



Quelques résultats sur le nucléon en QCD sur réseau

M. Brinet, R. Baron

Collaboration ETMC (European Twisted Mass Collaboration)

<http://www-zeuthen.desy.de/~kjansen/etmc/>



- Allemagne (Berlin/Zeuthen, Hambourg, Münster)
- Chypre (Nicosie)
- Espagne (Valencia)
- France: Orsay, Saclay, Grenoble (R. Baron, Ph. Boucaud, MB, J. Carbonell, P. Guichon, Z. Liu, O. Pène)
- Grande-Bretagne (Liverpool)
- Italie (Roma I, II, III, Trento)
- Suisse (Zurich)

Mise en commun des ordinateurs dédiés à LQCD

La France a acheté en juillet 2006 2 ApeNext (toutes les deux en fonctionnement), parmi les 14 existantes (12 pour Italie)

Twisted mass fermions

Cf. exposé de R. Frezzotti

➤ Opérateur de Dirac « twisté »:

$$D_{tm} = D_W + m_0 + i\mu\gamma_5\tau_3$$
$$\begin{pmatrix} D_w + m_0 + i\mu\gamma_5 & 0 \\ 0 & D_w + m_0 - i\mu\gamma_5 \end{pmatrix}$$

- Evite les petites valeurs propres de l'opérateur de Dirac

$$(D_w D_w^\dagger + \mu^2)x = B$$

μ = masse des quarks \Rightarrow limite les valeurs propres du problème

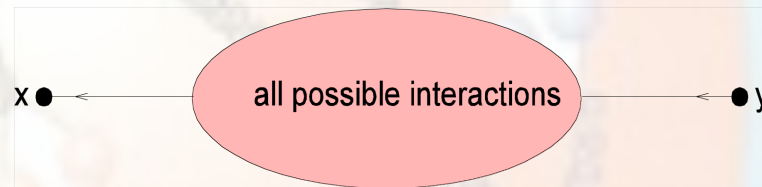
- Réduction des effets de discrétisation à l'ordre a des observables.

➤ Formulation **strictement équivalente** à la QCD :

$$\bar{\Psi}(D_w + M_0)\Psi \Leftrightarrow \bar{\Psi}D_{tm}\Psi$$

« Ingrédients »

- Simulations $N_f=2$ (u et d dégénérés, pas d'autre quark dynamique)
- Algorithme Hybrid Monte Carlo (HMC) pour générer les configurations $U_\mu(x)$ (i.e. champ de gluons)
- On calcule le propagateur $S^{cc'}_{ss'}(x, y) = \langle 0 | \psi(x) \bar{\psi}(y) | 0 \rangle$, i.e. D^{-1}_{tm} , où y (≡ « source ») est un point aléatoire



- Résultats obtenus avec les paramètres :
 - ✓ 4 masses de quarks, i.e. 4 masse de pions de ~280 à 550 MeV
 - ✓ Volume ≥ 2 fm ($L^3=24^3$, $T=48$)
 - ✓ une seule valeur de maille pour l'instant

Corrélateurs locaux et premier « nucléon » français

Champ interpolants du nucléon:

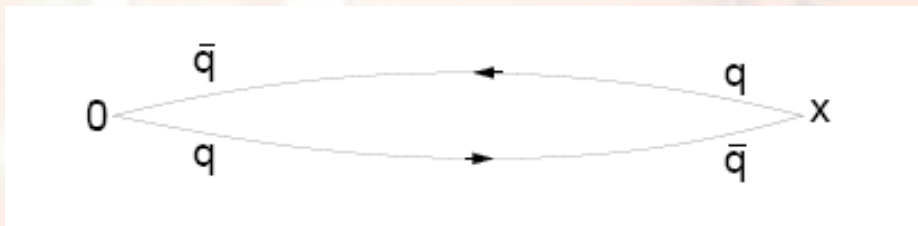
$$J^p(x) = \varepsilon^{abc} [u^{Ta}(x) C \gamma_5 d^b(x)] u^c(x)$$

$$J^n(x) = \varepsilon^{abc} [u^{Ta}(x) C \gamma_5 d^b(x)] d^c(x)$$

$$K(t) = \sum_{\vec{x}} K(x) = \sum_{\vec{x}} \langle 0 | J(x) J^+(x_0) | 0 \rangle$$

Masse obtenue en **propageant entre deux points** une “structure composite” $J(x)$ ayant les nombres quantiques de l'état que l'on cherche

e.g. si $J^\pi=0^+$ $J(x) = \bar{\Psi}(x)\Psi(x)$

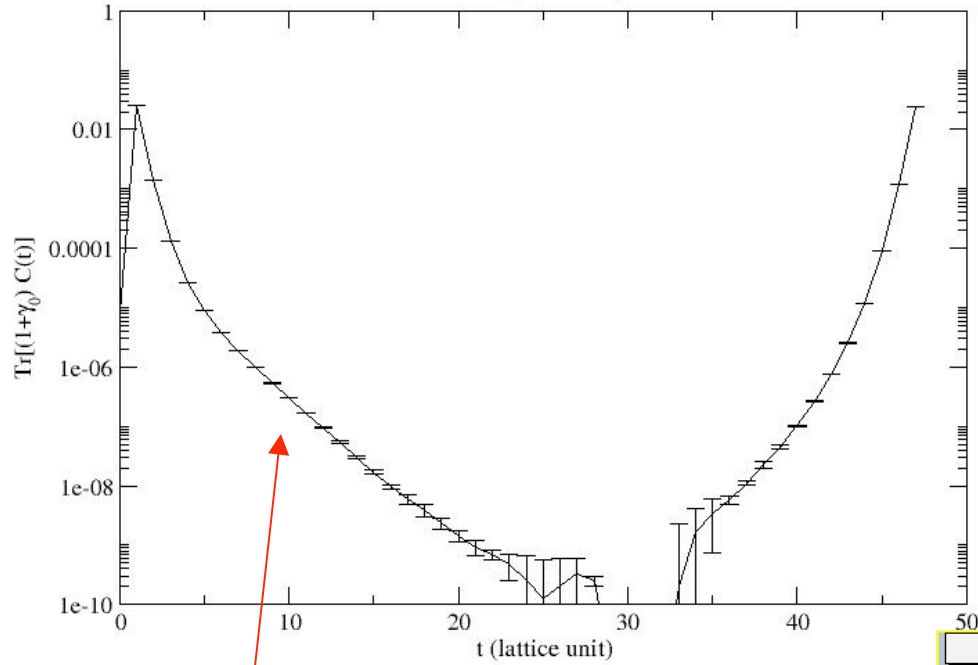


$$K(x) = \langle 0 | J(0) J^+(x) | 0 \rangle$$

On projette sur les états de parité voulue:

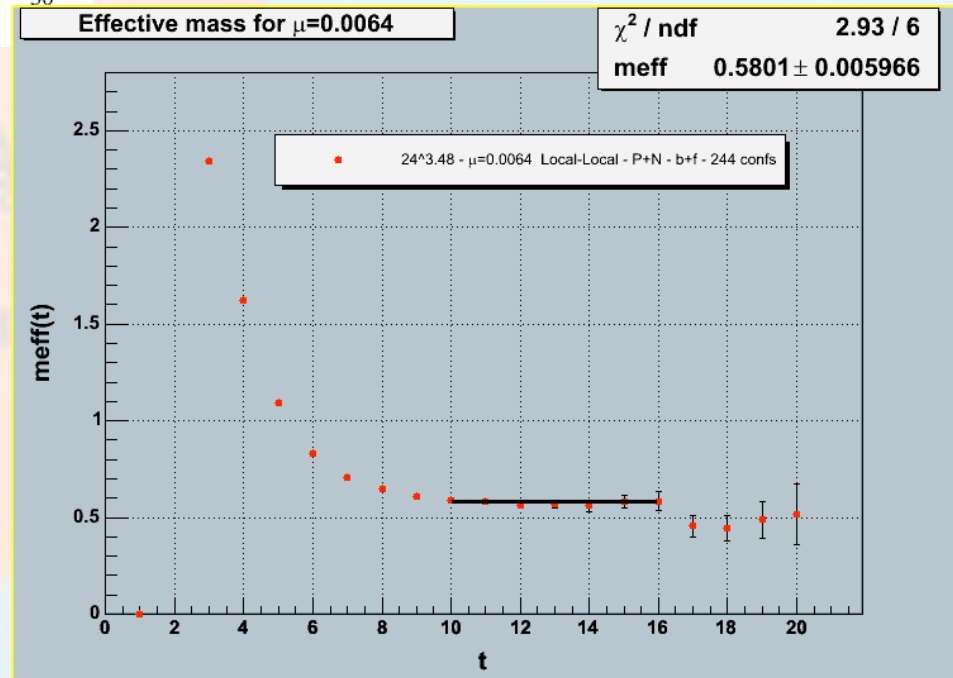
$$C^\pm(t) = \text{Tr} \left[\frac{\gamma_0 \pm 1}{2} K(t) \right]$$

Proton correlator
 $24^3.48 - a\mu=0.064 - \beta=3.9$

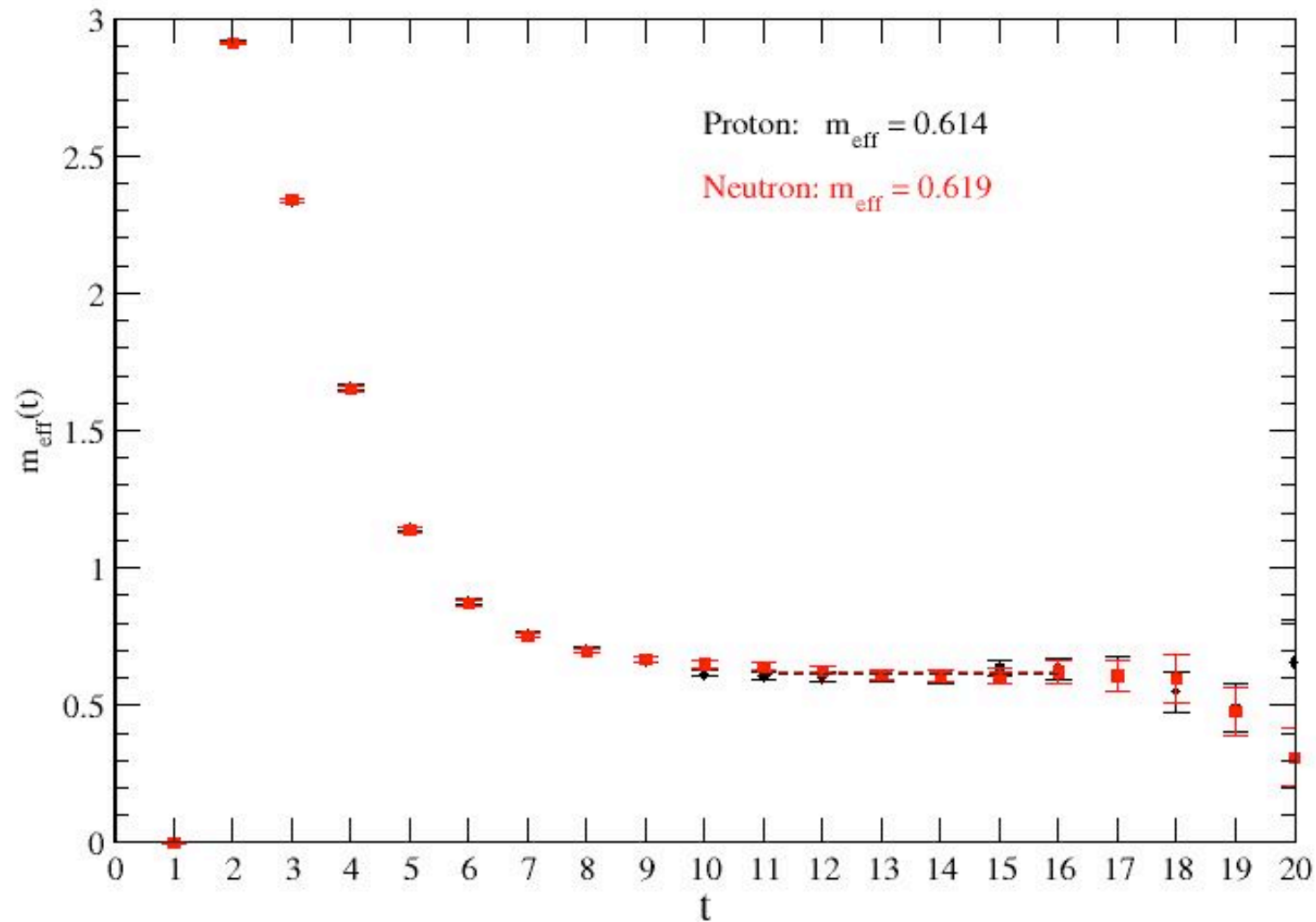


μ	m_π (MeV)
0.004	≈ 280
0.0064	≈ 350
0.0085	≈ 430
0.01	≈ 510

m_{eff}



Proton and Neutron effective mass vs time

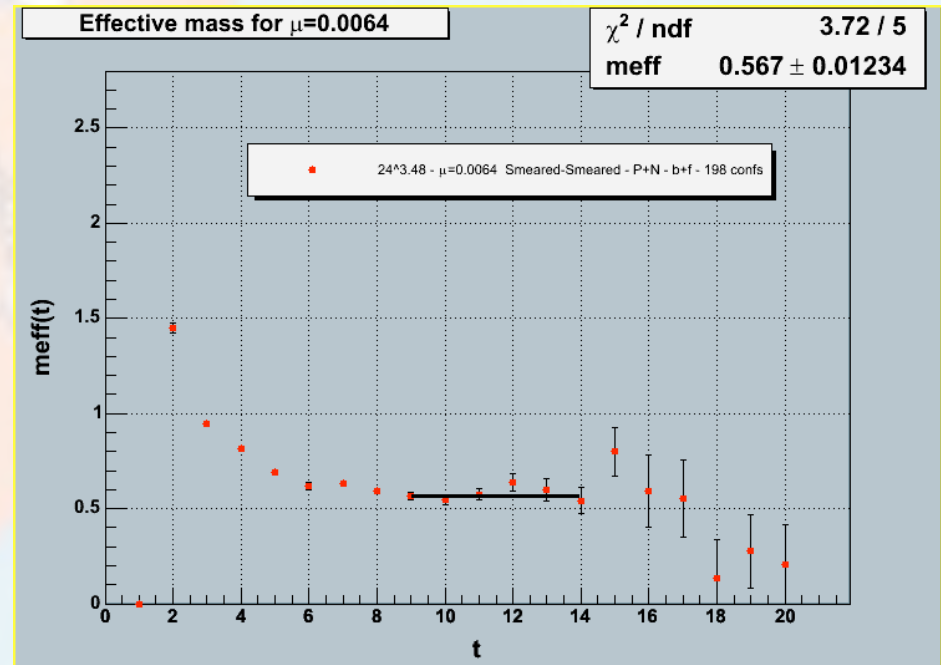
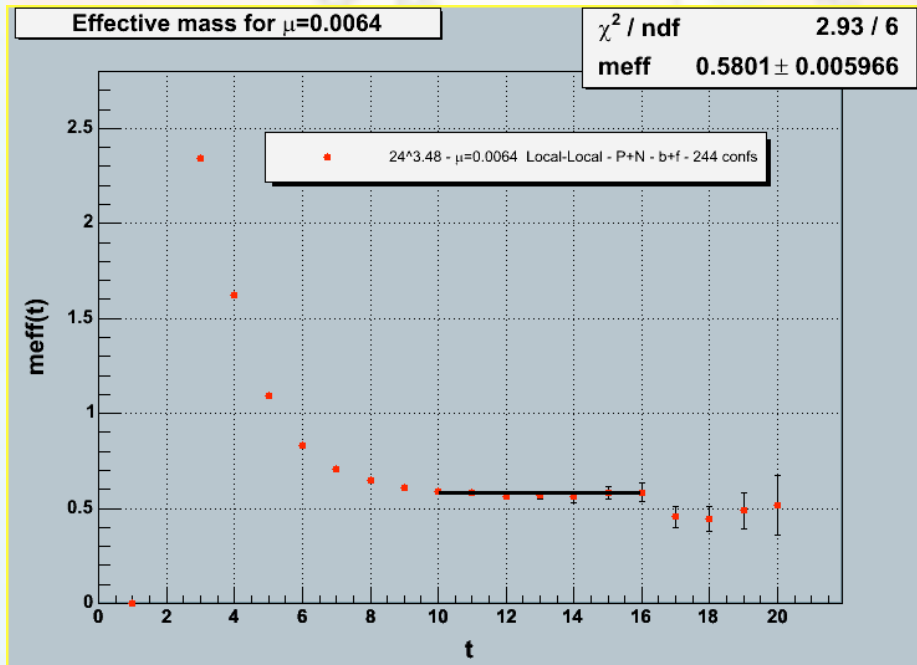
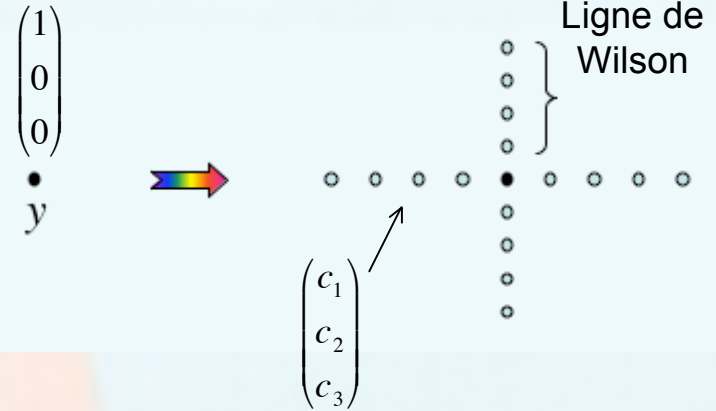
 $24^3 48$ - $\beta=3.9$ - $\mu=0.01$ - 173 confs - local

Raffinements: techniques de « smearing »

Pour moyenner les fluctuations à petite distance (μ spatial uniquement) :

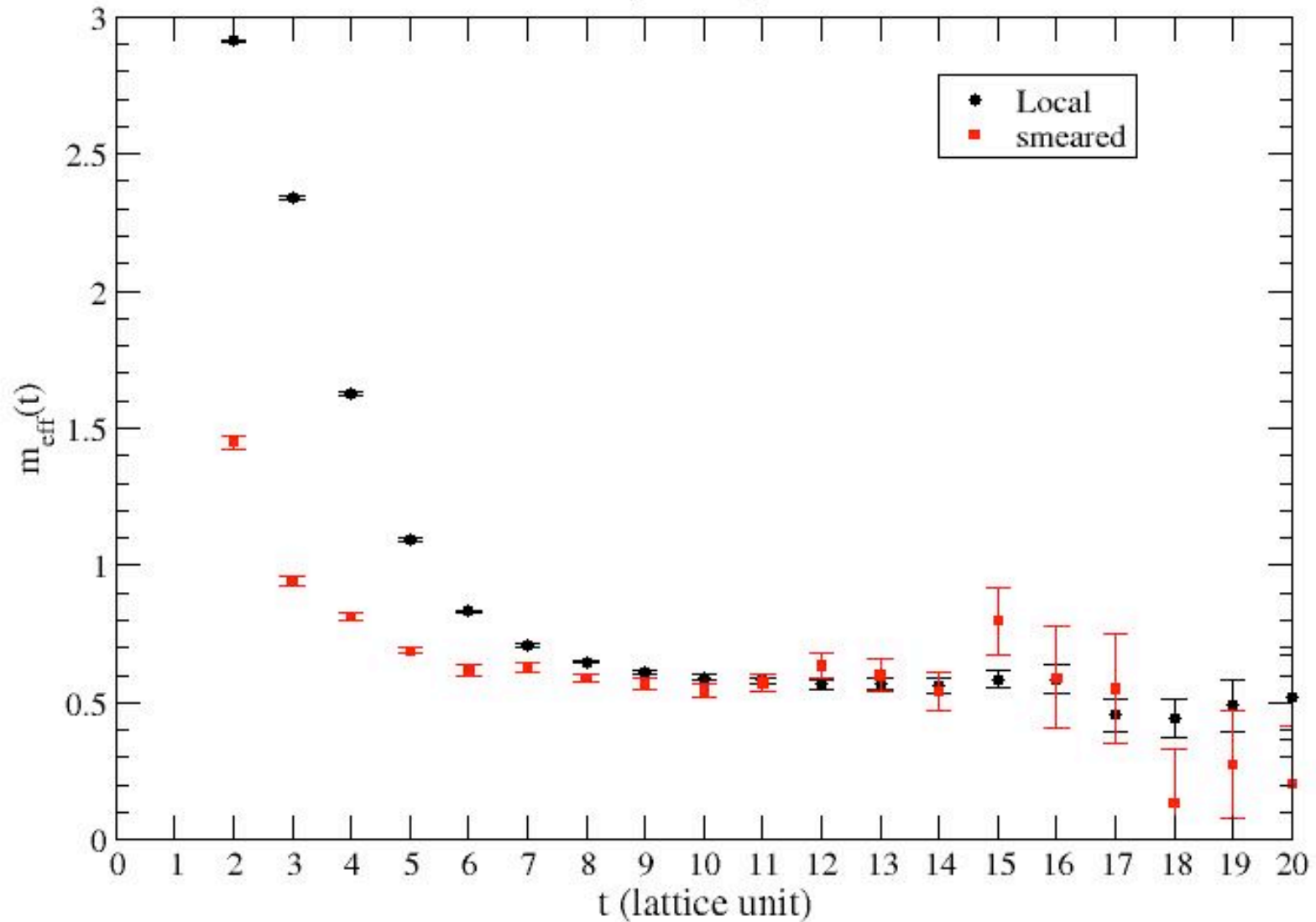
$$\tilde{U}_\mu(x) = \nu \uparrow U_\mu(x) + \left[\begin{array}{|c|} \hline \\ \hline \end{array} \right] + \left[\begin{array}{|c|} \hline \\ \hline \end{array} \right] + \left[\begin{array}{|c|} \hline \\ \hline \end{array} \right]$$

$$Source(y) = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \Rightarrow \sum_\mu \prod_{x \in Wl_\mu} \tilde{U}_\mu(y) \cdot Source(y)$$



Effective mass vs time - Comparison local/smeared results

24^3 .48 - $\beta = 3.9$ - $\mu = 0.0064$



Extrapolation chirale

Valenzquark

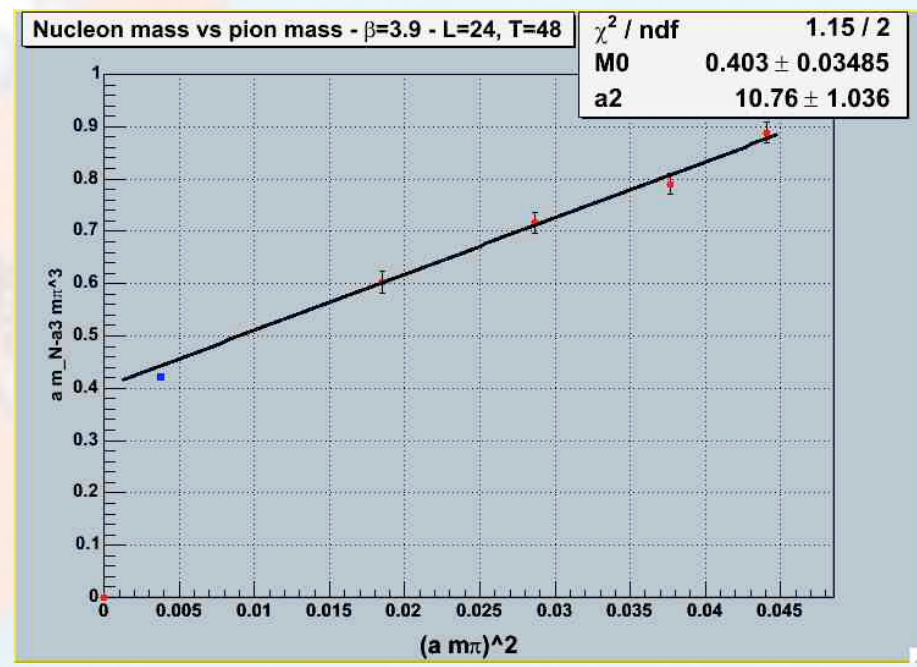
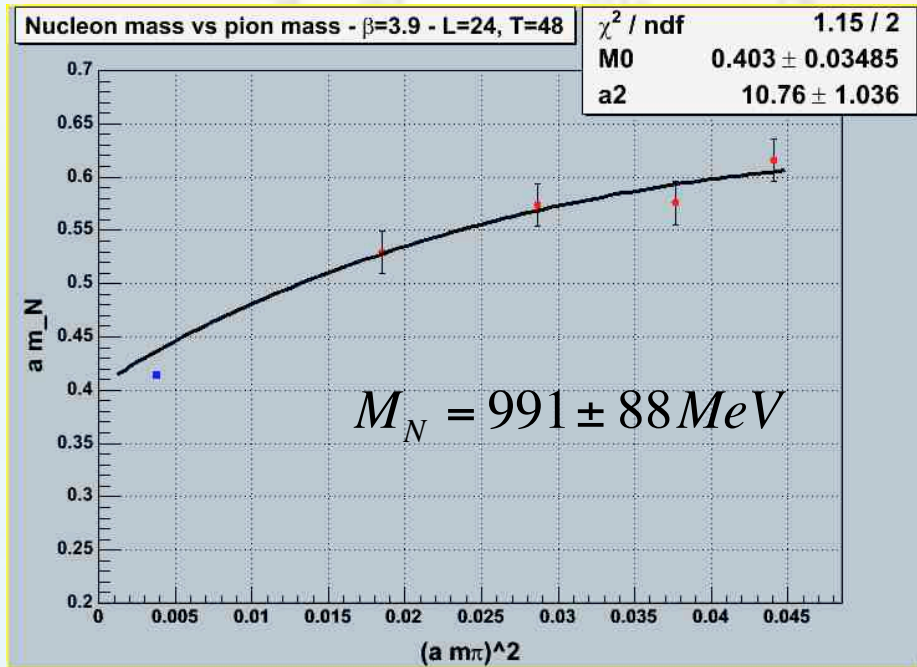
Pour de faibles masses du pion:

$$\text{QCD} \Rightarrow M_N = M_0 + a_2 m_\pi^2 + a_3 m_\pi^3 + \dots$$

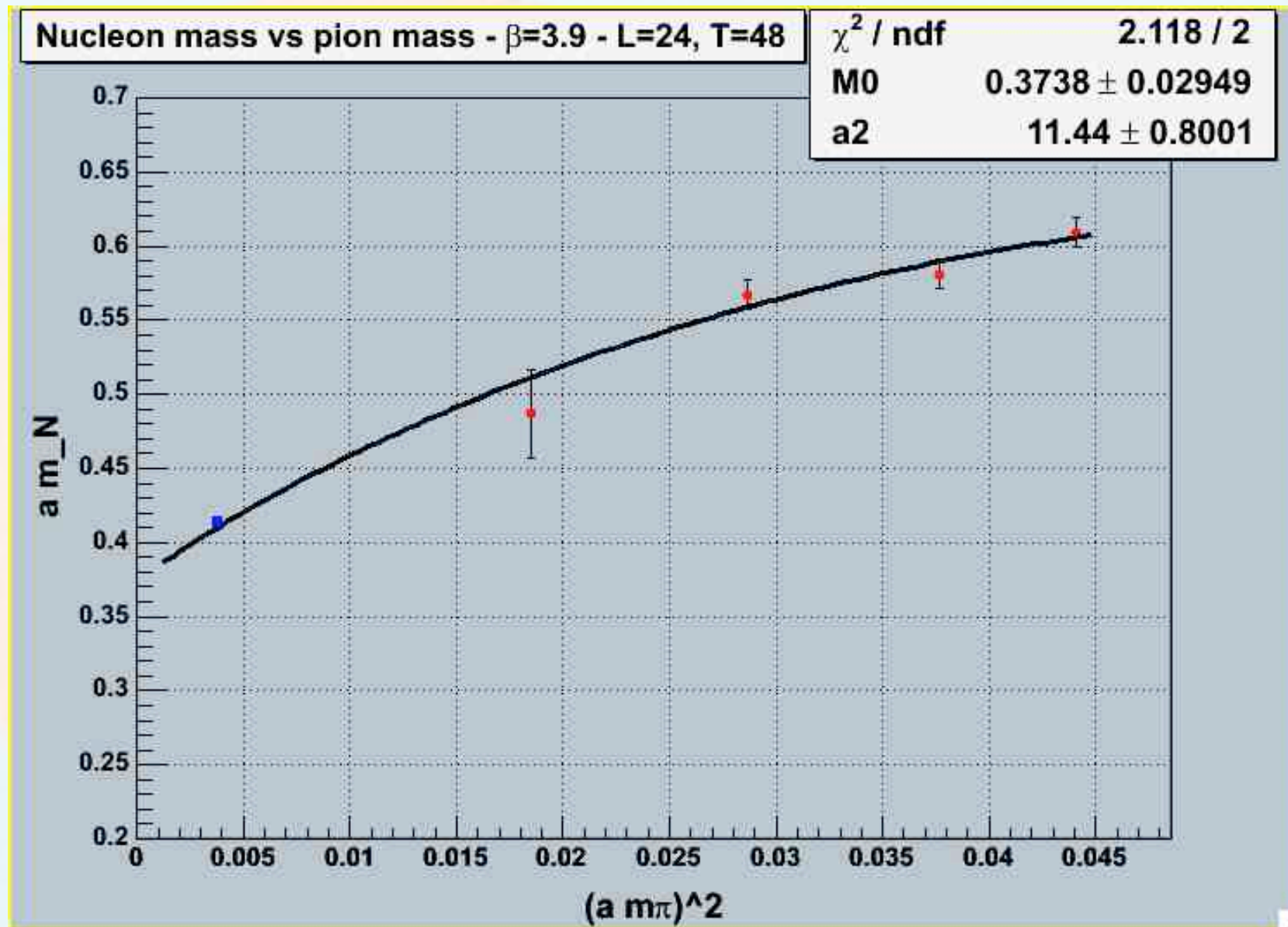
Cf. Exposé de
V. Bernard

Connu : $a_3 = -\frac{3g_A^2}{32\pi f_\pi^2}$

Sans smearing :

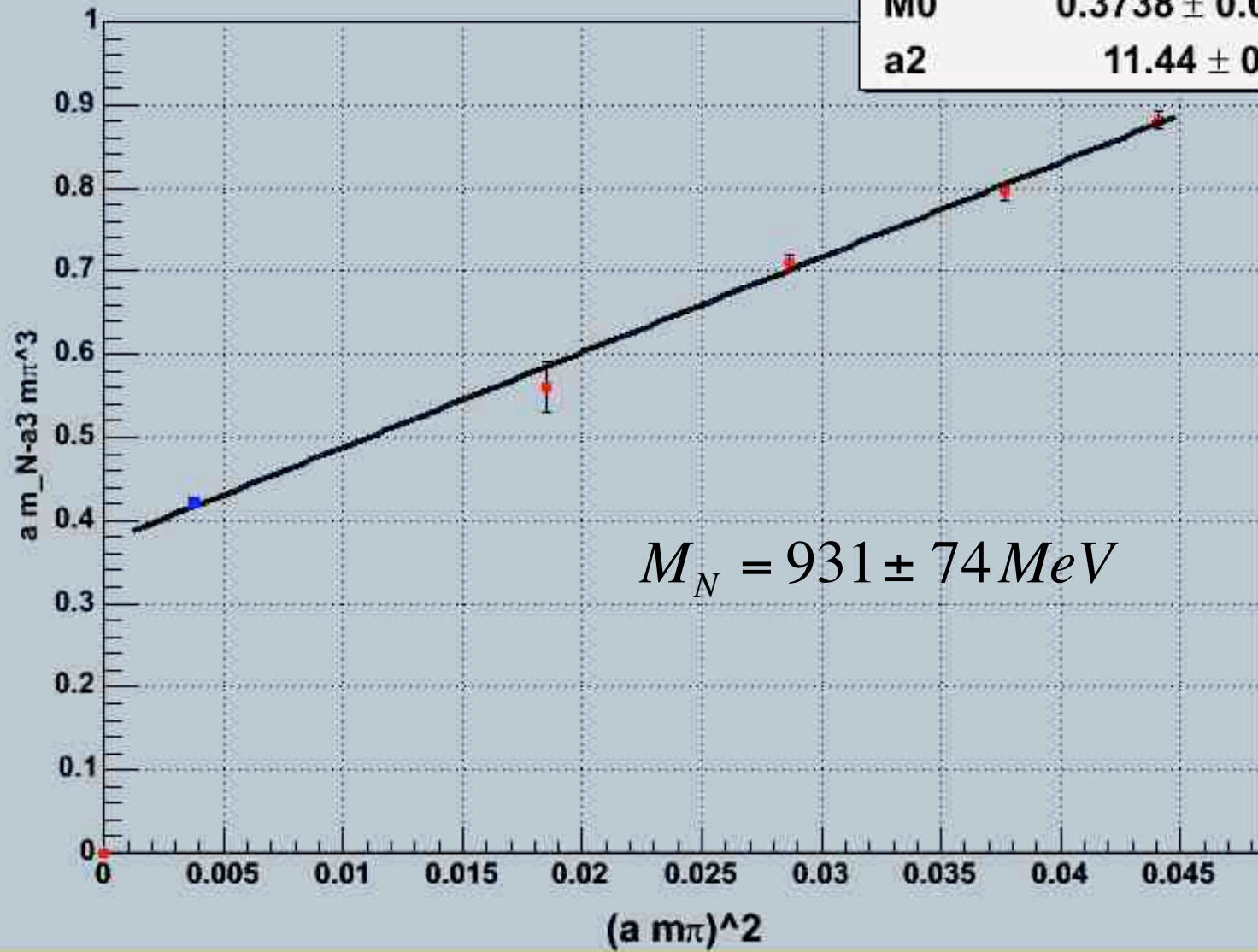


Avec smearing :



Nucleon mass vs pion mass - $\beta=3.9$ - $L=24$, $T=48$

χ^2 / ndf	2.118 / 2
M0	0.3738 ± 0.02949
a2	11.44 ± 0.8001



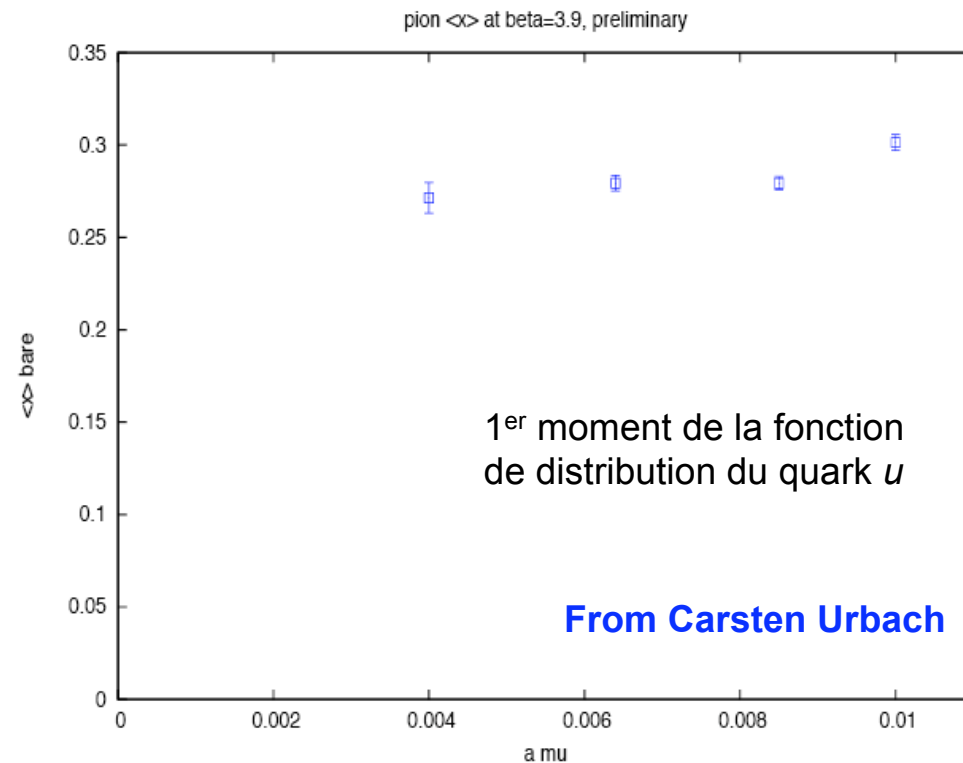
Pour la suite....:

1. Fonctions de distribution (PDF)

$$M_n(f) = \langle x^n \rangle = \int_0^1 x^n f(x) dx \quad \Rightarrow \quad \langle x \rangle \propto \langle \pi, \vec{p} = \vec{0} | O | \pi, \vec{p} = \vec{0} \rangle$$

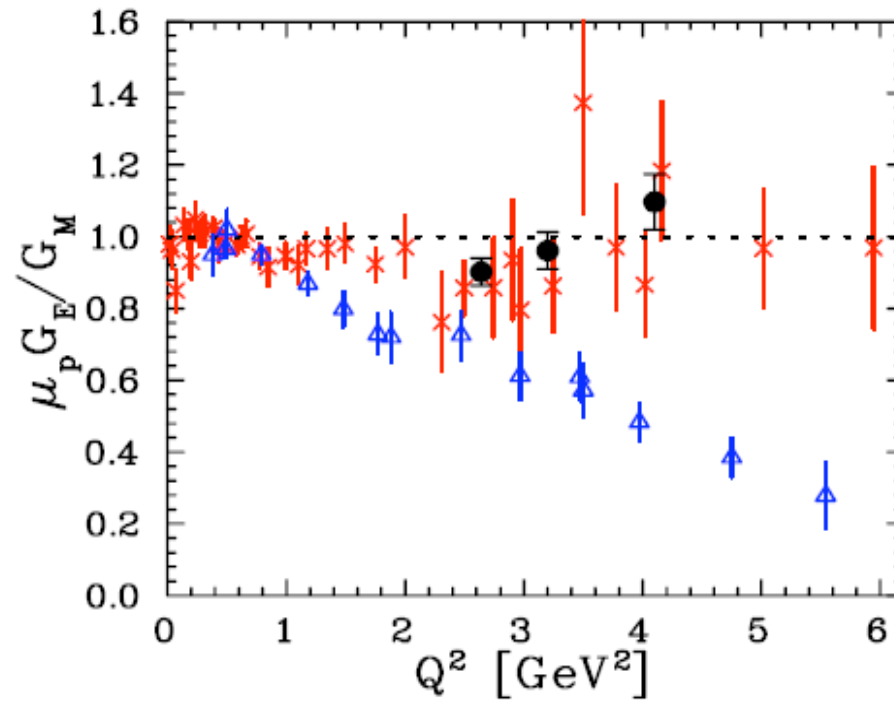
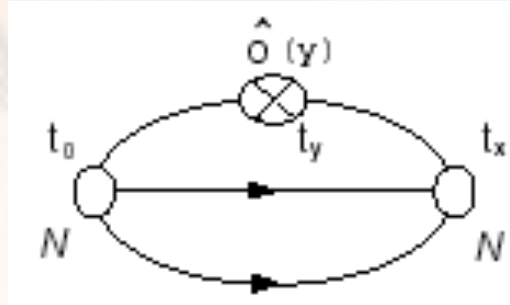
$\beta = 3.9$, $a\mu = 0.004, 0.0064, 0.0085, 0.01$, $24^3 \times 48$.

Bare pion $\langle x \rangle$



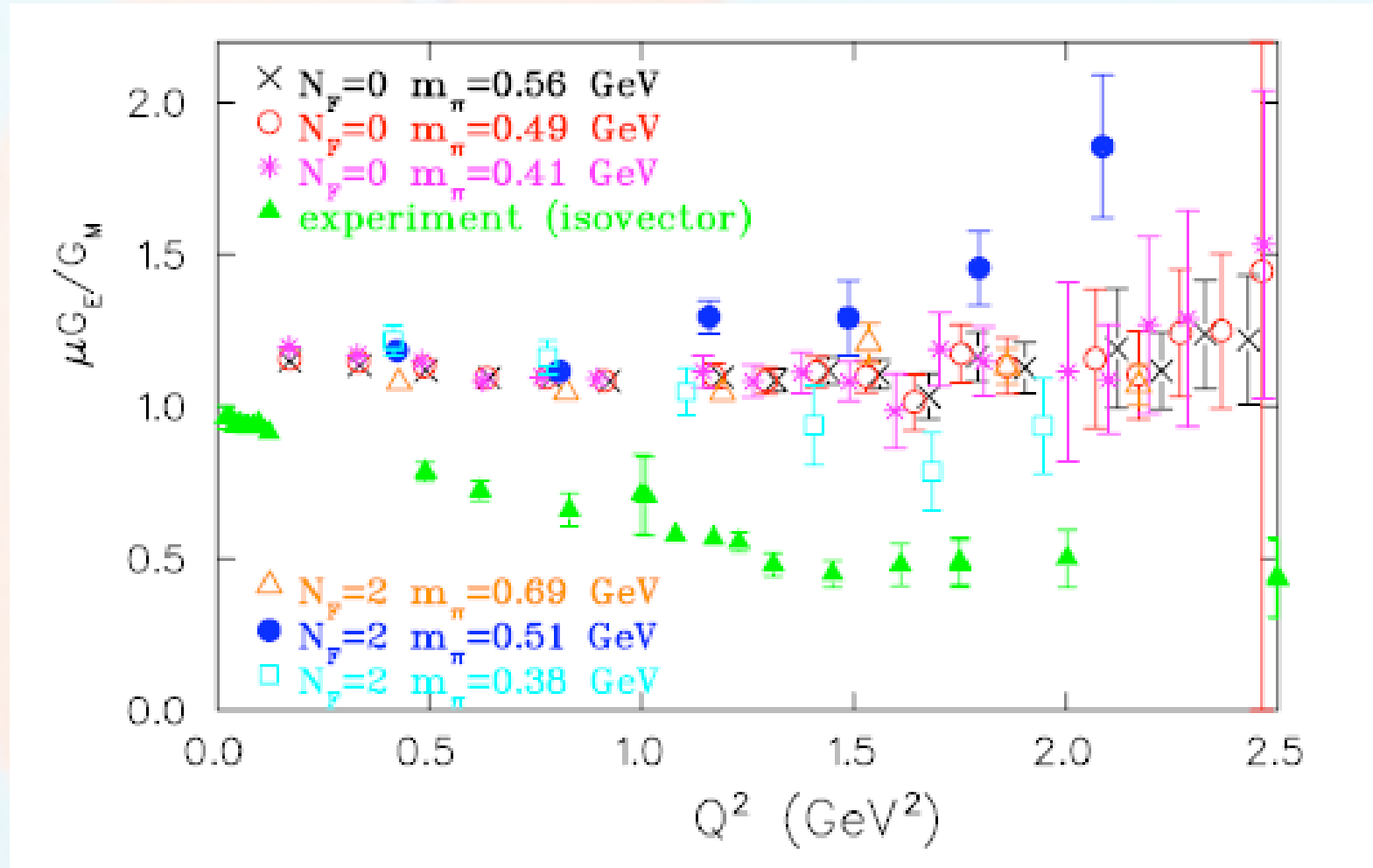
2. Facteurs de forme

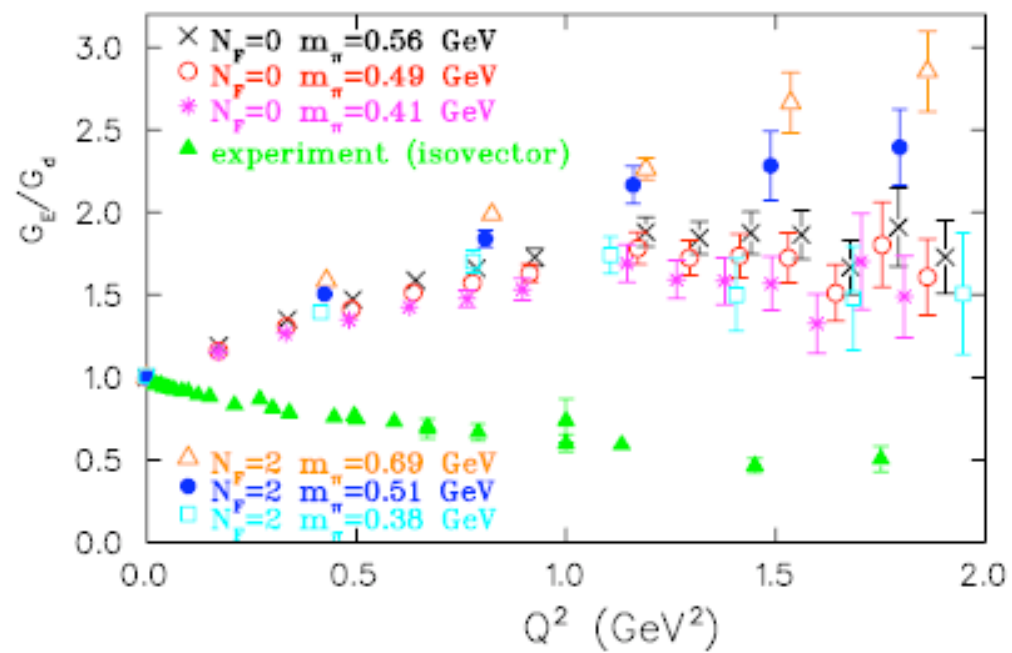
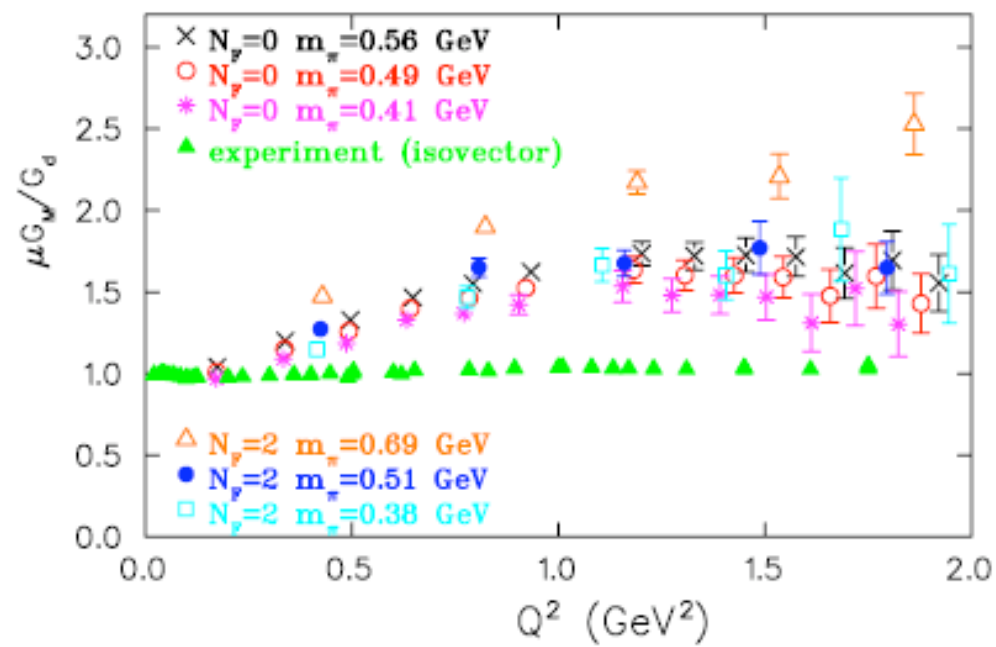
Il faut introduire un couplage à “mi chemin” (F. de Green à 3 points)



SLAC
Jlab

Le résultat le plus récent: C. Alexandrou et al. hep-latt/0605017



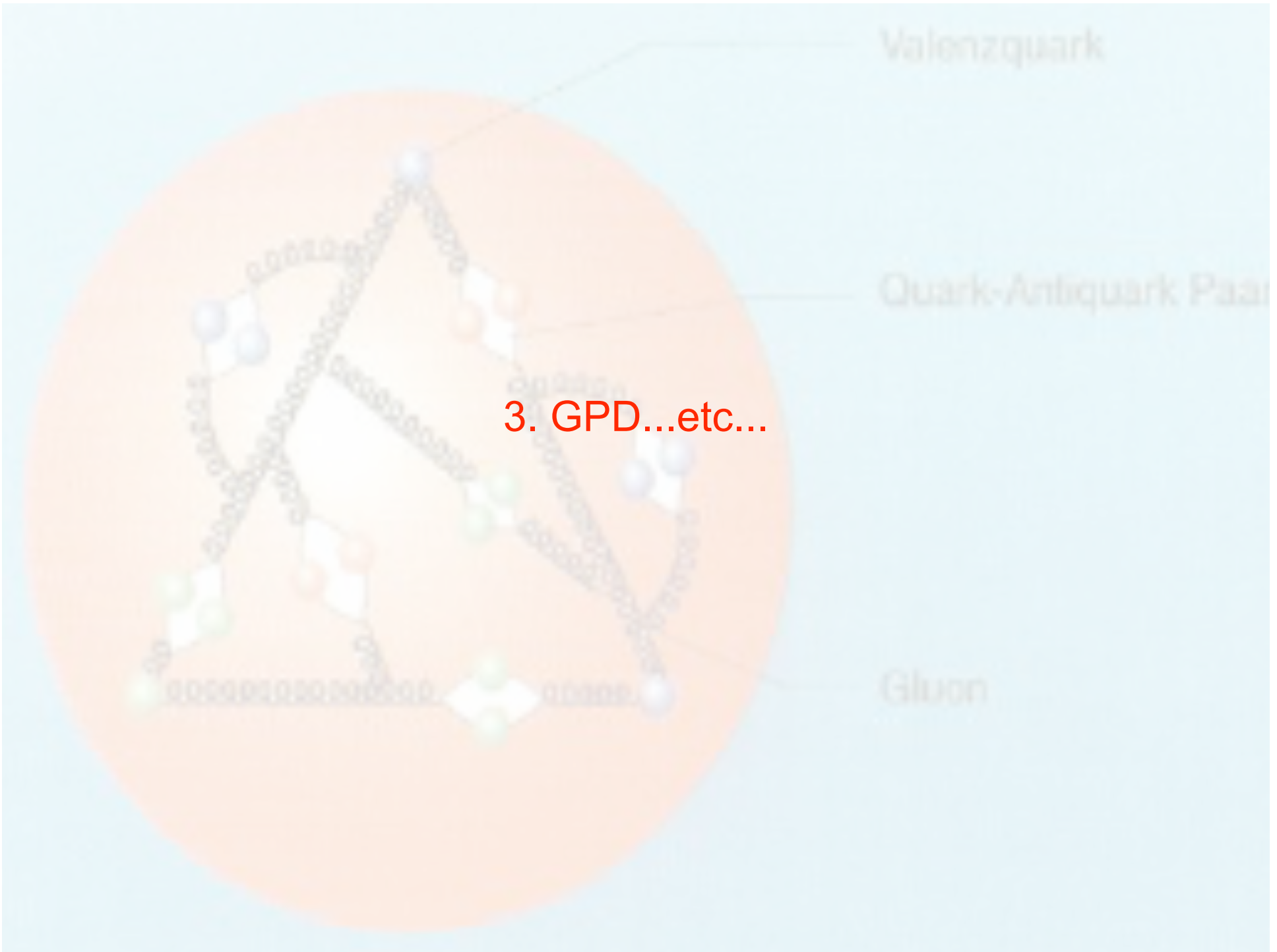


Valenzquark

Quark-Antiquark Paar

Glucun

3. GPD...etc...



Conclusion et perspectives

- Observables (masse, facteur de forme, PDF) du nucléon en cours d'obtention avec TM, avec des valeurs de m_π proches de la limite chirale.
- Résultats obtenus avec les masses « twistées » prometteurs:
 - valeurs de m_π de plus en plus proches de la valeur physique
 - ...
- Collaboration ETMC très active. Plusieurs milliers de configurations produites (plusieurs masses de quark, volumes, mailles...)
- Les ApeNext françaises ont été déterminantes pour permettre aux français d'entrer dans cette collaboration
- Foisonnement d'études possibles.
- Simulation 2+1+1 en préparation (s et c dynamiques)