

## Proposition de sujet de stage Master 2/Thèse 2018

**Nom du Laboratoire :** Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie (L.P.S.C.)

**Groupe :** Physique Théorique

**Responsables de stage :** Mariane Mangin-Brinet<sup>(\*)</sup>/ Savvas Zafeiropoulos<sup>(\*\*)</sup>

**Adresse, téléphone, e-mail :** <sup>(\*)</sup>53, avenue des Martyrs – 38026 Grenoble

Tel : 04 76 28 40 46

[mariane@lpsc.in2p3.fr](mailto:mariane@lpsc.in2p3.fr)

<sup>(\*\*)</sup>Institut de Physique Théorique

Université de Heidelberg

Philosophenweg 12, 69120

Heidelberg, Allemagne

[zafeiropoulos@thphys.uni-heidelberg.de](mailto:zafeiropoulos@thphys.uni-heidelberg.de)

**Intitulé du stage :** Renormalisation non perturbative et paramètres fondamentaux de la Chromodynamique Quantique

### Résumé du projet et travail demandé :

La Chromodynamique Quantique (QCD) est la théorie qui décrit les interactions fortes. Son but est d'expliquer la cohésion des noyaux, ainsi que la structure des protons et des neutrons, c'est-à-dire l'essentiel de la matière visible de l'univers. Particulièrement élégante, cette théorie quantique des champs ne compte que sept paramètres : une masse pour chacun des 6 quarks et une constante de couplage. Elle permet d'interpréter un nombre immense de phénomènes physiques à partir de peu de paramètres et d'un formalisme mathématique bien défini et très compact.

Cependant, cette théorie est loin d'être résolue et la compréhension de nombreux phénomènes est longtemps restée – et pour certains demeure – une gageure. C'est le cas en particulier du calcul *ab initio* des paramètres fondamentaux de la QCD que sont les masses des quarks et la constante de couplage fort.

A l'heure actuelle, la seule méthode rigoureuse pour résoudre la QCD à basse énergie (où elle est non perturbative), est la « QCD sur réseau ». Son objectif est de trouver les solutions de cette théorie fondamentale de la matière sans hypothèses incontrôlées et avec des précisions rivalisant avec celles atteintes par les expériences. Le principe, inspiré de la Physique Statistique, consiste à discrétiser l'espace-temps et à utiliser le formalisme des intégrales de chemin de Feynman.

Dans la plupart des cas, les observables obtenues par calculs sur réseau ne sont pas directement celles mesurées par les expériences, mais nécessitent une renormalisation.

Pour atteindre la précision recherchée, la renormalisation doit être réalisée de façon non perturbative.

Lors du stage M2, une première étape consistera à se familiariser avec les techniques et les enjeux de la renormalisation non perturbative. Il s'agira ensuite de calculer certaines des constantes de renormalisation des opérateurs bilinéaires de quarks à partir des identités de Ward-Takahashi, en utilisant des configurations de jauge avec quatre saveurs de quarks dynamiques générées par la collaboration ETMC (voir plus bas), et d'en déduire la masse renormalisée de certains quarks.

Une bonne connaissance des bases de la théorie des champs est requise. Même si aucune spécialisation informatique particulière n'est demandée, une certaine aisance dans l'utilisation des moyens de calcul est souhaitable. Les langages utilisés sont principalement le C, C++, Fortran90, et MPI (parallélisme).

### **Ouverture vers un sujet de thèse :**

Le travail commencé en stage de M2 pourra naturellement se prolonger vers un sujet de thèse dont le thème est la détermination des paramètres fondamentaux de la QCD en utilisant les calculs sur réseau. Si plusieurs calculs des masses des quarks et la constante de couplage fort ont déjà été effectués, aucune des déterminations n'inclut pour l'instant quatre saveurs de quarks dynamiques ( $u, d, s, c$ ) à la masse physique avec des fermions « twistés ». Le travail de thèse consistera à se familiariser avec les subtilités de la QCD sur réseau, et à développer des stratégies de calcul des masses des quarks et de la constante de couplage fort. Une large partie du travail sera en particulier consacrée à la renormalisation non perturbative, non seulement procédure indispensable à la détermination des masses des quarks, mais aussi ingrédient fondamental de la plupart des calculs sur réseau.

Plusieurs techniques de renormalisation existent et un volet majeur de ce travail de thèse sera d'implémenter et de comparer certaines de ces procédures.

Outre la détermination des paramètres fondamentaux du Lagrangien QCD, et une fois la renormalisation non perturbative maîtrisée, ce sujet de thèse peut aussi s'orienter vers le calcul d'autres quantités cruciales de la physique des interactions fortes, comme  $\langle x \rangle$  (impulsion moyenne portée par les quarks dans le proton) ou  $g_A$ .

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la "European Twisted Mass Collaboration" (ETMC, <http://www-zeuthen.desy.de/~kjansen/etmc>). Cette collaboration regroupe neuf pays européens (Allemagne, Italie, Royaume-Uni, Hollande, Suisse, Chypre, Pologne, France, Espagne) et utilise une discrétisation particulière de l'action de la QCD, appelée "twisted mass QCD", qui présente plusieurs avantages notables. Deux autres laboratoires français sont membres d'ETMC (LPT Orsay et LPC Clermont), et de nombreuses réunions sont organisées au niveau national et européen.

**Type de financement envisagé :** Bourse Ministère