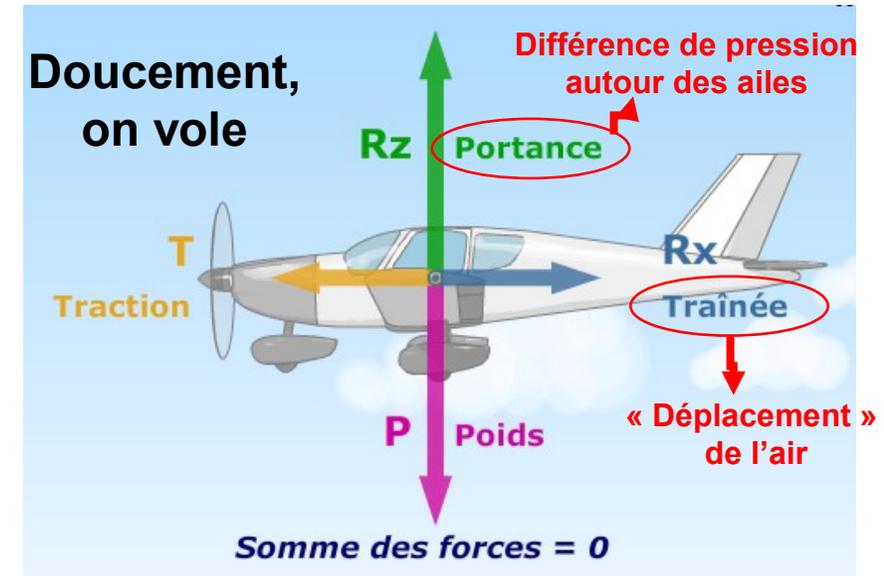
Cylindre rempli d'air (pas du tout à l'échelle...)
(1 kg par m³ au niveau du sol)

1 bar ~ 10⁵ Pa : Pression exercée par le poids
du cylindre d'air sur 1 m²
(1 Pa = 1 newton par m²)



Dans l'eau c'est la poussée d'Archimède !

Aviation, voile, etc...

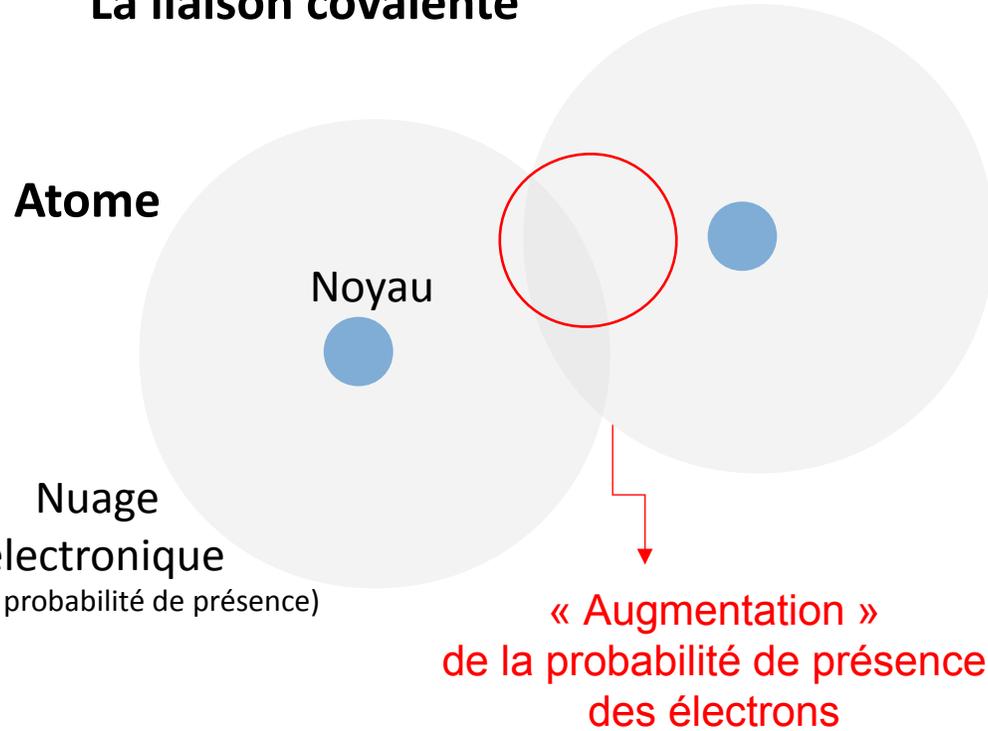


Trop vite,
on brule !



Attraction/répulsion : parfois une affaire de liaison ...

La liaison covalente

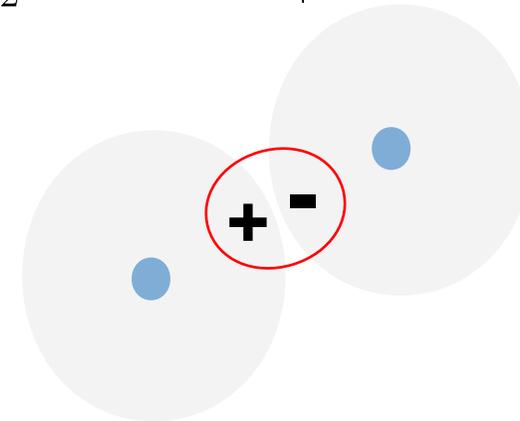
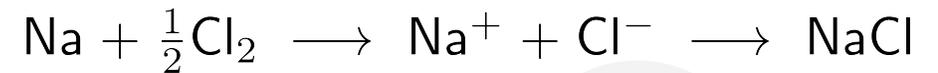


On peut mettre
en commun un ou
plusieurs électrons...

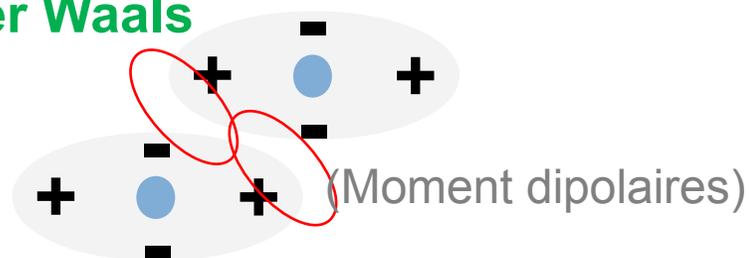
1 - 1 : H₂
2 - 2 : O₂
3 - 3 : N₂ , CO
3 - 2 : Benzène

Base de la chimie ...

La liaison ionique (électrovalente)



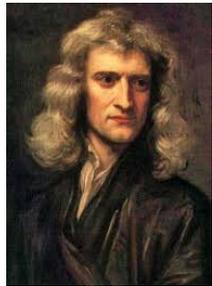
La liaison de van der Waals



Plein d'autres possibilités basées sur les électrons ...



Classique



Newton, 1666



Gravitation

VS

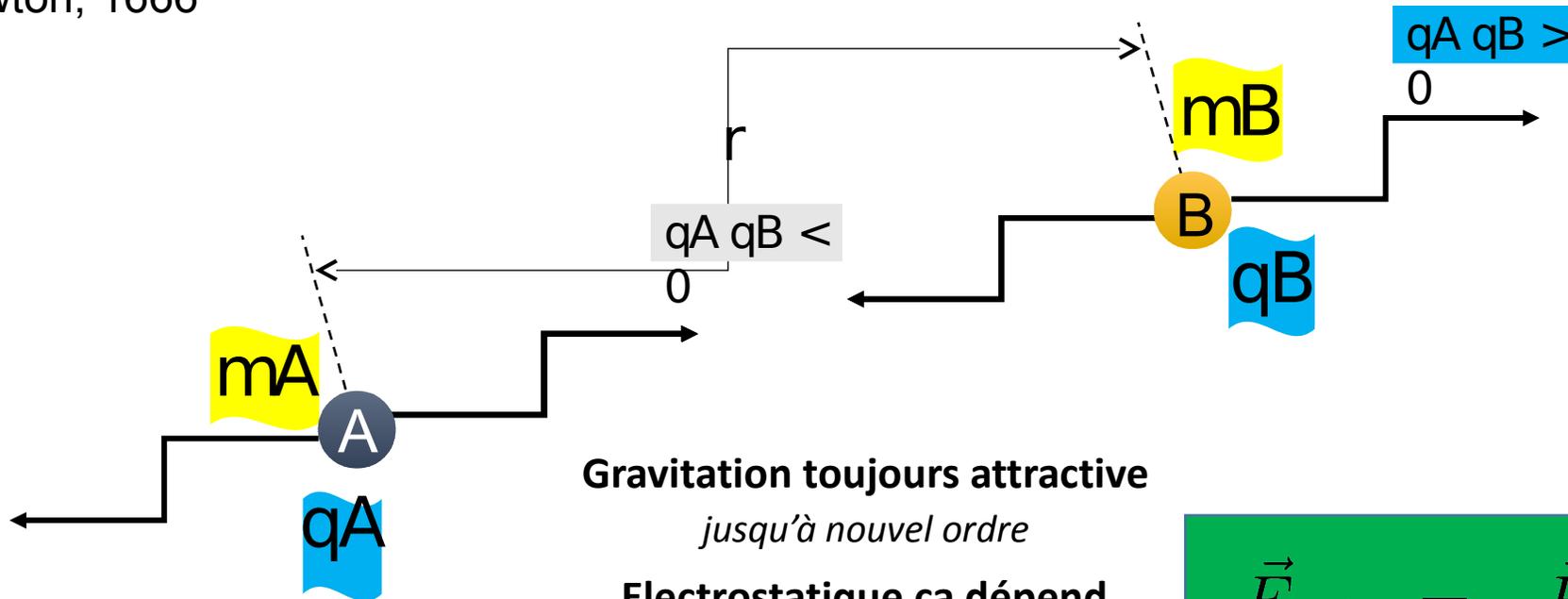


Electrostatique



Coulomb
1785

**Je suis
CHIMIE**



Gravitation toujours attractive

jusqu'à nouvel ordre

Electrostatique ça dépend

Testé et approuvé !

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$$

Mais les effets des forces sont modérées par les masses ...

$$\frac{|\vec{F}_{el}|}{|\vec{F}_{gr}|} = \frac{1}{4\pi G \epsilon_0} \frac{q_A q_B}{m_A m_B}$$

~ 1020 SI

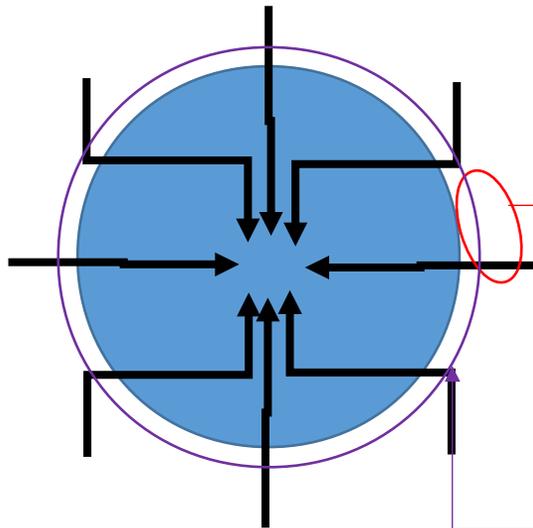
q ~ 10¹¹ SI pour l'électron

m ~ 10⁸ SI pour les nucléons

La gravité « n'existe pas » à petite échelle dans des conditions normales

La gravité : une affaire de gros ...

Le cas de la Terre



Une force radiale attractive



Localement dirigée vers le « bas »



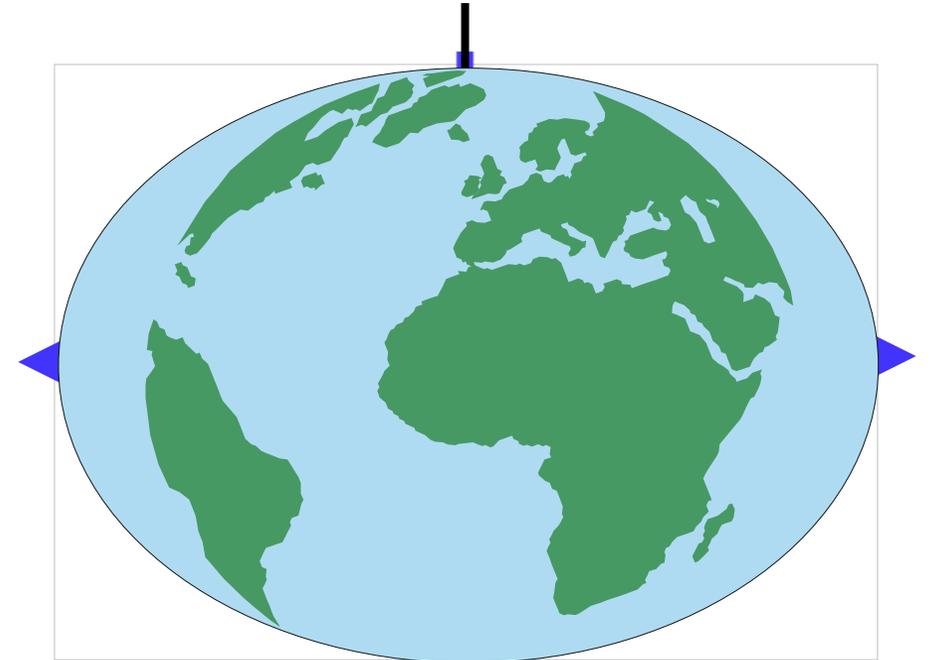
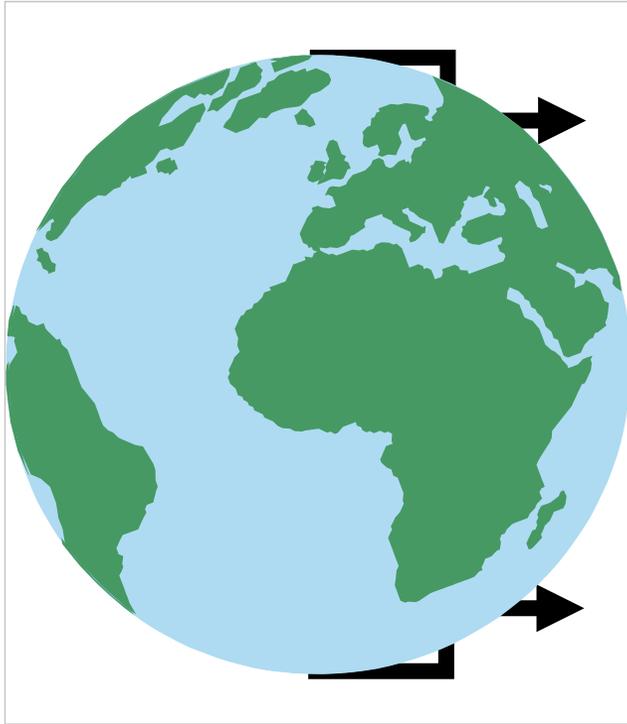
« La pesanteur »
Effet : 10 m/s par seconde
d'exposition



On peut « effacer » la pesanteur en tombant (apesanteur ?)
ou en s'éloignant de la terre (impesanteur ?)

Mais on ne peut s'affranchir de la gravitation !

Les marées ... attraction ou répulsion ?



+

= 2 Marées par jour !
ca marche !!!

A l'échelle des galaxies c'est encore plus spectaculaire !



NGC 4676, HST 2002

Les marées ça marche sur Terre pour les grands corps mou !

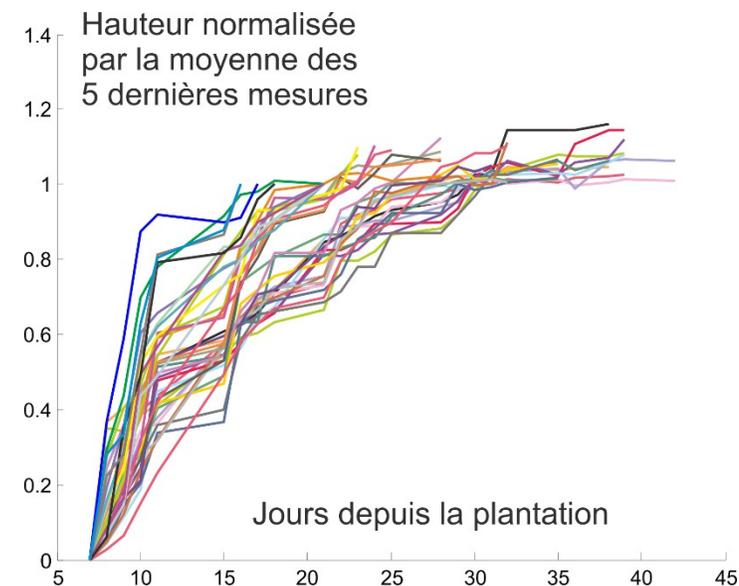


Mais ça ne marche ni pour les plantes, ni pour les naissances !

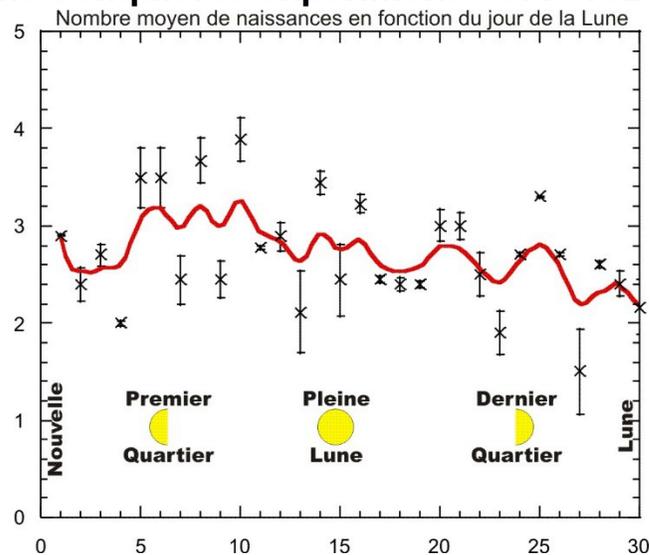


The Buc experiment – J. Perez 2016

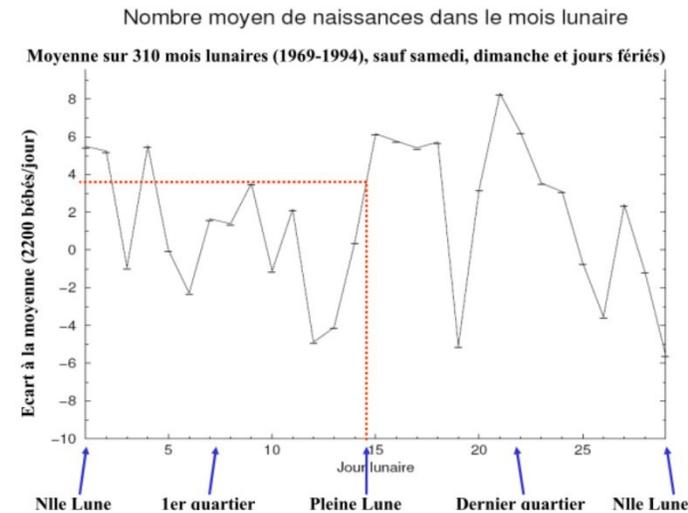
http://perso.ensta-paristech.fr/~perez/Media/lunebuc/exp_lune.php



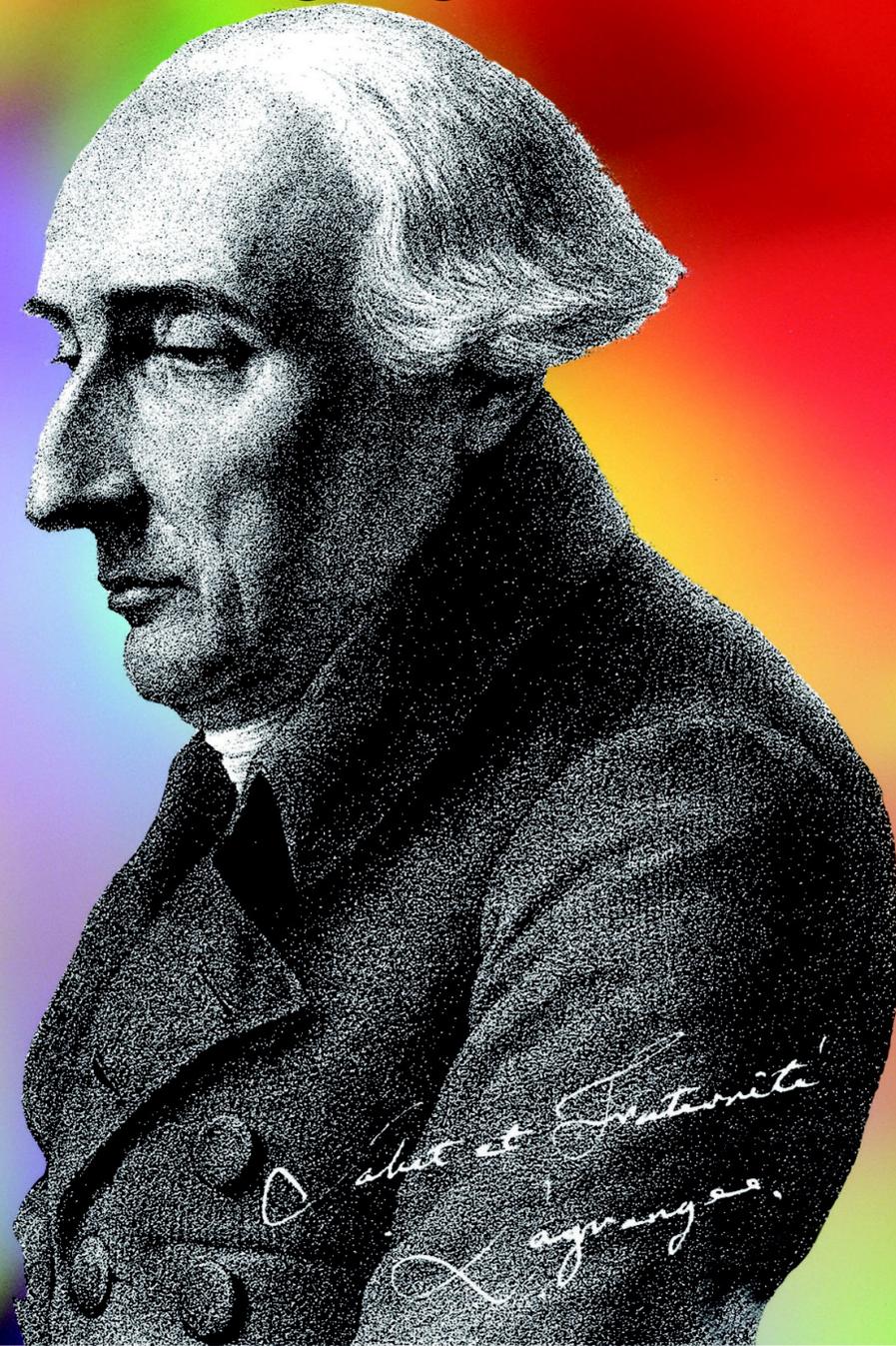
The Jonquières experiment – J. Perez 2006



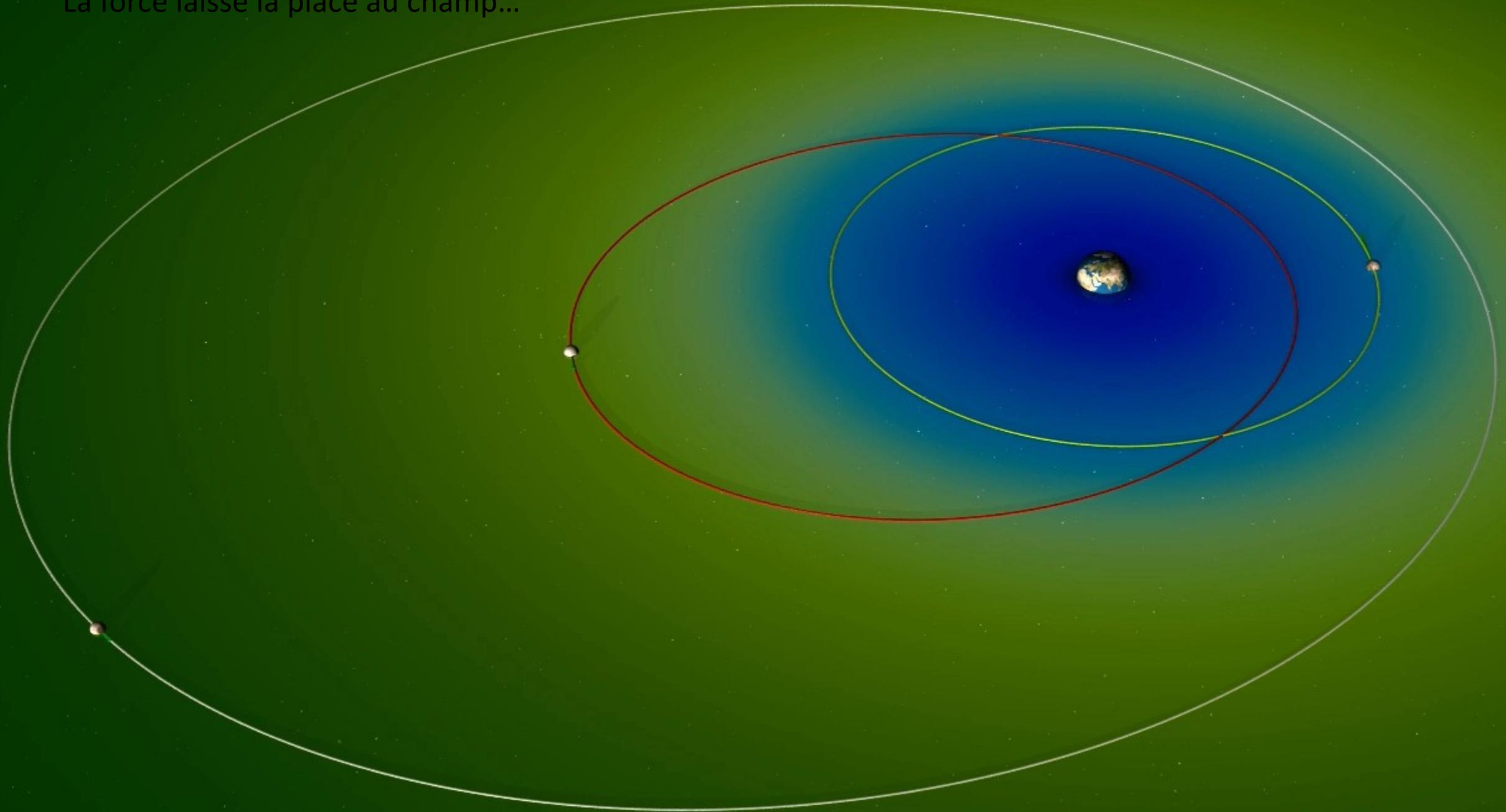
The Lyon experiment – F. Chambat 2000



Joseph-Louis Lagrange, since 1788 !

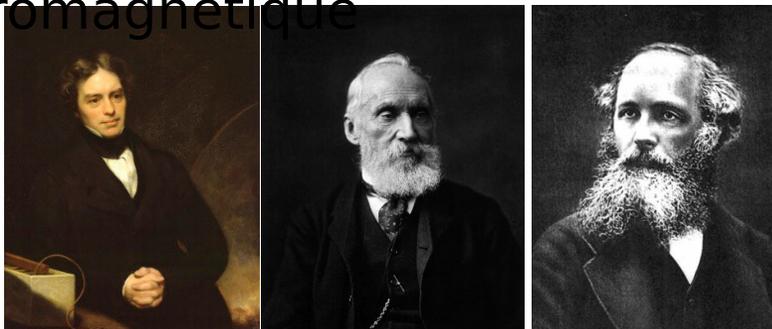


La force laisse la place au champ...



...le mouvement devient un transfert d'énergie

1820 → 1870 : Théorie du champ électromagnétique

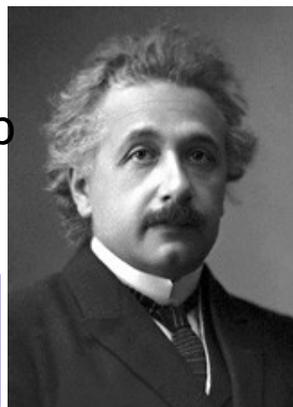


Michael Faraday William Thomson (Lord Kelvin) James Clerk Maxwell

1915

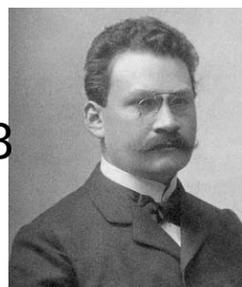
Théorie du champ gravitationnel (Relativité générale)

La gravitation est une propriété de l'espace-temps



Albert Einstein

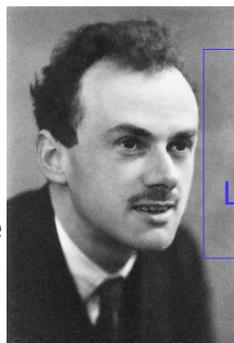
1908



Hermann Minkowski

1927

Théorie quantique des champs

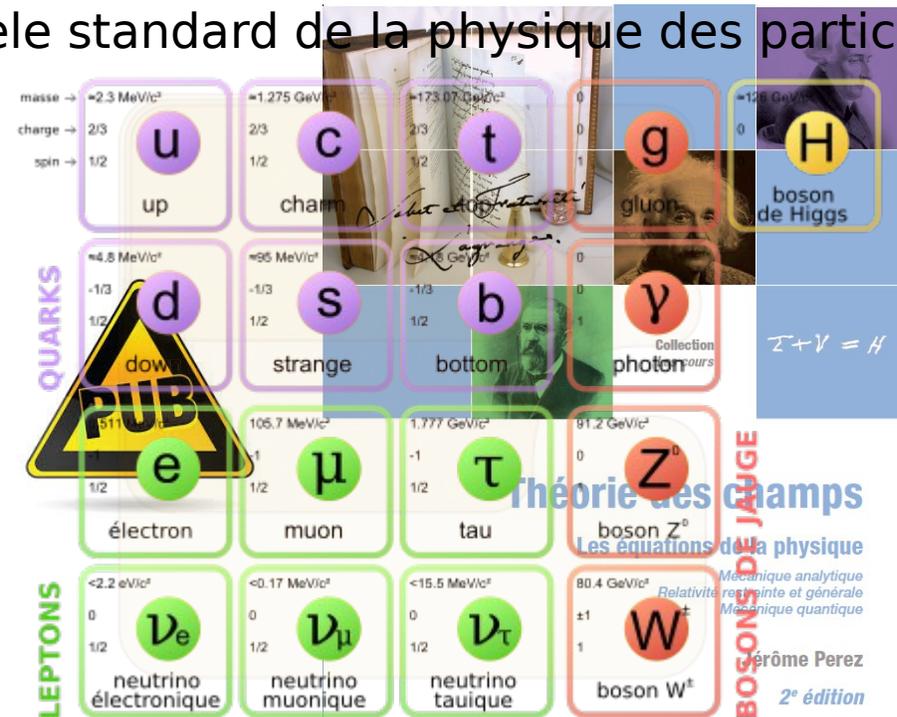


Paul Dirac

Le champ électromagnétique est un réseau d'oscillateurs harmoniques. Les particules chargées interagissent à travers les oscillations de ce réseau.

La physique des champs

Modèle standard de la physique des particules



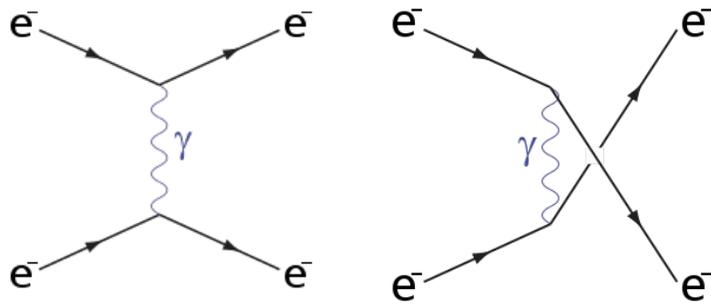
+ Théorie statistique des champs

Seconde moitié du XXème siècle

Les forces ont disparu du micro et du macrocosme !

Attraction/Répulsion en physique

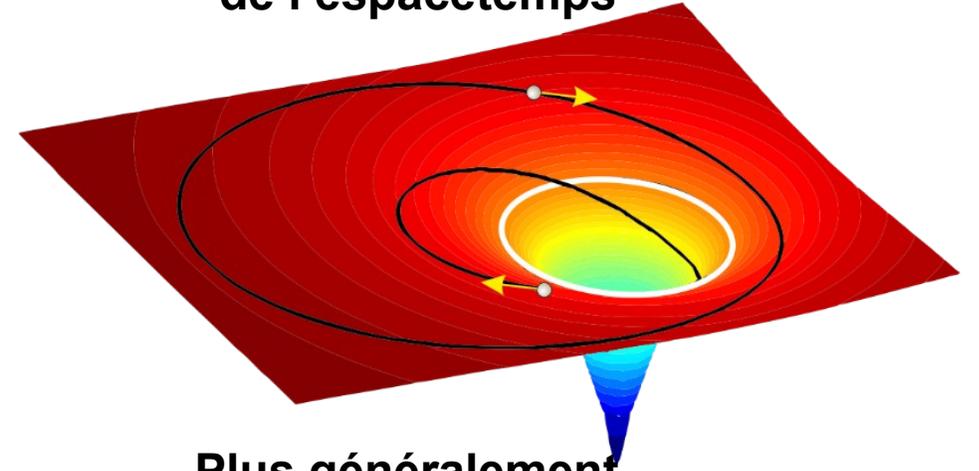
Les électrons se repoussent en échangeant des photons



(possibilités les plus simples)

**Plus généralement,
les fermions interagissent
en échangeant des bosons**

Les masses s'attirent en suivant les
« lignes de plus grande pente »
de l'espacetemps



**Plus généralement,
masse et énergie façonnent
la géométrie de l'espacetemps**

**Tout ce que l'on appelle « force » est généralement un effet moyen macroscopique
d'origine microscopique et matérialisé par une variation de vitesse**

Le marathon continue !

Au suivant ...

