

Evolution des moyens de calcul scientifiques en France et leur utilisation en QCD sur réseau

Jaume Carbonell



Journées thématiques IPN Orsay, 11 décembre 2009

Menu

- I. La situation actuelle du calcul scientifique en France
- II. Le calcul sur réseau QCD
 - Méthodes
 - Quelques résultats

I. La situation actuelle du calcul scientifique en France

Après une loooooongue déchéance, un pas important vers une normalisation, voir même une excellence, a été franchi en 2009

Des moyens considérables en HPC ont été apportés par:

CNRS	IDRIS	Orsay
Université	CINES	Montpellier
CEA	CCRT	B. Le Châtel

mais le Ministère de la Recherche reste le principal bailleur

Une superstructure – **GENCI** - à été créée

- fédératrice au niveau national (une seule demande)
- représentative au niveau européen pour **PRACE**

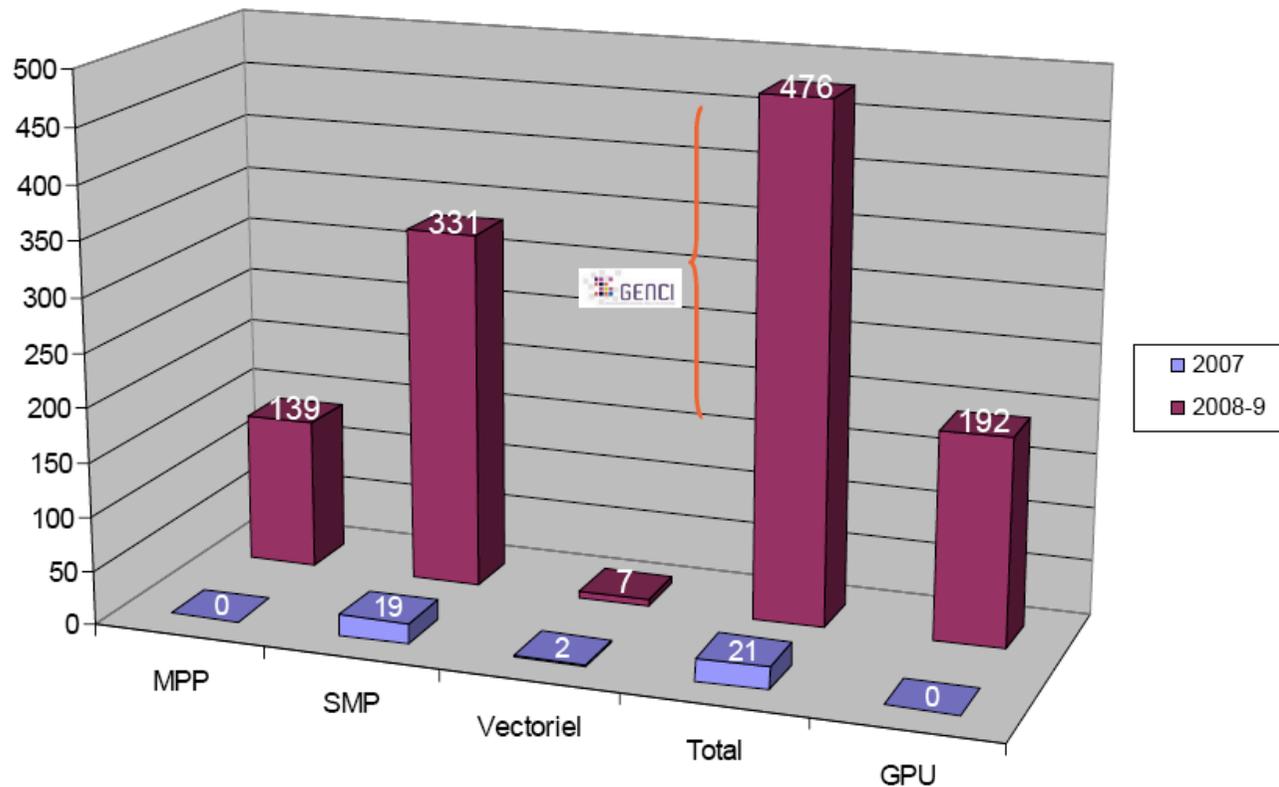
Sans oublier le CC-IN2P3 qui a fait un sérieux lifting en CPU et reste imbattable pour le stockage

Un seul transparent pour illustrer cela



Moyens de calcul nationaux

Évolution de la capacité de calcul disponible pour la communauté scientifique française



Au niveau européen

PRACE: Partnership for Advanced Computing in Europe

Reunion des “**GENCI**” de 15 pays européens

5 d’entre eux (Allemagne, Espagne, France, Pays-Bas, UK) s’engagent à installer **une machine Top 10** à vocation européenne

Ouverte à des projets portés par des chercheurs des pays membres

La première est à Juelich depuis juillet 2009: JUGENE 1Pf/s , 300.000 cpu

La deuxième

Dans les 2-3 ans à venir

Renforcement des machines existantes:

IDRIS	BG/P	40.960 cpu	139 Tf/s	→ trop hot >2011
	IBM/P6	3.584 “	67 Tf/s	→ “ “
CINES	SGI/Altix	12.288 “	147 Tf/s	→ + 120 été 2010
CCRT	BULL/Platine	7.556 “	48 Tf/s	→
	BULL/Titane	gpu+”	100+200 Tf/s	→ ?

Deuxième machine européenne PRACE en France (2011) > 1 Pf/s

Une vraie “revolution” dans le calcul scientifique que la France n’a pas loupé

**Dorénavant, si vous voulez calculer quelque chose...”just dream it”
.... à condition que votre modèle soit “scalable”,
sorte d’impératif de la “raison pratique”, qui s’impose de plus en plus**

Pour ceux qui sont déjà perdus...

FRANCE

GENCI (Grand Equipement National Calcul Intensif)

- IDRIS
- CINES
- CCRT

ORAP: Organisme pour la promotion du calcul scientifique HPC (J.L. Lyons 94)
Forum deux fois par an, accès libre (le prochain en mars au CNRS)
Label de thèses HPC
<http://www.irisa.fr/ORAP/ACCUEIL/>

CSCI: Comité Stratégique Calcul Intensif
Version “politique” de **ORAP**

Ces 3 instances réunissent CNRS+CEA+Université+Industrie (EDF, Total, EADS, CAPS,NVIDIA,...) qui travaillent en assez bonne entente

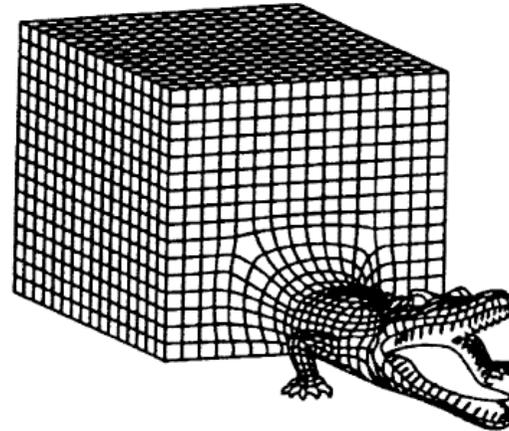
EUROPE (donc France!)

PRACE Reunion des “**GENCI**” de 15 pays
5 d’entre s’engagent a payer une machine Top 10 a vocation européenne

II. Les projets de calcul sur «réseau»

Ici le « réseau » n'est pas une « grid » mais l'espace-temps discrétisé en $V=L^3 \times T$ sites

L	T	V
16	32	130 000
24	48	660 000
32	64	2 100 000
48	96	10 600 000



Le but est de résoudre sur ce « réseau » une version discrétisée de QCD (ou autre QFT)

Sur chaque site:

- 4 matrices de $SU(3)$ (gluons)

- $3 \times 4 \times N_s$ « champs » complexes (quarks)

$$q_f(x) = \begin{pmatrix} q_f^b(x) \\ q_f^r(x) \\ q_f^v(x) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \left(\begin{matrix} \dots \\ \dots \\ \dots \\ \dots \end{matrix} \right) \\ \left(\begin{matrix} \dots \\ \dots \\ \dots \\ \dots \end{matrix} \right) \\ \left(\begin{matrix} \dots \\ \dots \\ \dots \\ \dots \end{matrix} \right) \end{pmatrix} \quad f = 1, \dots, 6$$

Les étapes d'un calcul de QCD sur réseau

1. Générer une ensemble statistique de “configurations de jauge” $U = \{U_\mu(x), x \in V\}$ suivant un loi de probabilité

$$p(U) = \det[D(U)] e^{-S_g[U]}$$

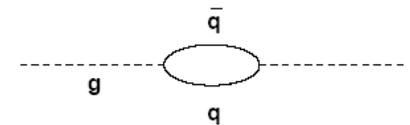
Où **D** est l'opérateur (de Dirac) qui apparait dans

$$\mathcal{L}_{QCD} = \sum_{s=1}^6 \bar{q}_s D(U) q_s + \mathcal{L}_g(U)$$

Paramètres: m_q , β (“a”)

Une fois discretisé, **D** est une matrice complexe de dimension $d=3 \times 4 \times V$

C'est la partie héroïque du calcul (Ph. Boucaud), à cause de $\det(D)$



On a besoin de $N \sim 1000$ “confs” x “a” x “m”

L	T	Giga
24	48	0.4
32	64	1.2
48	96	6.1
64	128	19.3

Sans HPC, point de salut (BG/P)

Les étapes d'un calcul de QCD sur réseau

2. "Propager" les quarks dans ce "fond", i.e. calculer

$$S_{ss'}^{cc'}(x) = \langle 0 | q_s^c(x) \bar{q}_{s'}^{c'}(0) | 0 \rangle$$



Pour une conf, on est ramené à la résolution d'un système linéaire

$$D_{s's}^{c'c}(x, y) S_{ss''}^{cc''}(y) = \delta^{c'c''} \delta^{s's''} \delta(x)$$

de taille conséquente, e.g. pour L=32 dim(D)=50 millions de réels*8

Ce sont les objets de base, assez encombrants

L	T	Giga/quark
24	48	1.5
32	64	5.
48	96	25

qui se comptent aussi par milliers car il faut moyener sur les confs (U)

$$S(x, 0) = \langle 0 | q(x) \bar{q}(0) | 0 \rangle = \int dU_\mu(x) D^{-1}(x, 0) \det[D(U)] e^{-S_g[U_\mu]} \approx \sum_U S(x)$$

Les étapes d'un calcul de QCD sur réseau

3. Calculer les observables

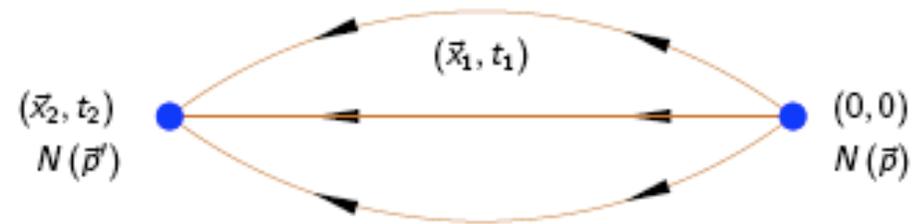
- masses
- Fonctions de structure (facteurs de forme , PDF, GPD)
- decay constants
-

On se ramène toujours à de « simples » manipulations algébriques avec les S

Exemple: calcul de la masse de N:

Créer N en 0 $\bar{N}_a \equiv \epsilon^{ijk} (\bar{u}^i C \gamma_5 \bar{d}^j) \bar{u}_a^k$
 Annihiler N en x $N_a \equiv \bar{\epsilon}^{ijk} (u^i C \gamma_5 d^j) u_a^k$

Obtenir les masses en propageant N de $x \leftarrow 0$



$$C_{ab}(x) = \langle 0 | N_a(x) \bar{N}_b(0) | 0 \rangle$$

D'après le Th. de Wick, cette valeur moyenne se ramène à des sommes de produits de S, e.g; pour p

$$C_{ss'}^p(x) = -\epsilon^{abc} \epsilon^{a'b'c'} \left\{ -S_u^{cc'} [\Gamma^N S_d^{bb'} \tilde{\Gamma}^N]^T S_u^{aa'} + S_u^{ca'} \text{Tr}(S_u^{ac'} [\Gamma^N S_d^{bb'} \tilde{\Gamma}^N]^T) \right\}$$

L'intérêt de C vient de ce que $C_{\alpha\beta}(t) = \sum_{\vec{x}} S_{\alpha\beta}(x) \sim e^{-aM_1 t}$

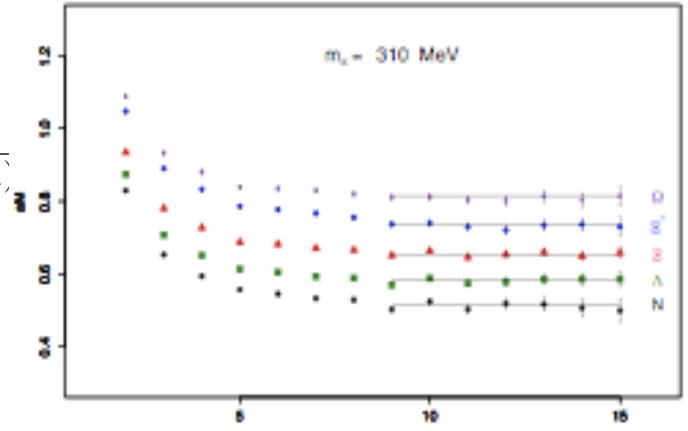
Calculs pas très longs

Sa difficulté vient de la taille de S (L=32, u+d+s=15 Go) et de ce qu'il faut moyener sur plusieurs centaines

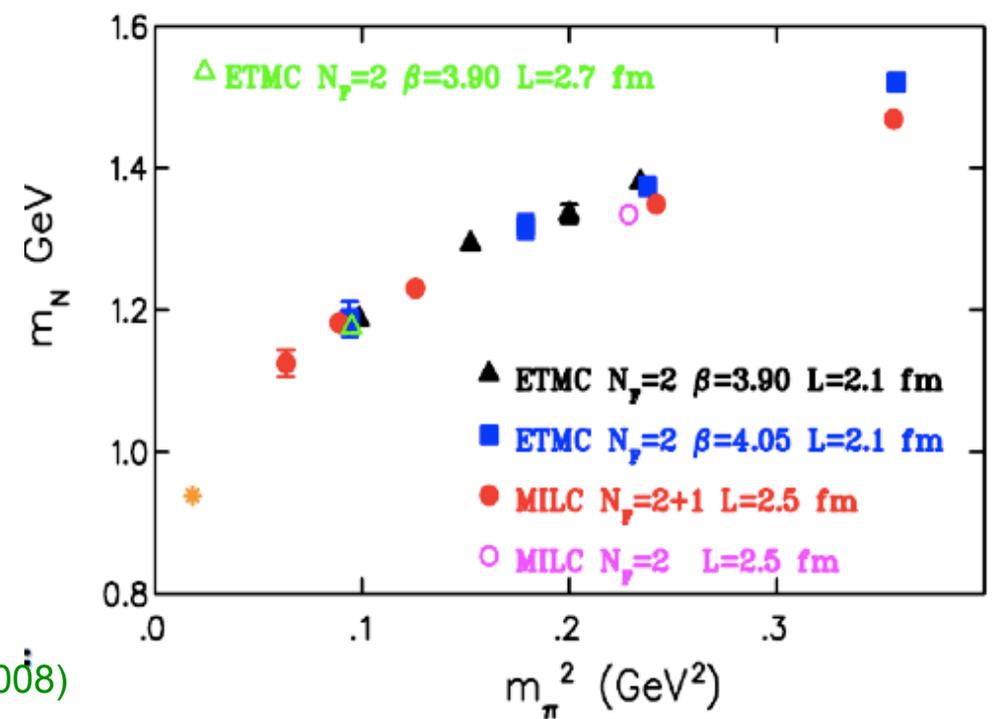
Résultats. Spectre des hadrons

Lorsque l'on utilise des masses de quarks (donc de pions) trop grandes

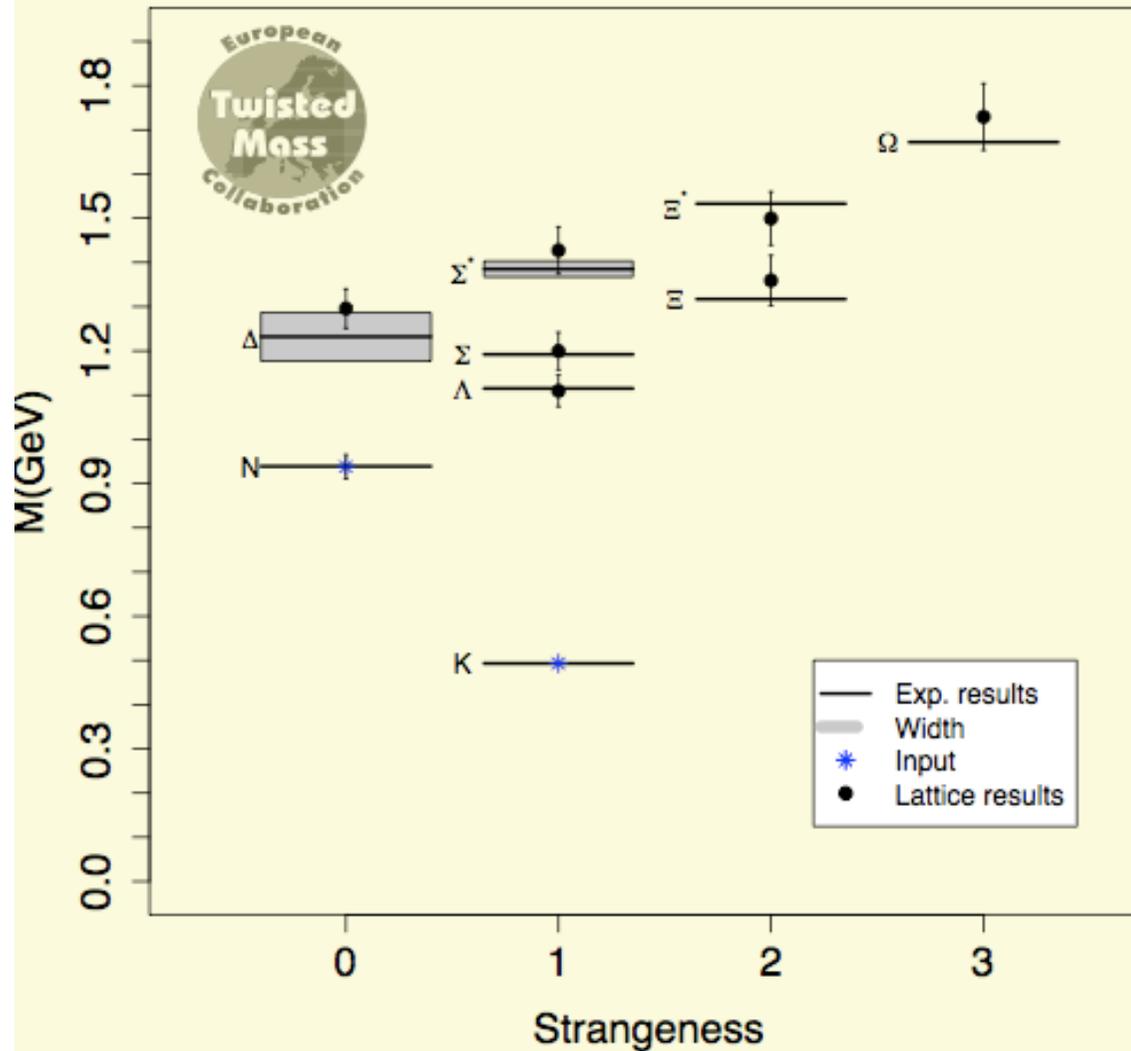
1. Calculer M pour différents m_π $aM_{eff}(t) = \log \frac{C(t)}{C(t+1)}$



2. Extrapoler M à la valeur m_π physique
 Procédure délicate (Sym. chiral)
 Domine les erreurs actuelles



Baryon Spectrum $N_F = 2$

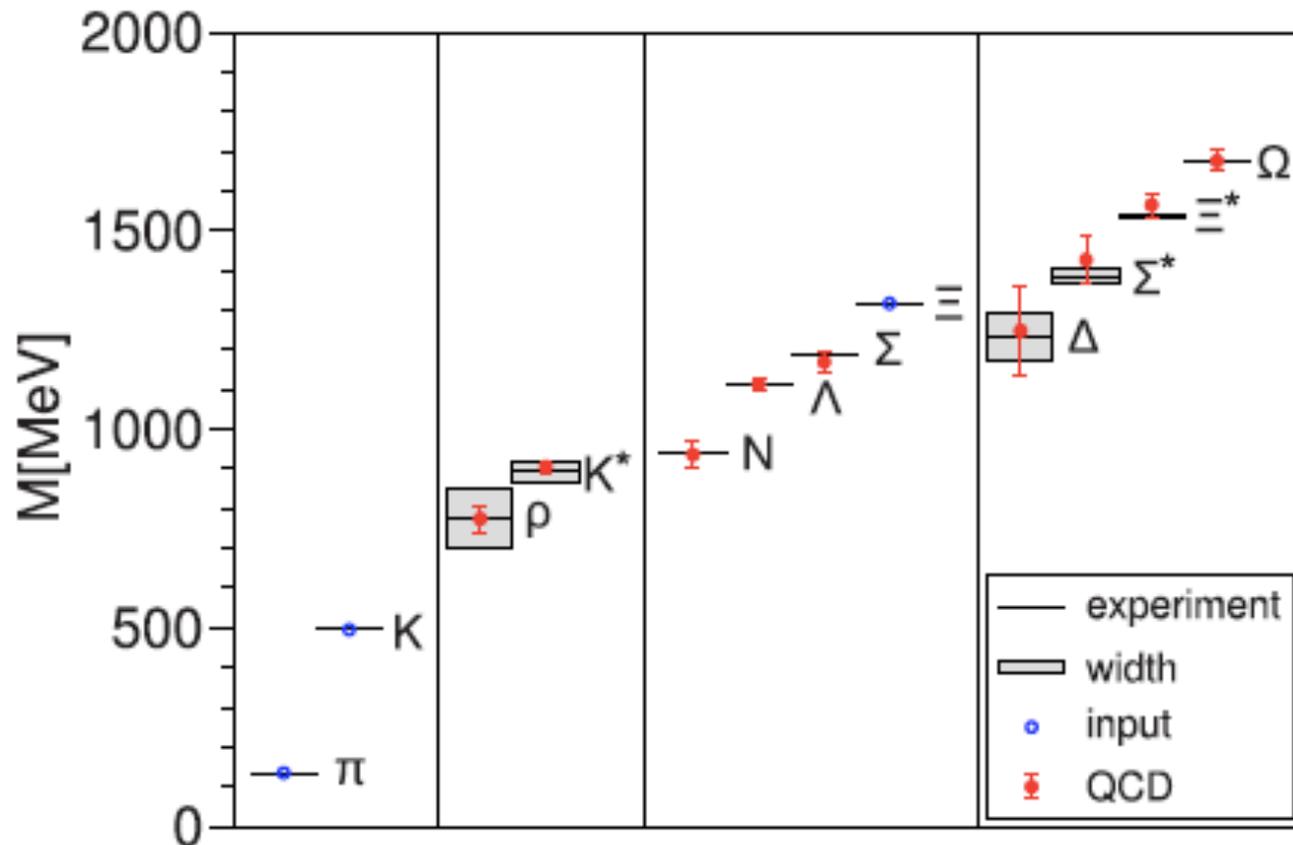


ETMC, Phys. Rev. D (2009)

Actuellement, seul **deux groupes** au monde arrivent à faire des simulations LQCD avec **$N_f=2+1$** saveurs dans la « mer » - u,d,s - et les **masses physiques des q**:

PACS-CS: Japon

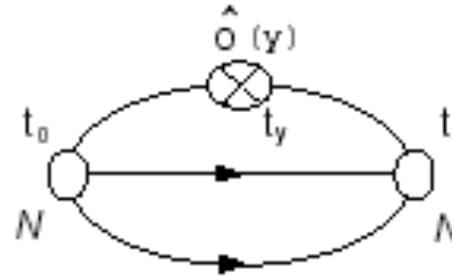
BMW: Budapest-Marseille-Wuppertal



Résultats. Fonctions de structure

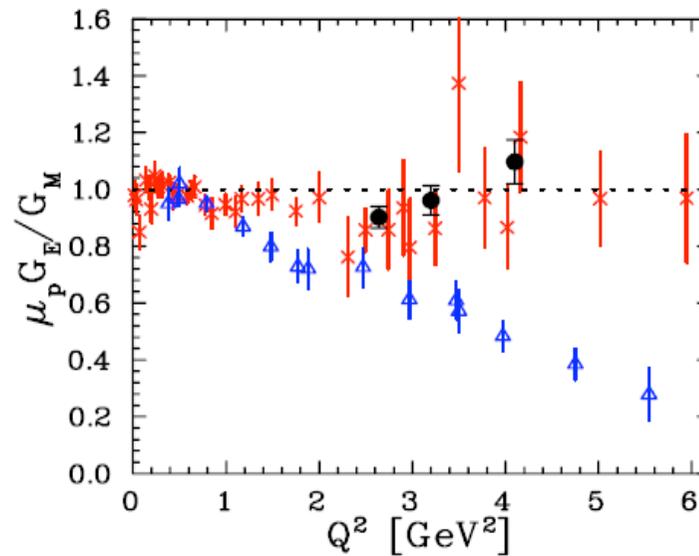
- Facteurs de Forme e.m.

Il faut introduire un couplage à “mi chemin” de la propagation (F. de Green à 3 points)

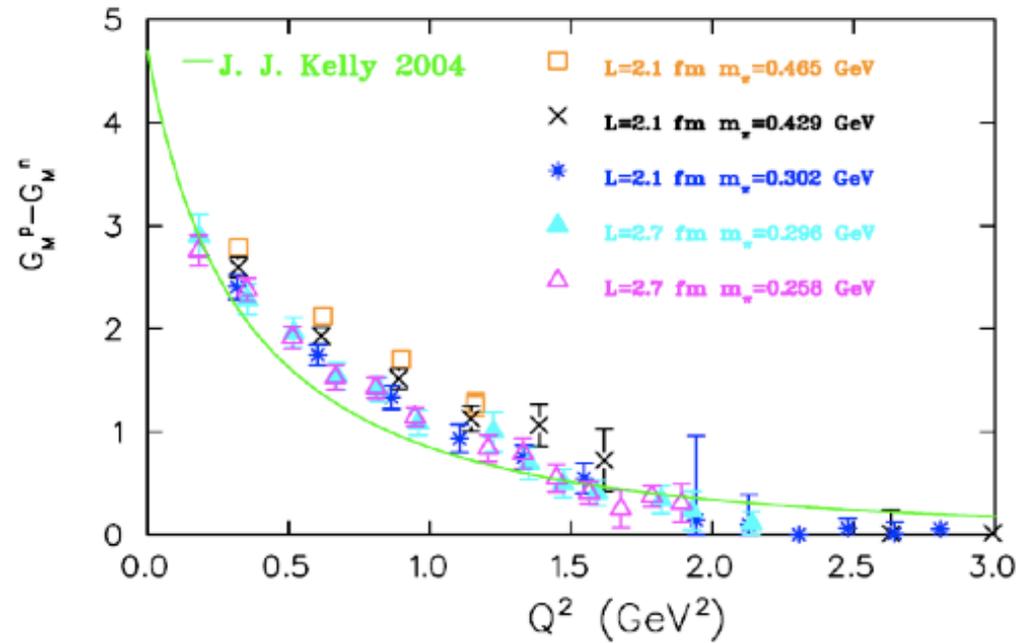
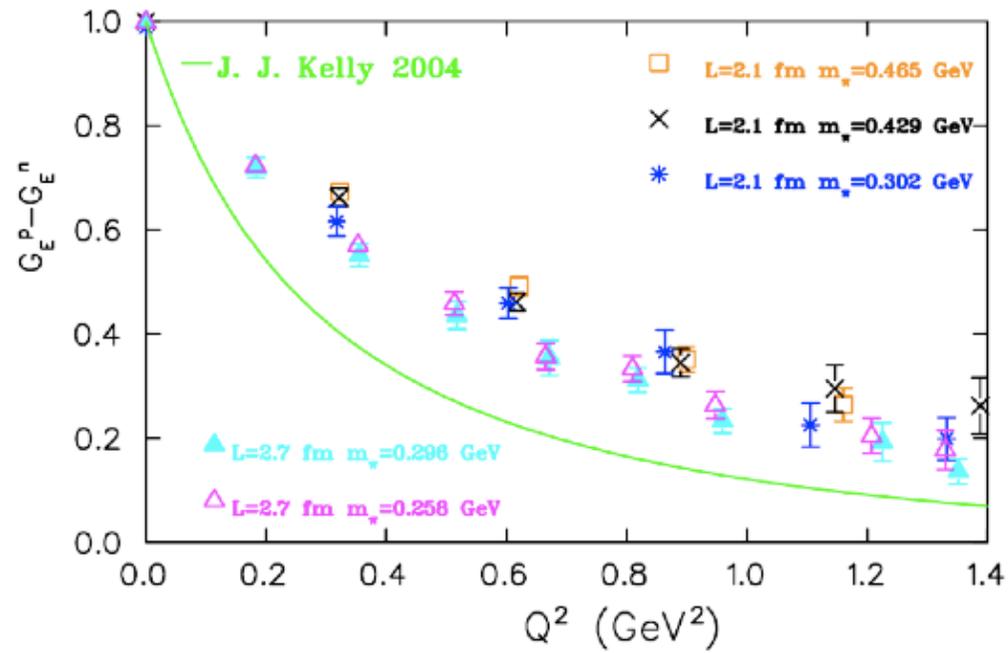


$$C_{ab}^{\mu}(x, y) = \langle 0 | N_a(x) q(y) \gamma^{\mu} q(y) \bar{N}_b(0) | 0 \rangle = \bar{u}(p', s') \left\{ F_1(q^2) \gamma^{\mu} + F_2(q^2) \frac{i \sigma^{\mu\nu} q^{\nu}}{2M_N} \right\} u(p, s)$$

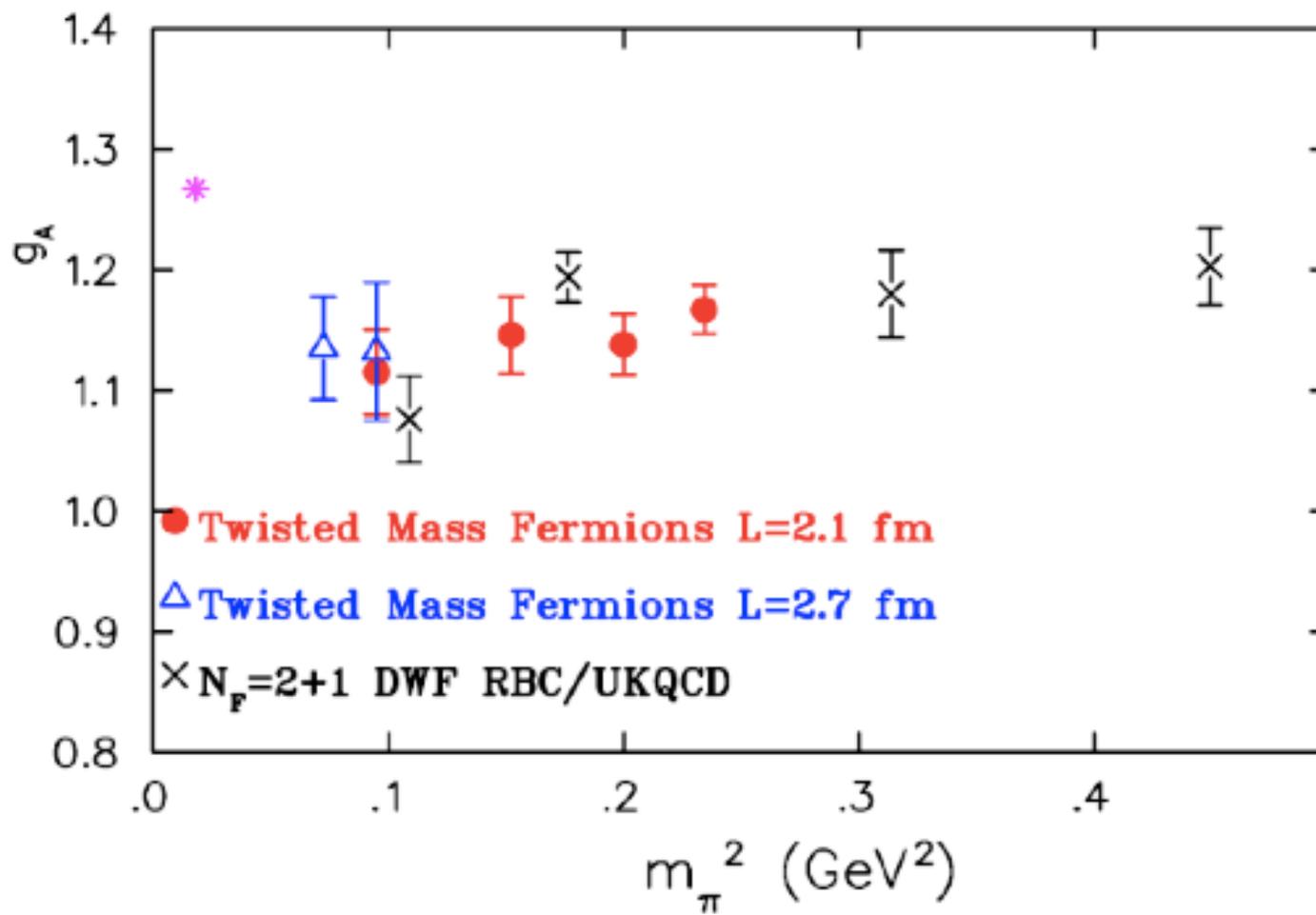
JLab



- Generalized Form Factors (PDF et GPD)
- Facteurs de forme étrange

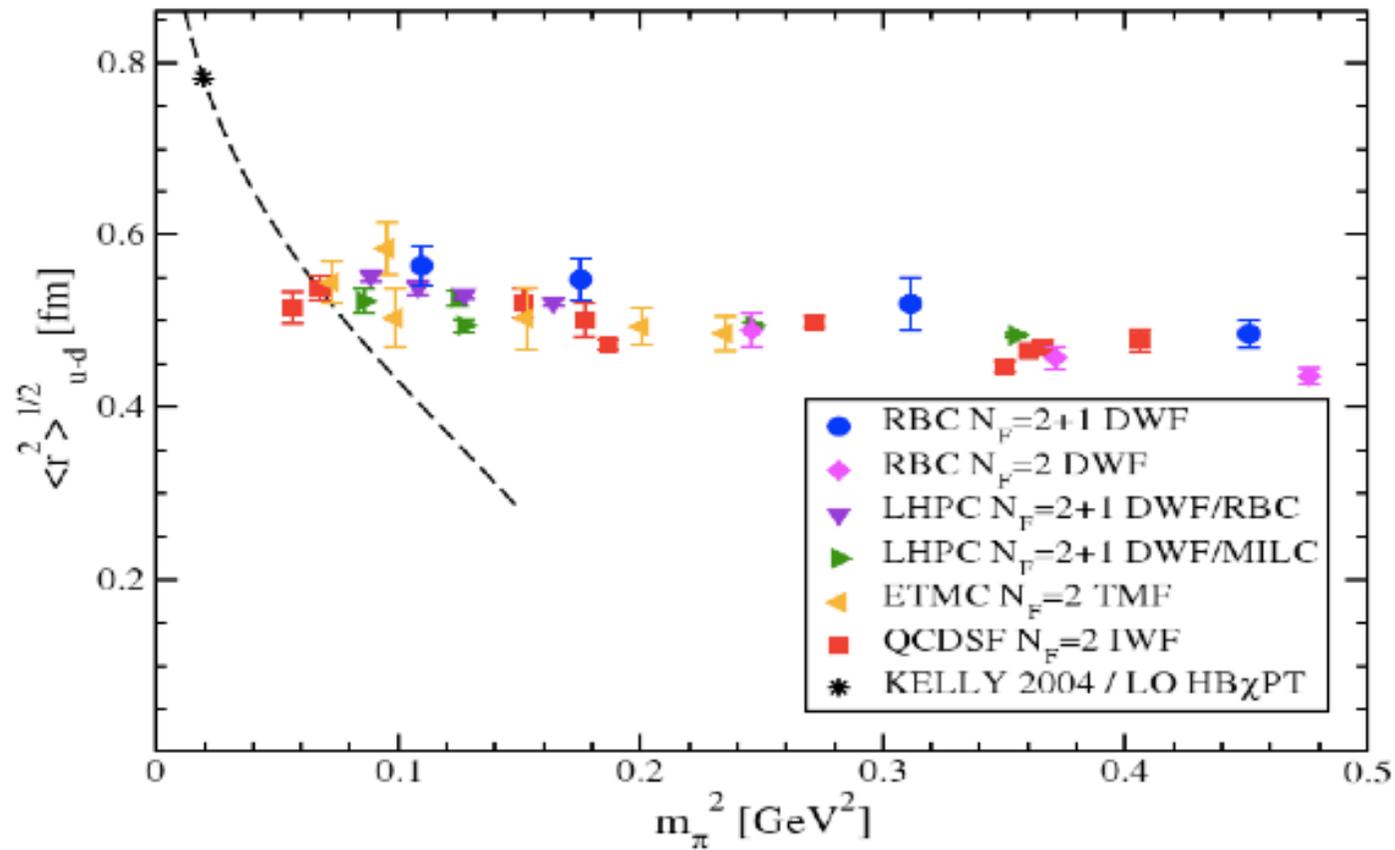


C. Alexandrou et al, Lattice 09 (PoS 2009)



Peut être que la nouvelle physique se trouve ailleurs...

$$\langle r^2 \rangle = \frac{-6}{G_E(0)} \frac{dG_E(Q^2)}{dQ^2} \Big|_{Q^2=0}$$



Résultats. Physique des saveurs

Etude des désintégrations:

- Léptoniques $D \rightarrow l \nu_l$ avec $l=e,\mu,\tau$
- Sémiléptoniques $D \rightarrow \pi l \nu_l$ avec $l=e,\mu,\tau$

Principale motivation: Tester le Modèle Standard (matrice CKM)

Activité expérimentale

CLEOC

BaBar Stanford

BELLE Japon

LHCb CERN

qui n'est pas prête de s'arrêter dans les années qui viennent

$$\frac{d\Gamma}{dq^2}(D \rightarrow \pi l \nu) \sim |V_{cs}|^2 F_+(q^2)$$

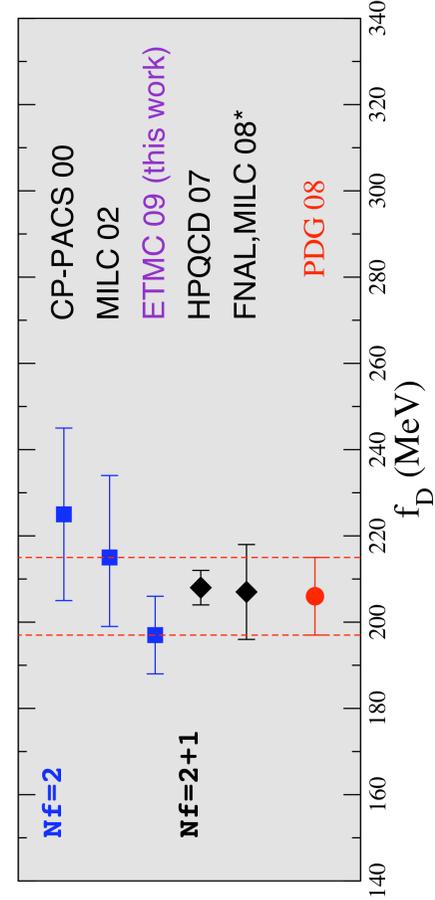
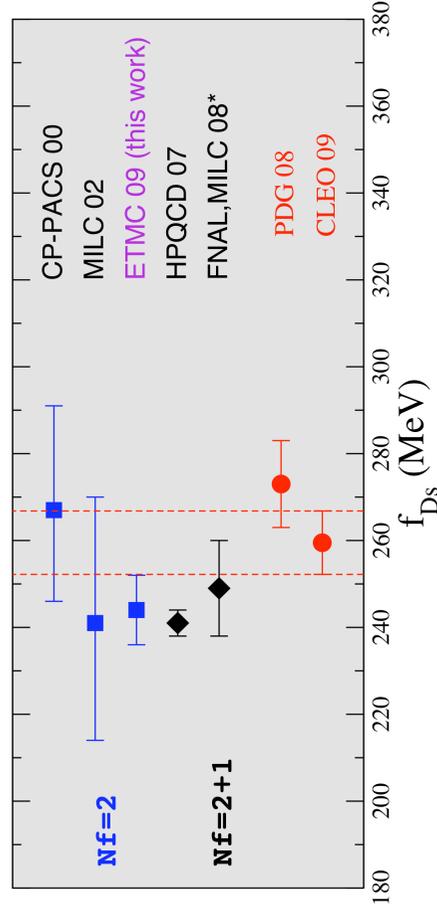
On mesure les **largeurs**. On peut en déduire qqchose (CKM) **ssi** on calcule les **F's**

Les erreurs sur **V** sont dominées par les « mauvais calculs des **F's** »

La balle est tantôt dans le camp des expérimentateurs, tantôt dans celui des théoriciens

Decay constants leptoniques du D(cd) et D_s(cs)

B. Blossier et al, JHEP 0907:043,2009



$$\Gamma_{exp}(D \rightarrow l\nu) = Kine |V_{cu}|^2 f_D^2$$

$$f_D = \frac{\langle D | A_0 | 0 \rangle}{M_D}$$

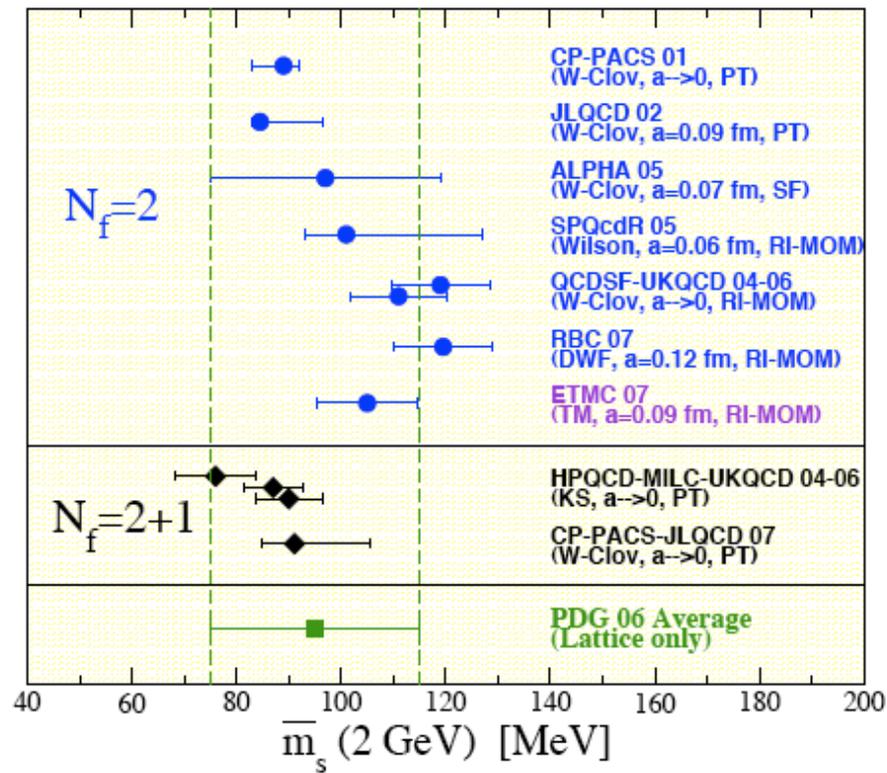
$$\Gamma_{exp}(D_s \rightarrow l\nu) = Kine |V_{cs}|^2 f_{D_s}^2$$

$$f_{D_s} = \frac{\langle D_s | A_0 | 0 \rangle}{M_{D_s}}$$

Calcul des masses des quarks

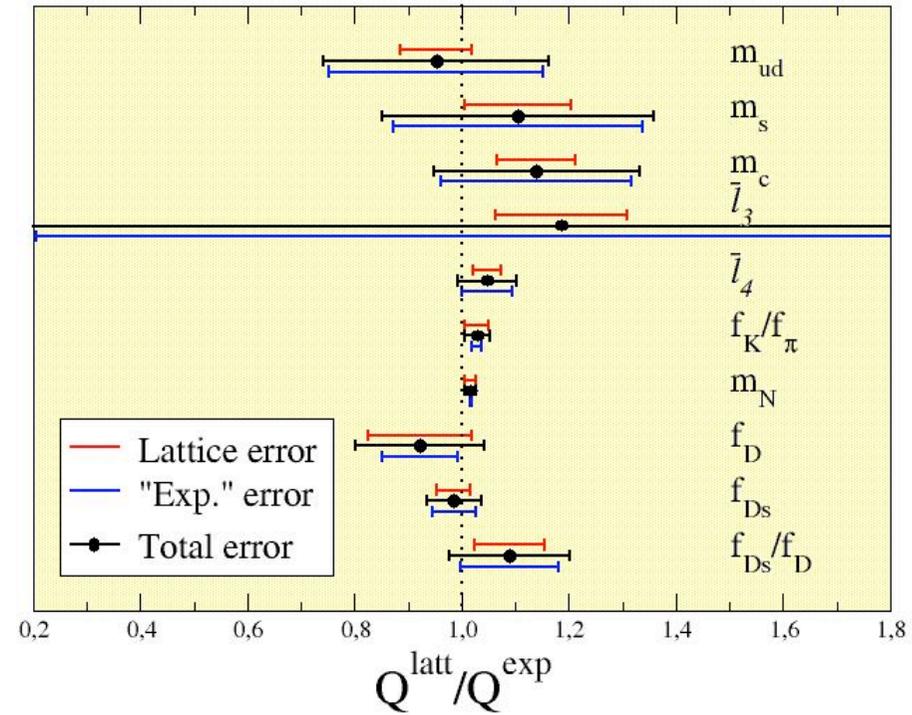
$$m_{ud}^{\overline{\text{MS}}}(2 \text{ GeV}) = 3.85 \pm 0.12 \pm 0.40 \text{ MeV}$$

$$m_s^{\overline{\text{MS}}}(2 \text{ GeV}) = 105 \pm 3 \pm 9 \text{ MeV}$$



B. Blossier, Ph. Boucaud, M. Papinutto et al,

ETMC identity card



Conclusion

La France dispose actuellement des moyens informatiques de tout premier ordre pour le Calcul Scientifique.

Pilotés par GENCI (IDRIS, CINES, CCRT) et bien insérés dans PRACE au niveau européen

La communauté de “QCD sur réseau” est une grosse utilisatrice de ces machines, qu’elle a contribué à développer (e.g. APE, BG/P)

Activité plusieurs fois enterrée, car devant faire face à des “*obstacles et vices insurmontables*”

- Fermion double counting
- Mauvaises propriétés chirales
- Impossibilité des calculs “unquenched”
- Impossibilité d’arriver aux quarks physiques (“Berlin wall”)

la LQCD vit une période de fort développement.

En France, grâce aux efforts de **O. Pène**, **P. Roudeau** (LAL 2004) plusieurs groupes (LPT Orsay, SPhN Saclay, CPT Marseille, LPM Tours, LPSC Grenoble) réalisent des travaux de premier plan, au sein des collaborations les plus réputées (ETMC, BMW).

Seule ombre: parmi les 5 thèses soutenues cette année, au plus 2 étudiants continuent dans la recherche.

