

## SUJET DE STAGE

-----  
**Directeur de stage**

Nom : **Hervé Wozniak, Astronome, HDR**

Equipe de recherche : **Equipe Galaxie**

Nom du directeur de laboratoire : Hervé Wozniak

Adresse : Observatoire astronomique de Strasbourg, 11 rue de l'Université, 67000 Strasbourg

Téléphone : 03 68 85 24 45

Fax : 03 68 85 24 32

E-mail : herve.wozniak@astro.unistra.fr  
-----

### Sujet du stage

Titre : **CHEMODYNAMIQUE EN ASTROPHYSIQUE : TIRER PARTIE DES ARCHITECTURES MULTI-CŒURS ET MASSIVEMENT PARALLELES**

#### Description du stage

##### (1) le contexte de l'étude

La simulation numérique est utilisée en Astrophysique depuis les années 1950, au tout début pour l'étude de l'évolution des étoiles d'une part, et pour les études de dynamique galactique d'autre part. Depuis l'astrophysique s'est souvent trouvée à l'avant-garde des développements algorithmiques ou numériques. La technique SPH (Smooth Particle Hydrodynamics), aujourd'hui très répandue, a été inventée par deux astrophysiciens (Lucy 1977, Monaghan 1977). Du côté performance, en 2007, dans le cadre du projet cosmologique HORIZON, nous avons participé à la réalisation de la plus grande simulation de l'Univers (70 milliards de particules).

Dans le cadre de l'étude des galaxies, la résolution et la sensibilité des données d'observations (présentes et à venir) imposent des grilles de plus en plus fines, la prise en considération d'une physique et chimie sous-maille très complexe, donc le recours à des pas de temps de plus en plus fins ou à des schémas gérant des sous-pas de temps. Les simulations de systèmes galactiques entrent désormais dans les défis extrêmes en matière de calculs intensifs (1 milliard de particules pour la simulation du Groupe Local de G. Yepes et al. dans le cadre du DEISA Extreme Computing Initiative) mais, plus que le simple nombre de particules ou de cellules, c'est la gamme d'échelles spatiales et temporelles liées à la physique mise en œuvre qui crée la véritable complexité de ces simulations.

Le défi à relever en physique des galaxies est donc de nature différente de celui de la cosmologie mais totalement complémentaire. Un code de simulation chemodynamique, comme celui avec lequel nous travaillons depuis 1993 (PM-SPH-SF), est architecturé autour de blocs ayant chacun une tâche bien identifiée :

- Détermination du potentiel gravitationnel et résolution des équations du mouvement (partie N-corps Particle-Mesh *PM*)
- Résolution des équations hydrodynamiques (partie *SPH*)
- Formation stellaire (conversion particules de gaz en particules stellaires, *SF*)
- Évolution stellaire (perte de masse des particules stellaires, réinjection de masse et d'énergie dans le gaz)
- Évolution chimique (détermination de la nature et des quantités de métaux rejetés par les étoiles)
- Refroidissement (calcul fonction de refroidissement du gaz)

Les parties « évolution stellaire », « évolution chimique », « refroidissement », formant le nouveau module *chemodynamique*, connectent la physique à grande échelle (étoiles, gaz) à la physique microscopique (dont l'échelle est inférieure à la résolution spatiale et temporelle du code). Ces parties ont fait l'objet de développements soutenus depuis 2004 afin de prendre en compte la physique multi-échelle et sous-maille indispensable pour les futurs défis. Cependant, ces améliorations ont non seulement complexifié le code (en

mélangeant divers langages et diverses manières d'écrire du code) mais aussi ont dégradé ses performances.

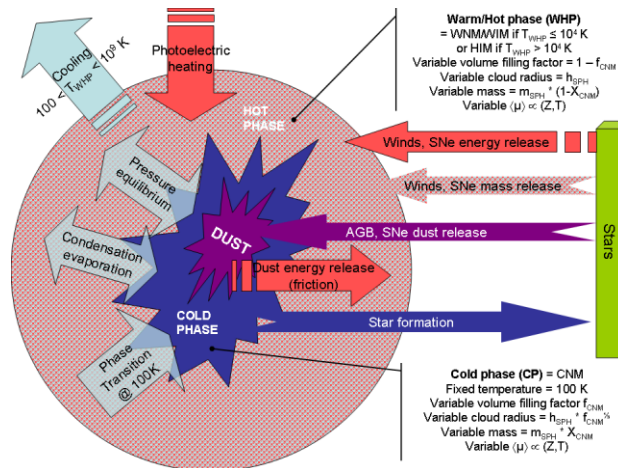


Figure 1: Schéma de principe du fonctionnement du module chemodynamique

## (2) les objectifs attendus

Le code devra in fine être performant sur des architectures multi-cœurs (comme des bi-quad cœurs INTEL) et être éventuellement utilisable en version massivement parallèle sur un centre de calcul national ou le mésocentre de l'UDS.

## (3) la méthodologie

Dans un premier temps, la partie du code écrite en Fortran77 devra être partiellement ré-écrite en Fortran 9x (95 ou éventuellement 2003 si le compilateur INTEL l'accepte) afin de tirer profit des jeux d'instructions optimisées pour les architectures multi-cœurs. Des gains de performance devront être recherchés autant que possible avec des instructions OpenMP.

Les résultats obtenus seront systématiquement confrontés à des simulations précédentes afin de valider que les résultats soient physiquement pertinents.

La partie en Fortran95 disposant déjà d'instructions OpenMP, l'ensemble du code devra être re-testé pour vérifier ses résultats et ses performances.

Les verrous en matière de mémoire et de vitesse devront être identifiés et des solutions proposées.

Une solution en parallélisme massif (à base de MPI) pourra également être recherchée si la durée du stage le permet.

## Références:

Champavert N., 2008, thèse de doctorat de l'Université Claude Bernard Lyon I, sous la direction de H. Wozniak

Michel-Dansac, L. and H. Wozniak 2004, Astronomy and Astrophysics, 421, 863