



Physique nucléaire sur réseau

Feliciano de Soto Borrero

Autrans, 07/06/2005

Index

- ▣➤ La physique nucléaire “ab initio”
- ▣➤ Intérêt d’une approche QFT
- ▣➤ L’état actuel du projet
- ▣➤ Perspectives possibles

La physique nucléaire “ab initio”

Les calculs “ab initio” en physique nucléaire se ramènent à la résolution d’une équation intégrale du type Lipmann-Schwinger:

$$\begin{aligned} T &= V + VG_0T \\ &= V + VG_0V + VG_0VG_0V + \dots \end{aligned}$$

sous la forme:

Schrodinger (Fadeev)	$(E - H_0) \psi\rangle = V \psi\rangle$
Bethe-Salpeter	$\Phi = G_0V\Phi$
Light Front	$(M^2 - P_0^2) \psi\rangle = V \psi\rangle$

Que met-on dans l’interaction V ?

La physique nucléaire “ab initio”

L'interaction V est obtenue

- **ex-nihilo**

En répertoriant tous les termes possibles

$$V_{i,j} = V_c(r) + V_{ss}(r)\vec{\sigma}_i \cdot \vec{\sigma}_j + V_{so}(r)\vec{L} \cdot \vec{S} + V_T(r)S_{i,j} + \dots$$

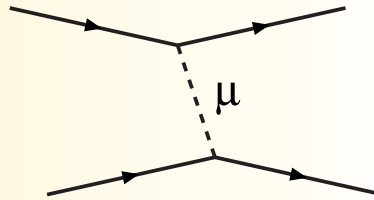
avec $V(r)$ fixés par l'expérience

- **d'une théorie quantique des champs**

- **QCD**: bien qu'on soit convaincu que c'est la théorie fondamentale derrière l'interaction nucléaire, décrire des noyaux au delà du deuterium dans ce cadre semble difficile.
- **Modèles *One Boson Exchange (OBE)***: Depuis Yukawa, ils sont à la base des calculs “ab initio”, et ils permettent d'obtenir le potentiel $V_{i,j}$ précédent.

La physique nucléaire “ab initio”

Dans les modèles OBE, les nucléons interagissent par échange de mésons massifs (π , σ , ρ , etc)



avec des lagrangiens d'interaction:

$$\mathcal{L}_s = g_s \bar{\psi} \phi \psi ; \quad \mathcal{L}_{ps} = g_{ps} \bar{\psi} \gamma_5 \phi \psi ; \quad \mathcal{L}_V = \bar{\psi} g_V \gamma_\mu A_\mu \psi$$

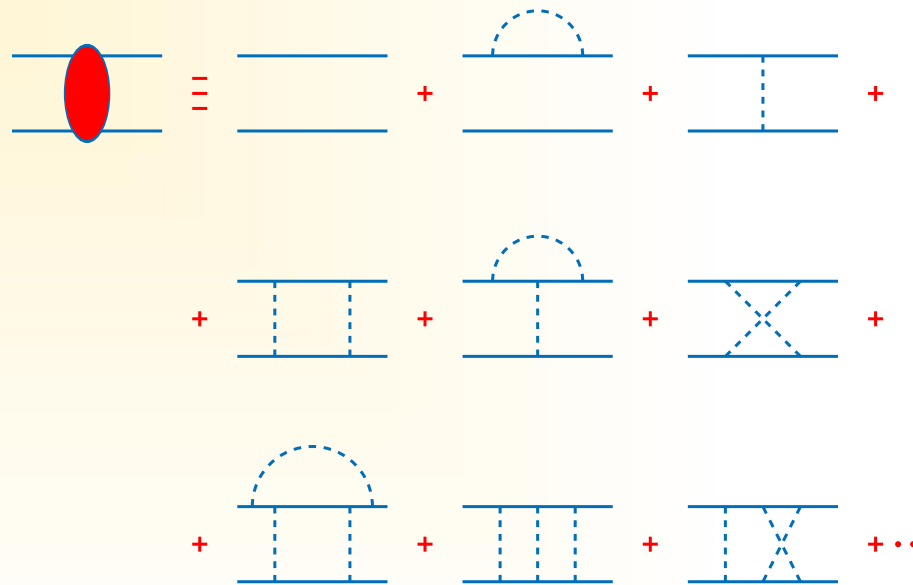
mais le lien entre \mathcal{L} et V n'est pas (du tout) direct!

Dans le cas scalaire on obtient le potentiel de Yukawa, $\frac{e^{-\mu r}}{r}$, mais en posant $\bar{u}u = 1$ et $q^2 = -\vec{q}^2$ (limite NR)

La physique nucléaire “ab initio”

En général, on résout les modèles OBE:

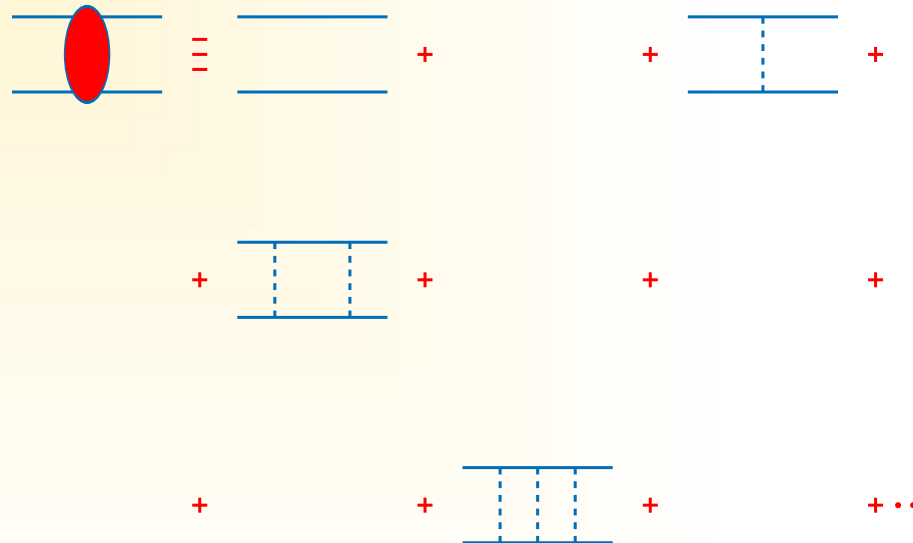
- A l'approximation d'échelle:



La physique nucléaire “ab initio”

En général, on résout les modèles OBE:

- A l'approximation d'échelle:



La physique nucléaire “ab initio”

En général, on résout les modèles OBE:

- A l'approximation d'échelle:
- Non relativiste $\bar{u}u \rightarrow 1$
- Potentiel local $q_0^2 \rightarrow 0$

Même dans ce cas simplifié il y a quelques 40 paramètres à déterminer...

La physique nucléaire “ab initio”

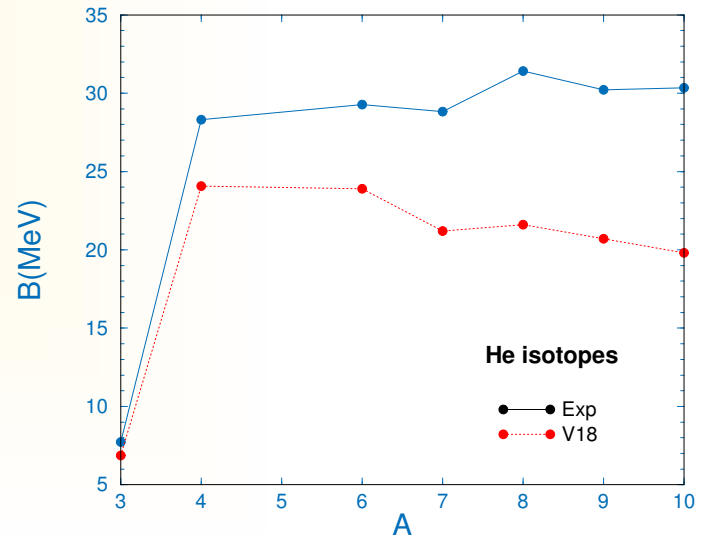
En général, on résout les modèles OBE:

- A l'approximation d'échelle:
- Non relativiste $\bar{u}u \rightarrow 1$
- Potentiel local $q_0^2 \rightarrow 0$

Même dans ce cas simplifié il y a quelques 40 paramètres à déterminer...

Forces à deux corps

Avec les paramètres déterminés pour $A=2$ on ne peut pas décrire les systèmes $A=3,4,\dots$, il manque de la liaison!

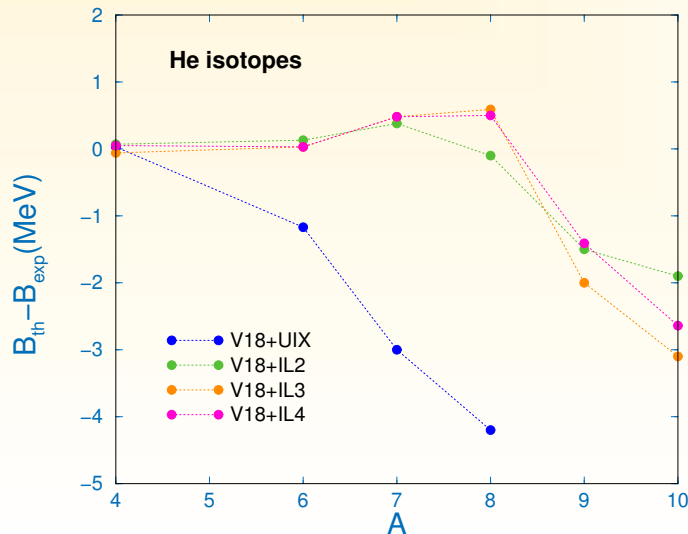


La physique nucléaire “ab initio”

En général, on résout les modèles OBE:

- A l'approximation d'échelle:
- Non relativiste $\bar{u}u \rightarrow 1$
- Potentiel local $q_0^2 \rightarrow 0$

Même dans ce cas simplifié il y a quelques 40 paramètres à déterminer...

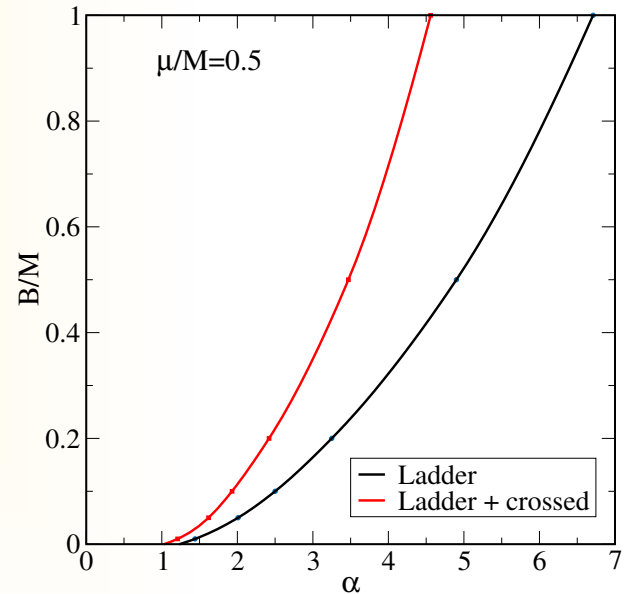


Et même avec $V_{ijk} \neq 0$...

La physique nucléaire “ab initio”

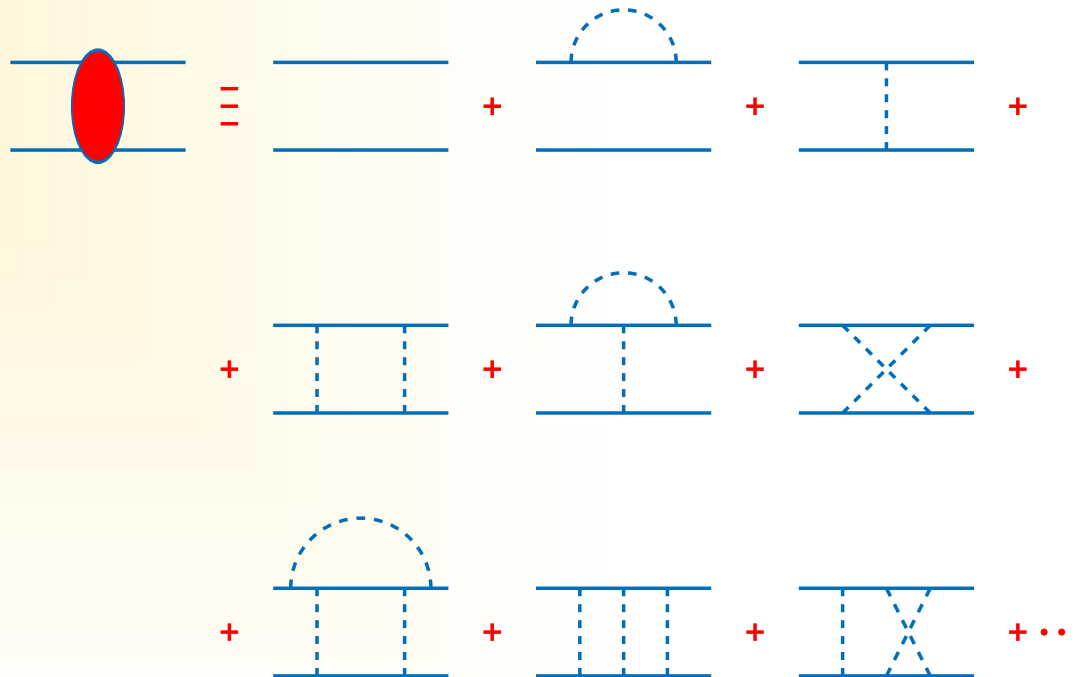
Aller au delà de l'approximation d'échelle ou aux calculs relativistes est très difficile (impossible pour plus de trois particules)

Pour un modèle scalaire, $\chi^2\phi$, les termes croisés sont très importants



Intérêt d'une approche QFT

- Approx. échelle



Intérêt d'une approche QFT

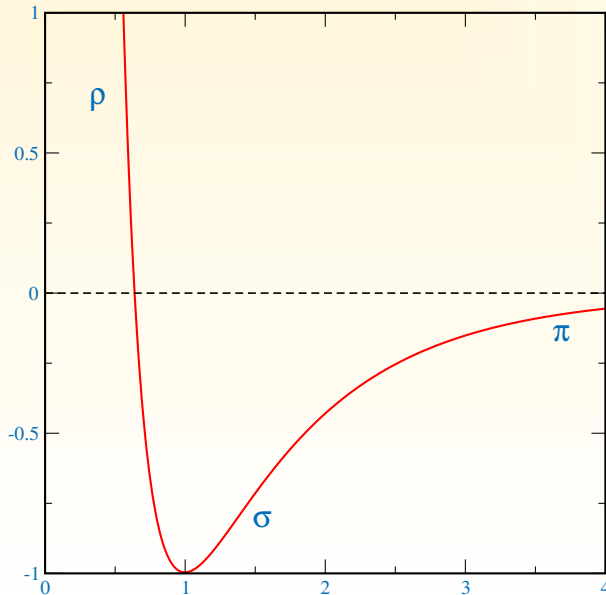
- Approx. échelle
- Paramètres (simplicité)

Exemple, potentiel de Bonn

	μ/M	$\frac{g^2}{4\pi} (f/g)$	$\Lambda (GeV)$	n
π	0.138	14.9	1.3	1
σ	0.550	7.8	2.0	1
ρ	0.770	0.95 (6.1)	1.3	1
ω	...			
η	...			
δ	...			
σ'	...			

Intérêt d'une approche QFT

- Approx. échelle
- Paramètres (simplicité)
- Le σ , est-il nécessaire ?



Les parties de courte et moyenne portée de V_{NN} sont produites traditionnellement par les mésons ρ et σ ... mais peuvent être produites par des corrélations $\pi\pi$...
(?)

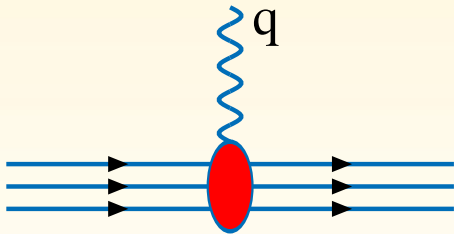
Intérêt d'une approche QFT

- Approx. échelle
- Paramètres (simplicité)
- Le σ , est-il nécessaire ?
- Interactions à N-corps

Les interactions à 3-corps, 4-corps, etc. sont automatiquement incluses dans un formalisme QFT

Intérêt d'une approche QFT

- Approx. échelle
- Paramètres (simplicité)
- Le σ , est-il nécessaire ?
- Interactions à N-corps
- Description relativiste de noyaux



La plupart de la physique nucléaire théorique est basée sur des calculs NR, mais à JLAB des noyaux sont sondés à des énergies $q^2 \sim 10 \text{ GeV}^2$

Les calculs relativistes à l'approximation d'échelle donnent le signe contraire pour des corrections sur le $J^\pi = 0^+$ du positronium...

Un projet en cours

$$Z = \int_{V,a} [d\phi][d\bar{\psi}][d\psi] \text{Exp} [-S_{KG} - \bar{\psi}Q\psi]$$

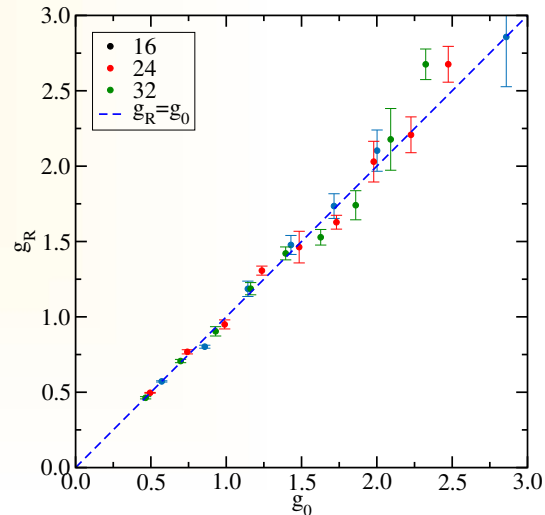
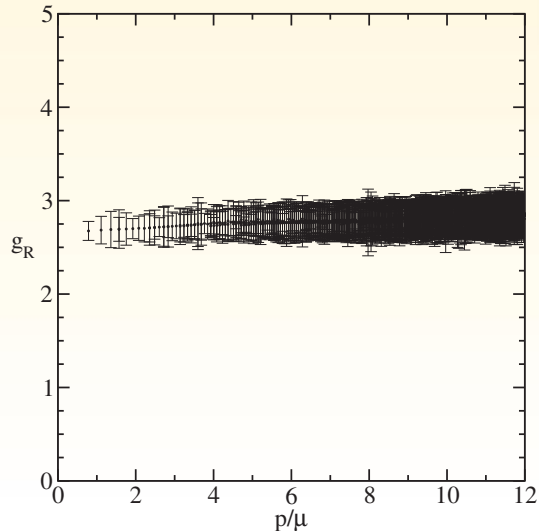
$$Q = 1 + g\phi + \kappa \sum_{\mu} (1 - \gamma_{\mu}) \delta_{x,y+\mu}; \quad \kappa = \frac{1}{8 + aM}$$

Erreurs statistiques:	Ordinateurs puissants, $\sim \frac{1}{\sqrt{N}}$
Erreurs systématiques:	Volume fini, $V \rightarrow \infty$ Limite du continu, $a \rightarrow 0$ Approximation "quenched"

Un projet en cours

On étudie un modèle d'interaction nucléon-méson (couplages scalaires ou pseudoscalaires) dans l'approximation "quenched":

- Correspondance entre des paramètres nus (a , μ , κ , g) et renormalisés (μ , M , g_R)
- La constante de couplage renormalisée reste constante et égale à la constante nue



Un projet en cours

On étudie un modèle d'interaction nucléon-méson (couplages scalaires ou pseudoscalaires) dans l'approximation "quenched":

- Correspondance entre des paramètres nus (a, μ, κ, g) et renormalisés (μ, M, g_R)
- La constante de couplage renormalisée reste constante et égale à la constante nue

Pour des états à deux corps (sans isospin):

- On commence à étudier les états liés $N - N$ et $\bar{N} - N$ avec couplage scalaire
- ...

Les problèmes en cours

- Valeur critique de g

Les méthodes numériques échouent pour $g \gtrsim 3$

- Calculs de très haute précision

Les énergies de liaison en P.N. sont $\sim 10^{-3}$

Perspectives possibles

- Physique Nucléaire
 - Calcul des énergies de liaison et f.f.
 - Tester les approximations des calculs “ab initio”
 - Faire P.N. avec des π seulement
- Laboratoire et atelier pour les calculs sur réseau
 - Etats de diffusion
 - Résonances
 - ...
- Étudier autres modèles effectifs
 - Modèles chiraux (Weinberg...)
 - Higgs, SUSY, etc.
- A comparer avec calculs Full-QCD sur réseau
 - Domain de validité des modèles OBE