

PHYS-F-301

Techniques de la Physique Expérimentale : Table des Matières

1re partie : Analyse Statistique, Tests d'Hypothèse et Méthodes d'Estimation

I - Introduction par quelques exemples:

L'importance des mesures expérimentales en physique

II - Rappel de notions de probabilité

III - Fonctions de densité de probabilité fondamentales

IV - Rappel de notions de statistique

V - Distributions d'échantillons

VI - Tests d'hypothèse

VII - Méthodes d'Estimation

VIII - Méthode du Maximum de Vraisemblance

IX - Méthode des Moindres Carrés

X - Cas pathologiques d'estimation des intervalles de confiance

2me partie : Méthodes de simulation

XI – Méthode de simulation par Monte-Carlo

3me partie : Méthodes de déconvolution

XI – Méthodes de déconvolution

<http://w3.iihe.ac.be/~gwilquet/>

G.Wilquet

Techniques de la Physique Expérimentale

1^{ere} partie :

Analyse Statistique, Tests d'Hypothèse et Méthodes d'Estimation

G.Wilquet

**I - Introduction par quelques exemples :
L'importance des mesures expérimentales en physique**

Les valeurs « théoriques » d'un très grand nombre de paramètres de la physique ne sont pas prédits par les modèles théoriques et sont des valeurs « mesurées ».

- Soit les modèles théoriques ne sont pas du tout ou très peu prédictifs.
- Soit les modèles sont phénoménologiques et affinés par la confrontation à et l'incorporation de nouvelles observations.
- Soit la théorie est complétée a posteriori pour la rendre compatible avec un nouveau domaine d'observations.

Newton	$F = G_N \frac{m m'}{r^2}$	$G_N ?$	
Einstein	$E_e = \sqrt{m_e^2 c^4 + p^2 c^2}$	$m_e ? c ?$	
de Broglie	$E = h\nu$	$h ?$	
Boyle, Charles, Gay-Lussac	$PV = nRT = nN_A kT$	$k ? N_A ?$	
Coulomb	$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q q'}{r^2}$	$\epsilon_0 ?$] $\epsilon_0 \mu_0 = \frac{1}{c^2}$
Ampère	$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r^2}$	$\mu_0 ?$	

Certaines mesures sont très précises:

vitesse de la lumière dans le vide	$c = 299\,792\,458 \text{ m s}^{-1}$	exacte, défini le mètre
constante de structure fine	$\alpha = 7.297\,352\,568(24)$ $\alpha = 7.297\,352\,568 \pm 0.000\,000024$	± 3.3 parties par milliard
charge de l'électron	$e = 1.602\,176\,53(14) \times 10^{-19} \text{ C}$	± 85 ppm
masse de l'électron	$m_e = 0.510\,998\,918(44) \text{ MeV}/c^2$	± 86 ppm
constante de Planck	$h = 6.626\,069\,3(11) \times 10^{-34} \text{ J s}$	± 170 ppp
nombre d'Avogadro	$N_A = 6.022\,141\,5(10) \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	± 170 ppm

D'autres un peu moins :

constante de Boltzmann	$k = 1.380\,650\,510(24) \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$	$\pm 1\,800$ ppm
constante de Fermi	$G_F / (hc)^3 = 1.166\,37(1) \times 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$	$\pm 9\,000$ ppm

D'autres beaucoup moins :

constante de Newton	$G_N = 6.6742(10) \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$	$\pm 150\,000$ ppm
la théorie de la gravitation n'est pas testée à des distances inférieures à 0.1 mm ou supérieures au système solaire		
constante de couplage forte	$\alpha_s = 0.1176(20)$	$\pm 17\,000\,000$ ppm

Un exemple en cosmologie observationnelle

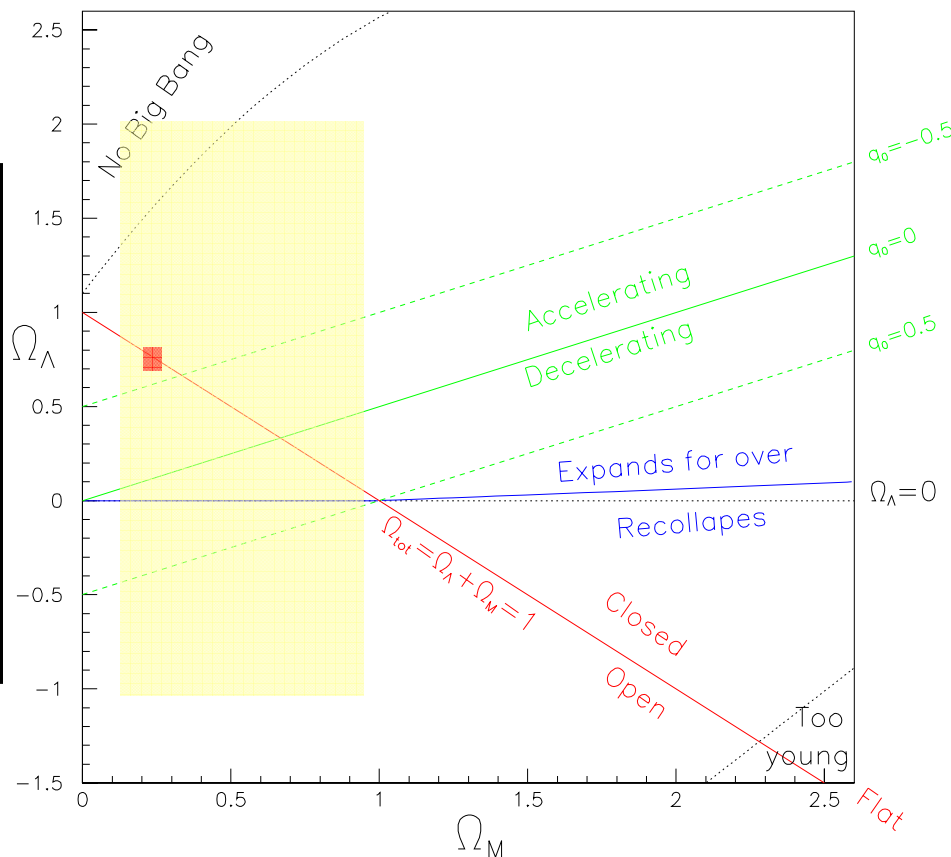
La géométrie et l'avenir de l'Univers dépendent de 2 constantes:

Ω_M : densité de matière

Ω_Λ : constante cosmologique

	Ω_m	Ω_Λ	$\Omega_m + \Omega_\Lambda$
1998	[0.2 , 1.]	[-1. , 2.]	
2000	[0.15 , 0.45]	[0.6 , 0.8]	≈ 1
2004	0.27 ± 0.04	0.73 ± 0.04	1.02 ± 0.04
2006	0.24 ± 0.03	0.76 ± 0.05	1.003 ± 0.015

Future and geometry of Universe defined by Ω_M and Ω_Λ



Un exemple en physique des particules: invariance par rapport à P, CP, CPT

- Violation complète de l'invariance par pour l'opération P dans les interactions faibles

$${}^A Z \xrightarrow{\beta^-} {}^A(Z+1) + e^- + \bar{\nu}_e \quad e^- \text{ toujours dans état d'hélicité négative}$$

- Faible violation de l'invariance par pour l'opération CP dans les interactions faibles

$$\eta^{+-} = \frac{\text{Amplitude}(K_L^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-)}{\text{Amplitude}(K_S^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-)} = 0.002236 \pm 0.000007 \quad (\eta^{+-} = 0 \text{ si CP conservé})$$

↑
La mesure prend sa signification grâce à l'erreur de mesure

- Théorème CPT: CPT est une bonne symétrie pour toutes les théories quantique des champs

$$m, \tau, |q| \text{ (particule)} = m, \tau, |q| \text{ (antiparticule)}$$

$$(m_{e^+} - m_{e^-}) / m_{moyenne} < 8 \times 10^{-9} \text{ au niveau de confiance 90\%}$$

$$|q_{e^+} + q_{e^-}| / q_{moyenne} < 4 \times 10^{-8} \text{ au niveau de confiance 90\%}$$

$$\tau_{\mu^+} / \tau_{\mu^-} = 1.000024 \pm 0.000078$$

La mesure prend sa signification grâce à l'erreur de mesure

Donner un sens précis au niveau de confiance

Test de la théorie quantique des champs : moment magnétique du muon

Théorie de Dirac :

moment magnétique $\vec{\mu} = g \mu_B \vec{s}$ $\mu_B = \frac{|e| \hbar}{2 m}$ magnéton de Bohr de la particule

particules de spin 1/2: $g = 2 \Rightarrow \mu = \mu_B$

Corrections quantiques: particules non ponctuelles:

Répartition spatiale de charge (moment magnétique $\vec{\mu}$)

a priori différente de

Répartition spatiale de masse (moment cinétique \vec{s})

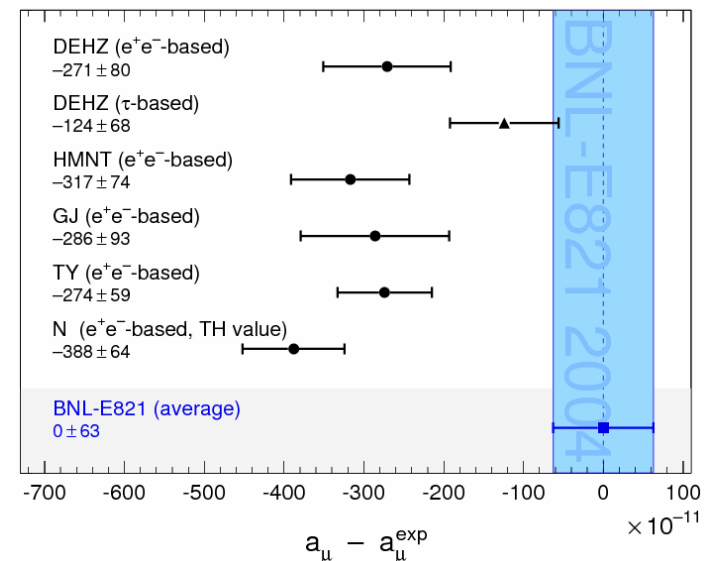
Exemple du moment magnétique du muon μ^+

$$a_\mu = \mu_\mu / \mu_B - 1 = (g - 2) / 2$$

$a_\mu = 0$ dans la théorie de Dirac

Situation en 2006

$$a_\mu = 0.00116592080(54) \times 10^{-10}$$



Différence entre mesure et des calculs théoriques récents
Chapitre I