



Développement d'une méthode de réduction de variance multi-particules/multi-détecteurs pour les expériences de physique nucléaire

Spécialité Neutronique

Niveau d'étude Bac+4/5

Formation Ingenieur/Master

Unité d'accueil [DPhN/LEARN](#)

Candidature avant le 30/04/2025

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse non

Contact [THULLIEZ Loïc](#)

+33 1 69 08 74 53

loic.thulliez@cea.fr

Résumé

Sujet détaillé

La simulation Monte Carlo du transport des particules est devenue aujourd'hui centrale dans de nombreux domaines tels que la physique fondamentale, la physique médicale ou les applications spatiales pour n'en citer que quelques-uns. Afin de pallier les temps de calculs inhérents à cette méthode, des techniques dites "de réduction de variance" sont développées, dont l'objectif est de "pousser" les particules vers le(s) détecteur(s) sans induire de biais sur les résultats du calcul. Récemment, une méthode de réduction de variance dite Adaptative Multilevel Splitting (AMS) [1,2], s'intéressant aux événements rares, a été conçue et implémentée dans différents codes de calculs, tels que le code Monte Carlo TRIPOLI4 développé au CEA ou le code Monte Carlo Geant4 développé au CERN par une collaboration internationale [3]. Cette méthode offre des perspectives très intéressantes car elle permet de préserver les corrélations entre les particules contribuant à la mesure, ce que ne permettent pas les méthodes standards de réduction de variance comme par exemple l'Importance Sampling.

Ce sujet de stage propose d'évaluer l'intérêt de cette approche dans le contexte de la physique fondamentale, où les simulations cherchent à détecter des événements rares, comme par exemple dans les expériences visant à mettre en évidence la diffusion cohérente des neutrinos auprès de réacteur (CEvNS). En effet, ces expériences mettent régulièrement en œuvre des méthodes de détection en coïncidence permettant d'augmenter le rapport signal sur bruit (à titre illustratif on peut imaginer la détection d'un neutron dans un détecteur A et d'un photon dans un détecteur B). Elles représentent un challenge en termes de calcul numérique car leur simulation nécessite l'échantillonnage d'un très grand nombre de particules (de sorte à ce qu'une fraction très faible d'entre elles contribuent à la mesure).

Le sujet de ce stage consiste donc à utiliser l'AMS implémenté dans le code Geant4 et à en optimiser les paramètres dans des configurations dites "multi-particules/multi-détecteurs", afin de pouvoir simuler des événements rares corrélés. Le/la stagiaire devra pour ce faire finaliser les développements déjà entrepris (cf. [4]) puis à en vérifier l'efficacité sur différents cas physiques simples représentatifs. Une fois ce travail terminé, deux pistes pourront être suivies suivant l'intérêt du candidat :

1) soit le/la candidat(e) s'intéressera au déploiement de cette méthode dans le code Geant4 lui-même pour qu'il soit accessible à tous les physiciens pour qu'il soit dans la version officielle, 2) soit le/la candidat(e) mettra en place un dispositif expérimental pour comparer les résultats obtenus avec l'AMS à des données expérimentales.

[1] F. Cérou and A. Guyader, Stochastic Analysis and Applications 25(2):417-443, 2007

[2] H. Louvin et al., EPJ Web of Conferences, Vol153, EDP Sciences, 2017

[3] <https://geant4.web.cern.ch>

[4] L. Thulliez, B. Mom et E. Dumonteil, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 1051 (2023) 168190

Mots clés

physique nucléaire, des particules, mécanique quantique, neutronique

Compétences

Méthode de réduction de variance

Logiciels

Python, C++, ROOT (est un plus/is an asset), Geant4 (est un plus/is an asset)

Development of a multi-particles/multi-detectors variance reduction method for nuclear physics experiments

Summary

Full description

The Monte Carlo simulation of particle transport has become central in many fields such as fundamental physics, medical physics or space applications just to name a few. In order to overcome the computation time inherent to this method, so-called "variance reduction" techniques are developed, whose objective is to "push" the particles towards the detector(s) without inducing bias on the computation results. Recently, a variance reduction method called Adaptive Multilevel Splitting (AMS) [1,2], which focuses on rare events, has been designed and implemented in different calculation codes, such as the Monte Carlo code TRIPOLI4 developed at CEA or the Monte Carlo code Geant4 developed at CERN by an international collaboration [3]. This method offers very interesting perspectives because it allows to preserve the correlations between the particles contributing to the measurement, which is not possible with standard variance reduction techniques such as Importance Sampling.

This internship topic proposes to evaluate the interest of this approach in the context of fundamental physics, where simulations seek to detect rare events, as for example in experiments aiming to detect the coherent neutrino scattering at nuclear reactors (CEvNS). Indeed, these experiments regularly use coincidence detection methods to increase the signal-to-noise ratio (as an example, one can imagine the detection of a neutron in detector A and a photon in detector B). They represent a challenge in terms of numerical calculation because their simulation requires the sampling of an often-prohibitive number of events (so that a very small fraction of them contribute to the measurement).

The subject of this internship is therefore to use the AMS implemented in the Geant4 code and to optimize its parameters in so-called "multi-particle/multi-detector" configurations, in order to be able to simulate rare correlated events. The trainee will have to finalize the developments already undertaken (see [4]) and to verify their efficiency on different simple representative physical cases. Once this work is completed, two avenues can be pursued, depending on the candidate's interest:

- 1) either the candidate will be interested in deploying this method in the Geant4 code itself, so that it can be made available to all physicists for inclusion in the official version,
- 2) or the candidate will set up an experimental setup to compare the results obtained with AMS with experimental data.

[1] F. Cérou and A. Guyader, *Stochastic Analysis and Applications* 25(2):417-443, 2007

[2] H. Louvin et al., *EPJ Web of Conferences*, Vol153, EDP Sciences, 2017

[3] <https://geant4.web.cern.ch>

[4] L. Thulliez, B. Mom et E. Dumonteil, *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research*, A 1051 (2023) 168190

Keywords

Nuclear and particle physics, quantum mechanics, neutronics

Skills

Variance reduction method

Softwares

Python, C++, ROOT (est un plus/is an asset), Geant4 (est un plus/is an asset)