

Résultats numériques dans le domaine non perturbatif de la QCD.

Drach Vincent

Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie, Grenoble

Journées de Rencontre Jeunes Chercheurs, Dinard
12 Décembre 2007

Table des matières

- 1 Introduction.
- 2 Spectroscopie des hadrons.
 - Masse du Nucleon et du Delta.
 - Masse de l'Octet et du Decuplet des baryons.
- 3 Propriétés et structure des Hadrons.
 - Objectif.
 - Facteurs de forme électromagnétiques.
 - Facteurs de formes faibles.
 - Moments des fonctions de distribution de parton.
- 4 Conclusion.

La QCD, théorie des interactions fortes.

On sait aujourd'hui que la QCD est la théorie des interactions fortes, que reste-t-il à comprendre ?

Physique des particules :

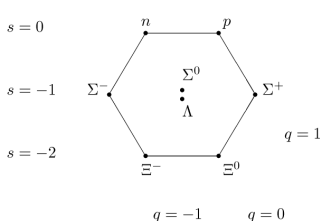
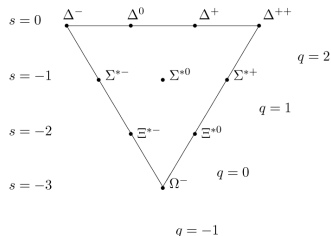
- Tester la QCD dans le domaine non perturbatif.
C'est à dire tester le modèle standard dans des expériences à basse énergie où les incertitudes hadroniques sont dominantes.

Physique nucléaire :

- Comprendre les propriétés des hadrons et des noyaux :
interaction électromagnétique et faible.

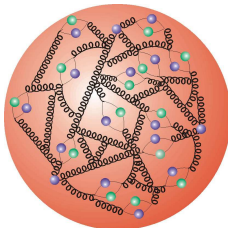
But.

- Le QCD prédit-t-elle le spectre des mesons et des baryons ?
- Permet de vérifier que les configurations de jauge ont été généré correctement.
- On cherche par exemple à déterminer la masse des baryons.

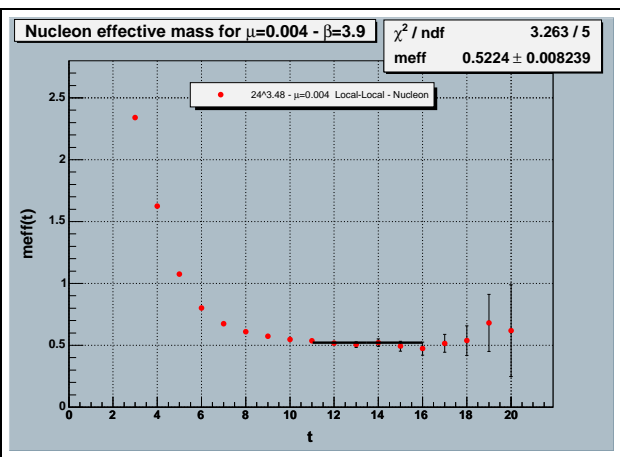
Octet des baryons
(spin 1/2)Decuplet des baryons
(spin 3/2)

Méthode.

- $M_{eff}(t)$ déterminer à partir de l'état étudié
- Plateaux \leftrightarrow masse de la particule pour une valeur de la masse du pion.
- Etude non perturbative exacte (mais numérique) de la masse des états du spectre.

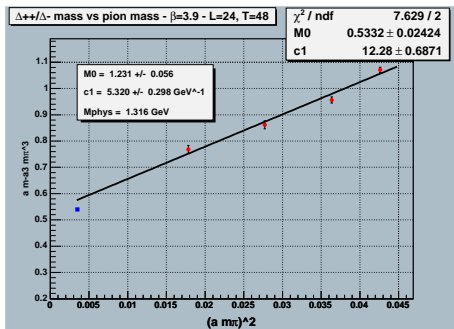
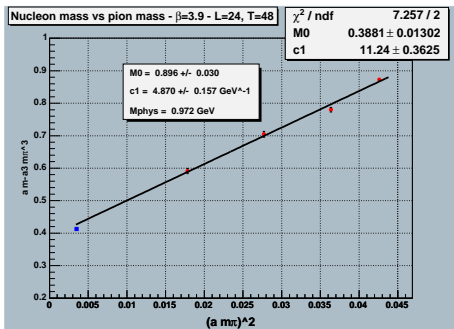


Masse Effective du proton.



- $V = 24^3 \times 32, L \sim 2.3 \text{ fm}$
- $M_\pi \sim 270 \text{ MeV}$
- $M_p \sim 1148 \pm 18 \text{ MeV}$
- Plateau stable.
- Erreur statistique faible.

Extrapolation chirale.



Extrapolation chirale du Proton

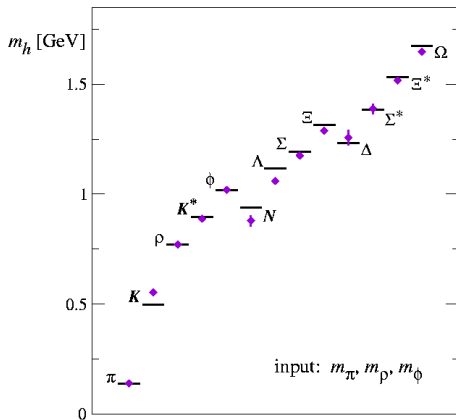
$$M_p^{\text{Lattice}} = 972 \pm 30 \text{ MeV}, M_p^{\text{exp}} = 938 \text{ MeV}$$

Extrapolation chirale du Δ

$$M_{\Delta}^{\text{Lattice}} = 1316 \pm 60 \text{ MeV}, M_{\Delta}^{\text{exp}} = 1232 \pm 29 \text{ MeV}$$

$$M_{N/\Delta} + \frac{3g_A^2}{32\pi f_{\pi}^2} m_{\pi}^3 = M_0 - 4c_1 m_{\pi}^2$$

Etats de l'art de la spectroscopie des hadrons.



Quenched lattice QCD

S. Aoki *et al.*

CP-PACS Collaboration 2002

- 3 paramètres \leftrightarrow 3 masses de mésons
- paramètres fixés dans le secteur des mésons
- déviations dues à l'approximation quenched.
- future proche : même type de résultats en relaxant cette approximation.

Propriétés des hadrons.

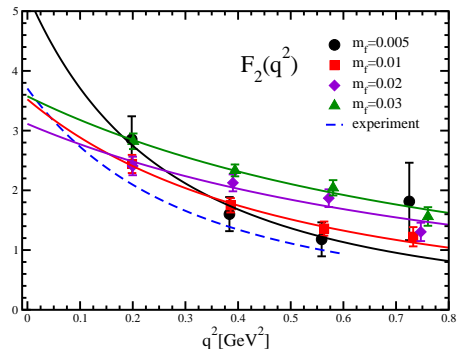
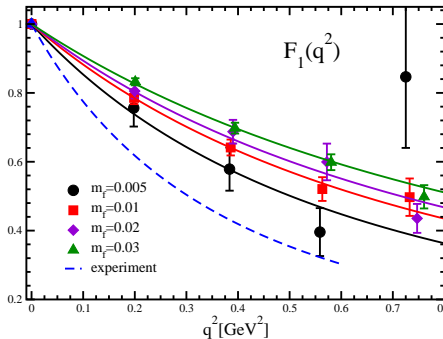
- QCD sur réseau : calcul *ab initio* de la structure des hadrons.
→ propriétés électrofaibles des hadrons ?
- Verification des méthodes utilisées sur des observables plus complexes. que les masses
- Objectif : parvenir à des prédictions physiques fiables.

Facteurs de forme électromagnétique.

- Interaction d'un photon avec un hadron paramétrisée par 2 fonctions de l'impulsion transférée.
- Information sur le rayon de charge moyen électromagnétique, sur le moment magnétique anormal, distribution des charges dans le hadron.
- Mesure expérimentale dans des domaines en q^2 beaucoup plus vaste que ceux atteignable en QCD sur reseau
- Objectif : calculer des éléments de matrice de la forme :

$$\langle N(p') | J^\mu | N(p) \rangle = \bar{u}(\vec{p}') \left(\gamma^\mu F_1(Q^2) + \frac{i q_\alpha}{2M_N} \sigma^{\alpha\mu} F_2(Q^2) \right) u(\vec{p})$$

Résultats.



Facteurs de forme du Nucléon

 $m_\pi = 330 - 660 \text{ MeV}$ $N_f = 2 + 1$ $V = 2.7 \text{ fm}$

Fermions Domain Wall

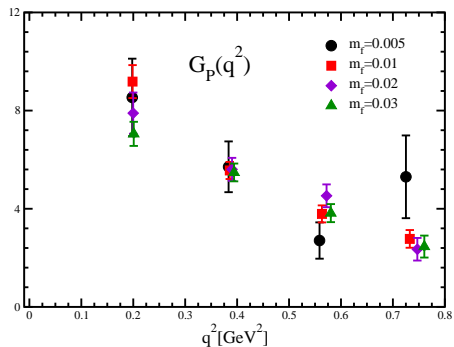
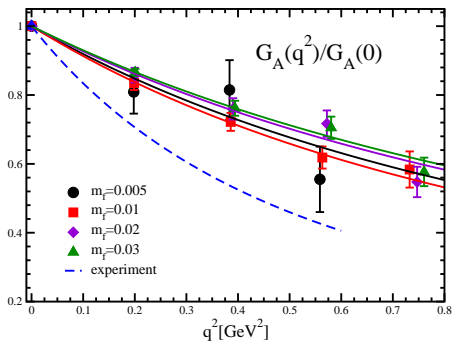
2007, T. Yamazaki S. Ohta (RBC et UKQCD)

Facteurs de formes faibles.

- Caractérisation des propriétés dues à l'interaction faible par les facteurs de formes G_A et G_P
- G_P peu (ou pas?) connu expérimentalement
- Objectif : éléments de matrice de la forme :

$$\langle N(p') | A^\mu | N(p) \rangle = \bar{u}(\vec{p}') \left(\gamma^\mu G_A(Q^2) + \frac{q^\mu}{2M_N} G_P(Q^2) \right) \gamma_5 u(\vec{p})$$

Résultats.



Facteurs de forme du Nucléon

$m_\pi = 330 - 660 \text{ MeV}$ $N_f = 2 + 1$ $V = 2.7 \text{ fm}$

Fermions Domain Wall

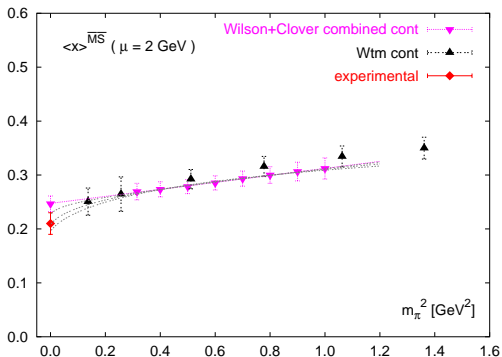
2007, T. Yamazaki S. Ohta (RBC et UKQCD)

Fonctions de distribution de parton.

- Cadre : Modèle des partons
- Les fonctions de distribution de parton (pdf) à q^2 fixé donnent la densité de probabilité de trouver un parton de fraction d'impulsion longitudinale x
- pdf relèvent de la dynamique non perturbative de QCD
- Objectif : calculer les moments :

$$\langle x^n \rangle(q^2) = \int x^n f(x, q^2)$$

Résultats (I).



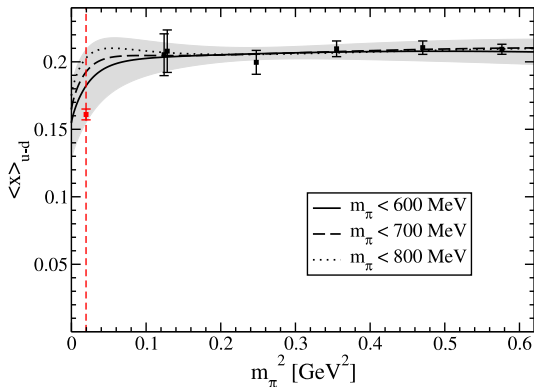
K. Jansen *et al* χ_{LF} Collaboration, 2005

Premier moment de la pdf du pion

Fermions twistés quenched

$M_\pi = 250 - 1000 \text{ MeV}$

Résultats (II).



D. Renner *et al* **LHPC Collaboration**, 2007

Premier moment de la pdf du nucléon

Fermions Staggered unquenched

$M_\pi = 350 - 750$ MeV

Conclusion.

- L'ensemble des résultats obtenus montrent l'étendu des possibilités en QCD sur réseau
- Observables calculables : masses de hadrons, facteurs de forme, moments des pdf , des pdfs généralisées
→ questions actuels de physique hadronique expérimentale
- Problèmes majeurs : extrapolation chirale et ressources informatiques
- **ETM Collaboration** prochainement $N_f = 2 + 1 + 1$
→ travail de thèse consiste à étudier les propriétés des hadrons dans ce cadre.