

## Sujet de stage : Parallélisation d'un code de CFD

Ce stage consiste à paralléliser un code de calcul Navier Stokes. Il s'agit d'un outil développé par ASTRUM ST appelé FLUSEPA qui est notamment utilisé pour la prédiction des séparations d'étages de lanceurs en vol.

La particularité de cet outil est donc de pouvoir calculer des écoulements autour de plusieurs corps en mouvement relatif. Il utilise pour cela une méthode de type CHIMERE naturellement conservative.

Le code FLUSEPA est écrit en FORTRAN et emploie déjà une approche parallèle de type « OpenMP » qui consiste à effectuer les différentes itérations des boucles de calcul de grande taille sur différents cœurs de calcul, pourvu que ces itérations soient indépendantes les unes des autres et que les cœurs puissent travailler en mémoire partagée.

Cette approche permet effectivement une accélération importante des calculs, mais elle est néanmoins limitée par le type d'architecture informatique accessible. En effet sur les machines actuelles les plus répandues, le nombre de processeurs pouvant travailler en mémoire partagée avec une bande passante mémoire importante va de quelques unités à quelques dizaines d'unités.

Or, pour la préparation de l'avenir des calculs CFD, il est important de savoir traiter des maillages de plusieurs centaines de millions voire plusieurs milliards de cellules de discrétisation.

Pour cela il est nécessaire de tirer parti de toutes les méthodes de parallélisation accessibles (aujourd'hui et à venir) sur les machines massivement parallèles. Ces machines sont aujourd'hui constituées de plusieurs milliers de nœuds de calculs contenant chacun  $n$  cœurs (avec  $n = 2, 4, \dots$  voire plusieurs dizaines) travaillant en mémoire partagée. Il est donc crucial d'implémenter dans les codes une approche parallèle par décomposition de domaine et échange de messages qui permettra de mettre en œuvre des centaines voire des milliers de nœuds pour une simulation donnée.

Le stage proposé consiste à réaliser deux activités :

1. une première étape de parallélisation du code FLUSEPA avec l'approche MPI (parallélisme par décomposition de domaine et échange de messages). Cette première étape consistera à implémenter cette approche sans remettre fondamentalement en cause la structure actuelle des données du code. L'objectif visé est de faire fonctionner le code sur quelques dizaines de nœuds de calcul, tout en conservant le parallélisme OpenMP sur chaque nœud. Ainsi, cette étape permettra d'accéder à court terme à de l'ordre d'une centaine de processeurs (ou quelques centaines en fonction des machines). Le fait de se limiter à ce périmètre a trois conséquences intéressantes :
  - a. cela limite l'ampleur des modifications du code pour cette première phase de travail (conservation de la structure interne des principales sous-routines) ;

- b. cela permet, en combinant les parallélismes MPI et OpenMP, d'utiliser un nombre relativement important de cœurs sans pour autant nécessiter un équilibrage très fin des charges de calcul sur chaque nœud ;
  - c. cela permet au réalisateur de se familiariser avec la structure et l'algorithme du code pour réaliser l'étape deux.
2. Écriture d'un cahier des charges pour la réalisation ultérieure de la parallélisation massive du code. Le contenu de ce document résultera :
- a. de l'analyse de la structure fonctionnelle du code ;
  - b. des particularités applicatives du code : en effet la résolution d'écoulements autour d'objets en mouvement relatif conduit à avoir au cours des itérations successives de calcul un nombre variable de cellules de calcul actives. Ainsi pour préserver l'efficacité parallèle un équilibrage dynamique des charges sera très certainement nécessaire ;
  - c. de l'ensemble des techniques d'accélération parallèle accessibles et intéressantes au vu de l'évolution probable des architectures des machines massivement parallèles (OpenMP ; MPI ; utilisation d'accélérateurs de type GPU).

Ce cahier des charges servira de référence à la réalisation ultérieure d'une thèse mettant en œuvre la parallélisation massive du code FLUSEPA. Ce travail de thèse pourra être naturellement poursuivi par l'étudiant ayant réalisé ce stage.

**Profil attendu :**

Etudiant en master recherche ou dernière année d'école d'ingénieurs avec des compétences et des motivations fortes en HPC et pour la simulation numérique. Une formation en informatique du HPC et/ou en mathématiques appliquées est donc souhaitée.

**Lieu du stage :**

Le stage se déroulera à la fois dans les locaux d'ASTRIUM aux Mureaux et à Inria Bordeaux-Sud Ouest au sein de l'équipe-projet HiePACS. Le stage est rémunéré par ASTRIUM.

**Contacts :**

ASTRIUM :

Jean-François Pallegoix ([JEAN-FRANCOIS.PALLEGGOIX@astrium.eads.net](mailto:JEAN-FRANCOIS.PALLEGGOIX@astrium.eads.net))

Pierre Brenner (Pierre Brenner [PIERRE.BRENNER@astrium.eads.net](mailto:PIERRE.BRENNER@astrium.eads.net) )

Inria Bordeaux – Sud-Ouest :

Olivier Coulaud ([Olivier.Coulaud@inria.fr](mailto:Olivier.Coulaud@inria.fr))

Luc Giraud ([Luc.Giraud@inria.fr](mailto:Luc.Giraud@inria.fr))

Jean Roman ([Jean.Roman@inria.fr](mailto:Jean.Roman@inria.fr))