Olivier Bénichou
Directeur de recherche au CNRS
Laboratoire de Physique Théorique de la Matière Condensée
Université Paris 6
4 Place Jussieu
75005 PARIS (FRANCE)
tel : 01 44 27 50 20 - E-mail : benichou@lptmc.jussieu.fr

Rapport sur le mémoire d'habilitation à diriger les recherches d'Eric Dumonteil :
Marches aléatoires branchantes et Simulation Monte-Carlo du transport des neutrons.

M. Eric Dumonteil a l'intention de présenter l'habilitation à diriger des recherches. Cet enseignant-chercheur, âgé de 37 ans, est un physicien de formation. Il soutient en 2004 une thèse à l'Université de Caen sur l'étude de résonances impliquées dans des collisions d'ions lourds ultrarelativistes de l'expérience ALICE du LHC au CERN. Il est recruté comme Ingénieur-Chercheur au CEA Saclay en 2005. Depuis 2012, il est maître de conférence à l'Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires.

Ses recherches récentes étendent considérablement ses travaux de thèse et sont principalement centrées sur les propriétés des marches aléatoires branchantes. Trois domaines sont abordés : (i) la modélisation stochastique du transport des particules neutres, (ii) la simulation Monte-Carlo du transport de ces particules, (iii) la mise en œuvre des méthodes théoriques développées à la partie (i) pour analyser qualitativement les résultats des simulations, notamment sur l'exemple du clustering des neutrons.

La première partie, consacrée au développement de méthodes générales d'analyse de plusieurs fonctionnelles des marches aléatoires branchantes, me semble particulièrement intéressante. L'objectif est ici d'étendre des lois connues dans le cas d'un mouvement Brownien ordinaire au cas du mode de transport neutronique, qui implique deux modifications non triviales (prises en compte simultanément ou alternativement dans les recherches d'Eric Dumonteil) : (i) description du transport comme une succession de portions balistiques interrompues par des réorientations aléatoires (marches aléatoires de type Pearson) ; (ii) description des effets de branchement, associés à la génération aléatoire de descendants à partir d'un neutron donné lors d'une collision avec un noyau (nécessaire par exemple pour décrire la fission nucléaire). Deux grandes classes de fonctionnelles sont considérées : fonctionnelles de type temps de résidence (temps cumulé passé par l'ensemble des neutrons dans une région de l'espace au bout d'un temps d'observation donné) et fonctionnelles liées à l'enveloppe convexe de la trajectoire (plus précisément périmètre moyen et aire moyenne de cette enveloppe convexe). J'ai particulièrement apprécié la clarté et la pédagogie avec

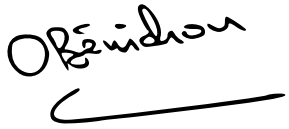
lesquelles Eric Dumonteil expose la démonstration des formules "à la Feynmann-Kac", en utilisant comme outil d'analyse systématique les équations vers le passé. La généralisation de ces formules au cas de marches aléatoires branchantes me semble constituer un résultat particulièrement marquant de ce manuscrit. Le développement de cette méthodologie ouvre selon moi la voie à des travaux variés dans des domaines dépassant largement le contexte de la neutronique, dans lesquels les marches aléatoires branchantes sont naturellement mises en jeu (comme le problème de la propagation d'épidémies mentionné dans le manuscrit). Parmi les résultats obtenus par Eric Dumonteil à partir de ce formalisme général, citons la généralisation aux processus branchants de la formule de Cauchy pour les longueurs de corde, la loi de l'arcsinus concernant le temps de résidence dans un demi-espace ou encore la détermination analytique des comportements à grand temps du périmètre moyen et de l'aire moyenne de l'enveloppe convexe à la criticalité. Signalons que cette dernière étude a récemment fait l'objet d'une publication co-écrite par Eric Dumonteil dans la prestigieuse revue PNAS, dans laquelle il est montré que le périmètre moyen de l'enveloppe convexe associée à la trajectoire sature à grand temps mais que l'aire moyenne est divergente. Ce résultat non intuitif me semble particulièrement intéressant.

La deuxième partie du manuscrit, qui m'est beaucoup moins familière, concerne la simulation Monte-Carlo du transport des particules neutres. En parallèle des activités théoriques décrites précédemment, Eric Dumonteil s'investit en effet fortement dans le développement même de méthodes et de codes Monte-Carlo. Dans le domaine de la radioprotection, Eric Dumonteil a développé des méthodes de réduction de variance de manière à accélérer les simulations numériques. Il a également réalisé des calculs de criticité, permettant là encore de décrire le transport des neutrons dans des milieux fissiles, et notamment développé une méthode de correction d'un biais statistique mis en jeu dans ces problèmes. Bien que je sois peu compétent pour apprécier la portée des travaux réalisés dans ces domaines, il me semble que la double compétence technique, analytique et numérique, dont Eric Dumonteil fait preuve dans ses recherches est assez remarquable.

La dernière partie du manuscrit aborde notamment le problème récemment découvert du clustering des neutrons, qui correspond au regroupement en amas des neutrons dans certaines conditions. Eric Dumonteil a déterminé analytiquement les fonctions de corrélation spatiales à 2 points d'un modèle simplifié correspondant à ces situations, lui permettant de reproduire cette phénoménologie du clustering. Cette approche s'appuie sur la formule de Feynman Kac branchante développée à la première partie et particularisée au cas d'une diffusion ordinaire. Cette formule permet d'obtenir une équation fermée pour les fonctions de corrélations à deux points, qui se résout explicitement dans le cas d'un branchement binaire critique en milieu infini. Ce dernier résultat, qui permet de rendre compte qualitativement du clustering, me semble important.

Le bilan et la potentialité des travaux d'Eric Dumonteil sont de très bon niveau. Entre 2003 et 2014, 20 papiers ont été publiés dans des revues internationales avec comité de lecture. Il faut y ajouter une monographie et 16 proceedings. Ses travaux ont été présentés dans plusieurs conférences internationales. Le candidat a co-dirigé une thèse (encadrée à 100%)

soutenue très récemment, co-encadré 3 stagiaires post-doctoraux et encadré un grand nombre de stagiaires d'écoles d'ingénieurs et de fin d'étude universitaire. Pour l'ensemble de ces raisons, je suis très favorable à ce que M. Dumonteil présente son habilitation à diriger les recherches.

Paris, le 14 avril 2014,

Olivier BÉNICHOU