

## Proposition de sujet de stage de Master 2

**Titre du projet : Reproduction de l'évolution de l'orbite des planètes pour l'étude de la stabilité des populations de petits corps du système solaire**

**Nom et coordonnées des responsables du stage :**

Jean-Marc Petit, Benoît Noyelles

Institut UTINAM – OSU THETA

41 bis avenue de l'observatoire

25010 Besançon cedex

tel : 03 81 66 69 29 / 03 81 66 69 15

mel : [jean-marc.petit@normalesup.org](mailto:jean-marc.petit@normalesup.org), [benoit.noyelles@univ-fcomte.fr](mailto:benoit.noyelles@univ-fcomte.fr)

**Nature du sujet :** Développement analytique et numérique

**Contexte et état de l'art :**

Le système solaire a une évolution chaotique qui rend impossible la prédiction exacte de la position des planètes sur le long terme. Cet effet était encore plus prononcé au début de son histoire lorsque la nébuleuse de gaz s'est dissipée. De ce fait, la modélisation de la formation du système solaire est un processus délicat qui demande un grand nombre de simulations dont le taux de succès (être capable de satisfaire un ensemble de 5 critères de similitude avec le système solaire actuel) est faible, de l'ordre de 1 à 3 %. Modéliser l'évolution des planètes pendant les 100 premiers millions d'années nécessite la prise en compte des planètes et d'un grand nombre, de l'ordre du millier, de planétésimaux qui vont interagir avec les planètes. De telles simulations nécessitent plusieurs jours de calcul sur les meilleurs CPU du moment. Ajouter des particules test pour étudier l'évolution des populations de petits corps rendrait ces calculs prohibitifs (nécessité d'utiliser au moins 10000 particules test, et souvent beaucoup plus).

Une solution simple à ce problème est de faire d'abord les simulations avec seulement les planètes et les planétésimaux, sélectionner les cas satisfaisant les critères de similitude, puis recommencer l'intégration en ajoutant cette fois-ci les particules test. Malheureusement du au chaos intrinsèque du système, la succession des pas de temps d'intégration est très importante. En reprenant une simulation des planètes et des planétésimaux qui donne un résultat acceptable et en y ajoutant un ensemble de particules test qui représentent les petits corps, on va modifier les pas de temps utilisés pour prendre en compte les rencontres proches avec ces nouveaux corps et donc modifier appréciablement l'évolution des planètes, qui peuvent au final ne plus satisfaire les critères de similarité.

Pour pallier ce problème, nous avons développé dès le tournant du millénaire (Petit *et al.*, *Icarus*, 141:367 (1999)) une méthode basée sur l'interpolation de la position des planètes à partir d'éléments enregistrés à intervalles réguliers. Ainsi, nous avons modifié l'intégrateur SWIFT (Levison & Duncan, *Icarus*, 108:18 (1994) et Duncan, Levison & Lee, *AJ*, 116:2067 (1998)) pour qu'il lise l'évolution pré-enregistrée des planètes et des planétésimaux et calcule à chaque instant le potentiel agissant sur les particules test en interpolant les positions des planètes.

Cette méthode s'avère une approche très efficace lorsque les corps massifs ne s'approchent jamais trop les uns des autres. Dans le cas contraire, cette méthode basée sur une approximation du problème à 2 corps Soleil-planète peut produire des positions interpolées totalement fausses.

**Objectifs :**

L'objectif du travail proposé est :

- 1) Écriture d'un algorithme d'interpolation de la position des planètes à partir de leurs éléments orbitaux à deux instants donnés, capable de prendre en compte le cas de planètes en interaction, dont le mouvement n'est plus dominé, pendant un certain temps, par leur mouvement autour du soleil mais par leur mouvement relatif
- 2) Écriture des données d'évolution des planètes pour l'utilisation de ce nouvel algorithme
- 3) Inclusion de cet algorithme dans le logiciel SWIFT pour intégrer le mouvement des particules test
- 4) Application à des simulations de formation planétaire satisfaisant les critères de similitude et comparaison avec les anciennes simulations

Ce travail se fera avec le langage Fortran, langage dans lequel est écrit le logiciel SWIFT. Il nécessitera la réalisation de simulations numériques intensives, impliquant l'utilisation des serveurs de calcul du laboratoire UTINAM.