

Proposition de thèse de doctorat

Généalogie des particules extrêmes des processus de branchement et liens avec des observables de physique des particules

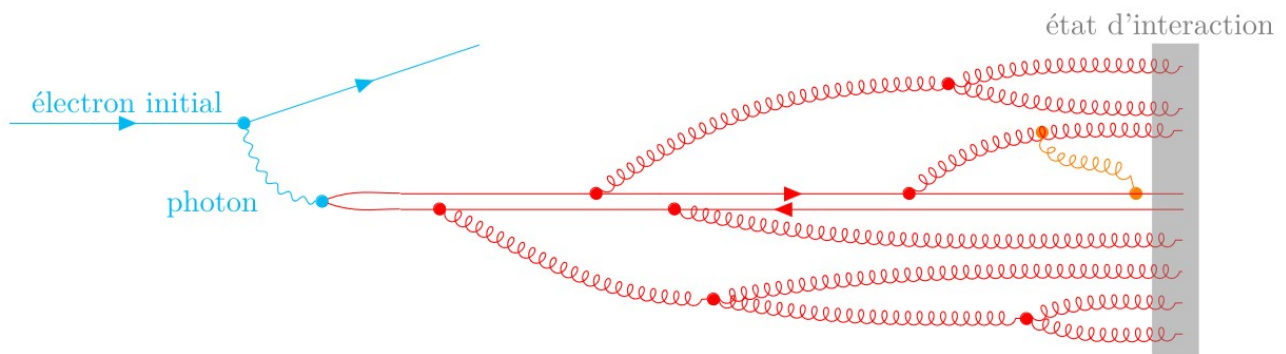


Illustration du développement de l'état d'interaction hadronique d'un électron initial. L'arbre colorié en rouge, constitué d'une paire quark-antiquark (traits continus fléchés) et d'un ensemble de gluons (« ressorts »), représente le processus de branchement binaire qui génère l'état d'interaction avec la cible (non représentée ici). [Aux énergies et densités extrêmes, les processus de recombinaison deviennent probables (cf le gluon colorié en orange)].

Le mouvement brownien branchant (MBB) est un système de particules qui se déplacent de façon continue et se reproduisent indépendamment les unes des autres. Il s'agit de l'un des processus de branchement spatiaux les plus simples. Le MBB est un modèle actuellement très étudié en mathématiques, en raison de ses liens avec la célèbre équation dite de réaction-diffusion de Fisher-Kolmogorov-Petrovsky-Piscounov (FKPP) (voir e.g. [1,2,3]).

Les processus de branchement dans la classe d'universalité du MBB sont omniprésents dans les sciences physique et naturelles. Ils apparaissent par exemple en physique des verres de spin, en chimie, en biologie de l'évolution, etc... et de façon peut-être plus surprenante, également en physique des particules. En effet, l'état d'interaction de particules quantiques est génériquement un ensemble aléatoire de particules élémentaires, qui dans un certain régime pertinent aux collisionneurs de très haute énergie, apparaissent générées par un processus de branchement de la classe d'universalité du MBB [4] (cf la figure). Les sections efficaces totales peuvent être mises en correspondance avec la statistique des valeurs extrêmes de ce processus. Les généalogies des particules extrêmes [5], dont l'étude détaillée est l'objet de ce projet, correspondent à des observables d'état final [6]. Leur compréhension qualitative débouchera sur des prédictions pour les sections efficaces diffractives électron-noyau, qui pourront être comparées à des mesures du futur collisionneur d'électrons et d'ions (EIC) en projet aux USA.

Les objectifs principaux de la thèse de doctorat proposée seront d'une part, de décrire la loi et les relations généalogiques des particules extrêmes du MBB, et d'autre part, d'établir des correspondances quantitatives avec des observables mesurées dans les collisions électron-hadron, comme par exemple la

répartition angulaire de la masse diffractée dans l'état final. En fonction de l'avancement du projet, nous pourrions être amenés à étendre l'étude au cas des processus de branchement-sélection, qui sont également pertinents en physique des particules (cf la figure et les références [7,8]). Le rôle du doctorant ou de la doctorante sera à la fois de participer à l'élaboration des preuves mathématiques, et de développer une intuition physique permettant de formuler des conjectures sur les propriétés des particules générées par un processus de branchement.

La thèse, financée dans le cadre d'un projet de la Mission pour les initiatives transverses et interdisciplinaires du CNRS, aura une durée de 3 ans, et débutera idéalement le 1^{er} octobre 2024. La doctorante ou le doctorant sera basé(e) au Centre de physique théorique (CPHT) de l'École polytechnique, où il ou elle sera encadré(e) par [Stéphane Munier](#) (groupe de physique mathématique du CPHT). Plusieurs séjours longs sont prévus au sein de l'Institut de mathématiques de Toulouse (IMT), où il ou elle sera encadré(e) par [Bastien Mallein](#) (porteur du projet), [Pascal Maillard](#) et [Michel Pain](#).

La candidate ou le candidat à cette thèse peut se prévaloir d'un excellent niveau master en physique théorique ou en mathématiques (spécialité probabilités). Il ou elle possède impérativement des bases solides en probabilités et/ou en mécanique statistique avancée, et doit montrer un intérêt pour la théorie quantique des champs et la physique des particules. Des notions dans ce domaine sont un plus appréciable. Il ou elle manifeste un fort intérêt pour les mathématiques rigoureuses et pour leur application en physique des particules.

Pour se porter candidat, merci d'envoyer un CV et une lettre de motivation à Stéphane Munier et à Bastien Mallein (bastien.mallein -at- math.univ-toulouse.fr, stephane.munier -at- polytechnique.edu).

Bibliographie :

- [1] E. Aïdékon, J. Berestycki, É. Brunet, and Z. Shi. [Branching Brownian motion seen from its tip](#). Probab. Theory Relat. Fields, 157(1-2) :405–451, 2013.
- [2] L. Mytnik, J.-M. Roquejoffre, and Lenya Ryzhik. [Fisher-KPP equation with small data and the extremal process of branching Brownian motion](#). Adv. Math., 396:58, 2022. Id/No 108106.m
- [3] P. Maillard and M. Pain. [1-stable fluctuations in branching Brownian motion at critical temperature I: The derivative martingale](#). Ann. Probab. 47, no. 5, 2953–3002, 2019.
- [4] A.-K. Angelopoulou, A. D. Le, and S. Munier. Scattering from an external field in quantum chromodynamics at high energies : from foundations to interdisciplinary connections. [arXiv:2311.14796](#).
- [5] B. Derrida and P. Mottishaw. [On the genealogy of branching random walks and of directed polymers](#). EPL, 115(4):40005, August 2016.
- [6] A. D. Le, A. H. Mueller, and S. Munier. [Analytical asymptotics for hard diffraction](#). Phys. Rev. D, 104:034026, 2021.
- [7] É. Brunet, B. Derrida, A. H. Mueller, and S. Munier. [Effect of selection on ancestry : An exactly soluble case and its phenomenological generalization](#). Physical Review E, 76(4), October 2007.
- [8] A. Cortines and B. Mallein. [A \$N\$ -branching random walk with random selection](#). ALEA, Lat. Am. J. Probab. Math. Stat., 14(1):117–137, 2017.