



ÉCOLE CENTRALE LYON

UE PRO

**PROJET D'ÉTUDES N°38 : SIMULATIONS D'ÉCOULEMENTS
POUR DES APPLICATIONS SPATIALES À L'AIDE D'UNE SUITE
LOGICIELLE LIBRE**

Rapport d'avancement - 16/03/2022

Période du 01/12/2021 au 16/03/2022

Chef de projet :
Grégoire POUTHIER
Equipe projet :
Jiashuo GUO
Corentin BRAULT
Zakaria KABARA
Ziyu ZHOU
Malo FLORY

Commanditaire :
Centrale Lyon Cosmos

Tuteur :
M. Christophe CORRE

Conseiller en communication :
M. Patrick PONS

Conseiller en gestion de projet :
M. Frédéric DUBREUIL

1 Résumé

1.1 Rappels

Le PE n°38 consiste à l'implémentation et la documentation d'une chaîne de calcul de mécanique des fluides numériques. Ce projet est commandité par l'association Centrale Lyon Cosmos (CLC). Il répond au manque de documentation concernant la suite logicielle Fluent actuellement employée, et cherche à s'affranchir des limites imposées par les licences étudiantes. La documentation produite sera facilement disponible via un site internet regroupant notre documentation concernant l'installation de la chaîne et son utilisation.

1.2 Travail effectué

Durant les 19 séances de 4h effectuées, le groupe a avancé dans ses 3 objectifs : se former à la CFD avec la chaîne de calcul (1), documenter la chaîne de calcul (2) et créer un site pour faciliter l'utilisation de notre chaîne de calcul (3).

(1) Apprendre à utiliser la chaîne de calcul en réalisant puis modifiant 2 tutoriels de SU2. M. Corre a également aidé dans la compréhension de la CFD. Il n'y a aucun livrable sur cette tâche et l'avancement est estimé à 75%, avec un coût de 36 heures ingénieur¹.

(2) Adaptation de la documentation des 2 tutoriels réalisés et déterminer les cas d'intérêts avec le CLC. L'avancement de cette tâche est estimé à 60% avec un coût de 50 heures ingénieur. En effet, ces derniers ont été réalisés pour des cas simples, mais il manque à implémenter ceux en lien avec les travaux en cours.

(3) Création d'un site, hébergé sur *GitHub Pages*, contenant une partie des tutoriels réalisés et de la documentation de la chaîne de calcul. L'avancement de cette tâche est estimé à 80% avec un coût de 5 heures ingénieur. Il manque encore une section F.A.Q (une liste de toutes les difficultés rencontrées est actuellement en train d'être créée), ainsi que déposer les futurs tutoriels sur des cas plus complexes.

1. 1 heure ingénieur = 50€ ; 1 heure élève-ingénieur = 10€

Table des matières

1	Résumé	1
1.1	Rappels	1
1.2	Travail effectué	1
2	Introduction	3
2.1	Glossaire	3
3	Corps	4
3.1	Suivi du projet	4
3.2	Suivi du budget	7
4	Conclusion	7
5	Annexes	7
5.1	SOCBT	7
5.2	Bosse dans un canal	8
5.3	Cylindre frappé par un courant laminaire	8
5.4	Page internet du projet	9

2 Introduction

Dans ce rapport, l'avancement du projet sera abordé avec une décomposition par ensemble de tâches (WP). Pour chaque tâche, un avancement tenant compte de ce qui avait été planifié à l'occasion du RVP1 sera présenté.

2.1 Glossaire

CLC : Centrale Lyon Cosmos, commanditaire du projet

CFD : Computational Fluid Dynamics. Discipline étudiant les simulations d'écoulements fluides.

Solveur : outil CFD permettant de simuler des écoulements en résolvant de façon discrète les lois de conservation qui les régissent.

Maillage : discréétisation de l'espace sur lequel les calculs de CFD sont appliqués **Mailleur** : outil CFD permettant de construire les maillages des domaines fluides auxquels seront appliquées les méthodes de discréétisation du solveur CFD. Le mailleur peut inclure un modeleur géométrique permettant de construire les surfaces limitant le domaine fluide ensuite maillé.

Outil de visualisation : logiciel permettant de produire des représentations graphiques (champs 3D et 2D, distributions 1D, etc) des solutions discrètes du solveur CFD.

SU2 : Solveur CFD libre de droits (LGPL 2.1) utilisé dans le PE.

Ansys Fluent : Logiciel de CFD commercialisé par la société Ansys.

GMSH : Logiciel de maillage libre de droits utilisé pour le PE.

Paraview : Logiciel libre d'analyse et de visualisation des données

3 Corps

3.1 Suivi du projet

Le projet est en bonne voie d'avancement, bien que souffrant d'un léger retard, probablement dû à une programmation des tâches trop ambitieuse. Cependant, l'équipe progresse bien dans sa maîtrise de la CFD, et le retard ne concerne pas le chemin critique du projet (voir Figure 4).

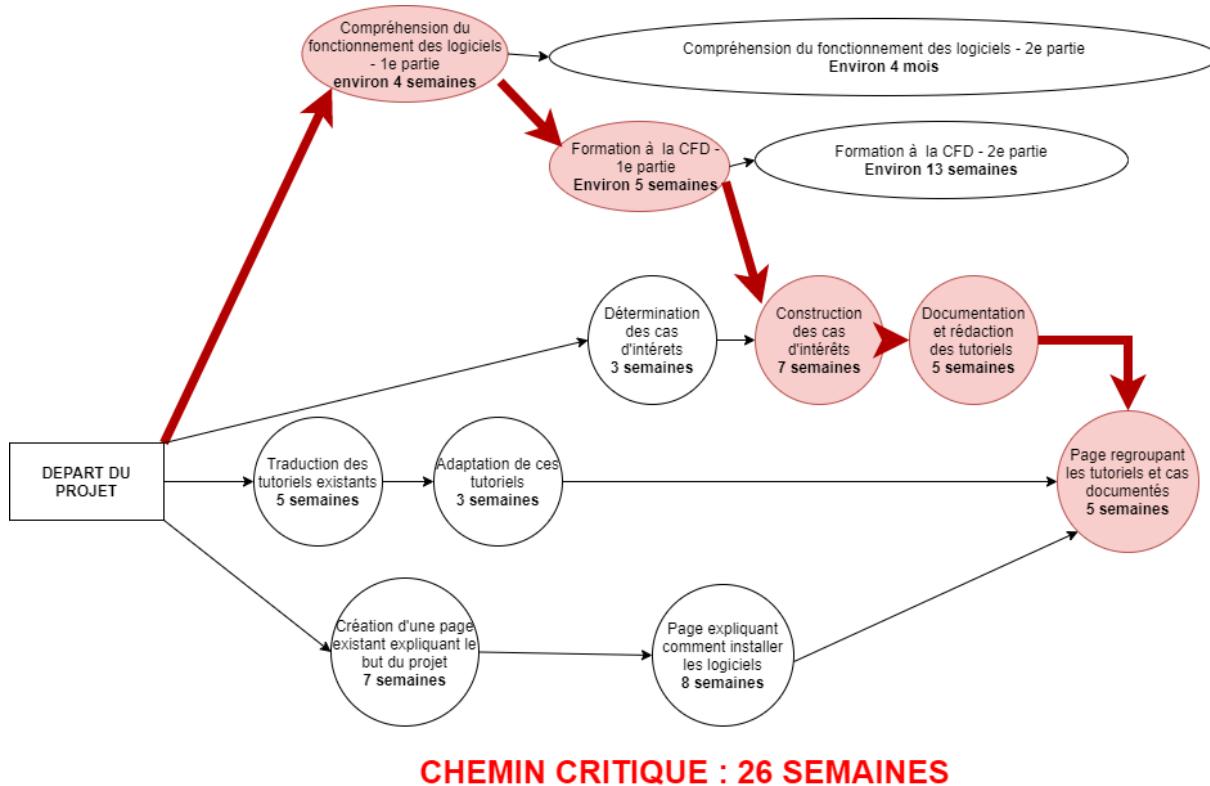


FIGURE 1 – Chemin critique du projet

États d'avancement :

Formation à la CFD : Pour le moment, le maillage des cas simples suivants ont été réalisés :

- maillage ogive cylindrique à queue biseautée avec un raffinement progressif dans une couche proche de l'objet (SOCBT) (voir Figure 5 en Annexe et Figure 3)
- création d'une géométrie 2D axisymétrique à partir d'une géométrie 3D de tuyère envoyée par CLC (voir Figure 2)

La simulation d'écoulement subsoniques puis supersoniques ont été réalisés :

- Bosse dans un canal avec un fluide laminaire (subsonique) (voir Figure 6)
- Cylindre frappé par un courant laminaire (subsonique) (voir Figure 7)
- Ogive frappée par un courant non-laminaire sans incidence (supersonique)

Dans la continuité de la simulation, les résultats de la simulation pour les cas simulés cités précédemment ont été observés : nombre de Mach, champ de pression, lignes de courant... (voir Figures 6 et 7)

Enfin, des sources d'erreurs rencontrées lors du maillage ou dans l'analyse des résultats ont été

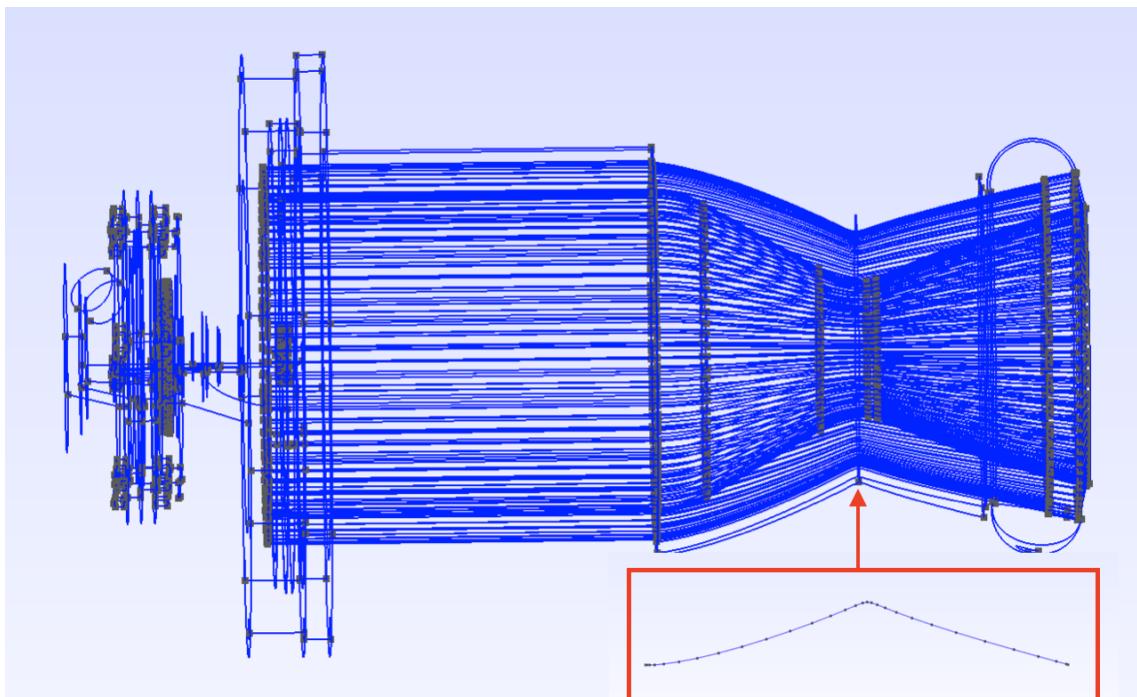


FIGURE 2 – Géométrie 2D axisymétrique extraite de la géométrie 3D de tuyère envoyée par CLC

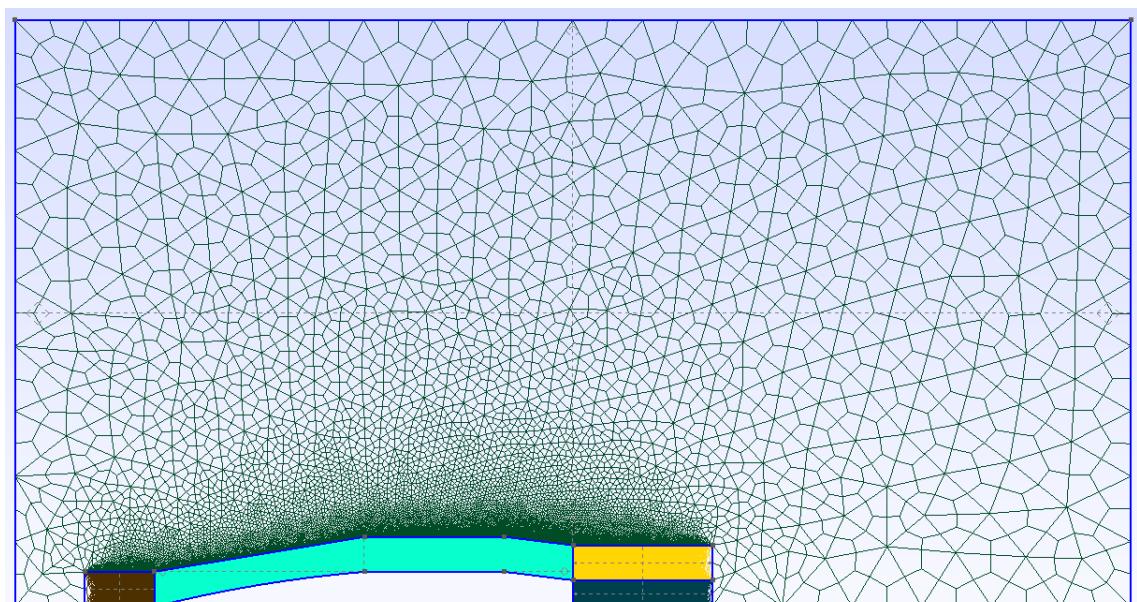


FIGURE 3 – Maillage progressif de l'espace autour d'une ogive

mises en lumière : maillage discontinu, erreur dans les fichiers de configuration.

En ce qui concerne les cas d'intérêts pour le CLC, ceux-ci ont été établis avec l'aide de ces derniers au cours d'un rendez-vous. Une géométrie tridimensionnelle d'une tuyère utilisée par le projet Perseus (WP3) a notamment été récupérée. Comme mentionné précédemment, une géométrie 2D axisymétrique en a été extraite sur laquelle on peut alors effectuer les simulations. En parallèle, l'étude d'une ogive peut constituer un autre cas d'intérêt, puisque ressemblant grossièrement à un fusée, mais il reste à encore à créer un maillage modélisant exactement une coiffe de fusée pour obtenir des résultats vraiment proches des attendus.

Concernant le **site internet du projet** (voir Figures 8 et 9), il y a à la fois de l'avance et du retard. La page détaillant comment installer les logiciels n'a pas encore été réalisée, mais cette tâche n'est à priori pas longue. À l'inverse, la tâche traitant de la page contenant les tutoriels est en avance, contenant notamment de la documentation sur l'utilisation des logiciels et sur les difficultés rencontrées au cours des simulations.

À propos de la **rédaction des tutoriels sur les différents cas d'intérêt**, la mise à jour de notre site internet au niveau des tutoriels n'est pas exactement en phase avec les tâches réalisées. En effet, il faudra plus de temps afin de capitaliser le retour d'expérience (et régler certains problèmes techniques) afin d'établir des tutoriels clairs et concis. Ainsi, la tâche "documentation et rédaction des tutoriels" sur les cas d'intérêt n'a pas encore commencé bien que des premiers résultats à décrire et documenter soit disponibles.

Au vu du travail effectué exposé ci-dessus, le Gantt initial peut être actualisé pour prendre en compte de l'avancement réel du projet :

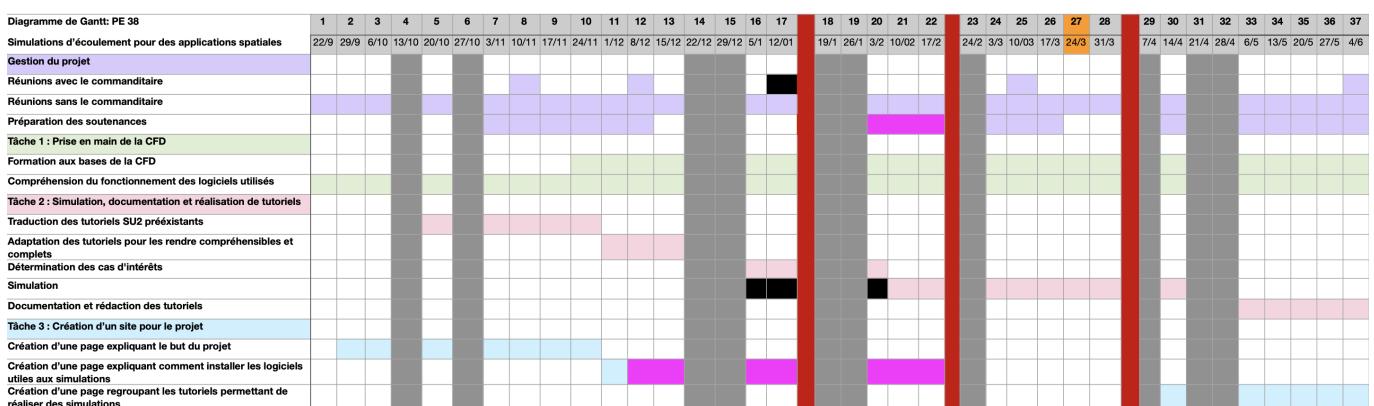


FIGURE 4 – Gantt actualisé du projet

En **rose**, les tâches sur lesquelles planifiées, mais non réalisées. En **noir** celles qui sont réalisées, mais qui n'avaient pas été planifiées.

On peut remarquer un grand retard sur la tâche de création d'une page d'aide à l'installation des logiciels, mais comme expliqué plus haut, cette tâche ne prendra pas beaucoup de temps et n'est pas critique.

Ce retard s'explique par l'attention portée à la formation à la CFD ainsi qu'aux simulations. Ces deux tâches sont critiques, il est donc essentiel de ne pas prendre de retard dessus. La

réalisation de ces tâches prennent plus de temps que prévu initialement notamment à cause de problèmes non anticipés. Les problèmes rencontrés ont en grande partie été résolus avec l'aide et l'expérience précieuse de M. Corre.

3.2 Suivi du budget

Précisons avant tout que les coûts de notre PE sont le temps du groupe et des intervenants ainsi que les coûts d'occupation des salles par l'école. Ce qui fait que notre suivi du budget est corrélé avec l'avancement du projet en termes de tâche.

Le coût du projet initialement estimé est de 122 heures ingénieur, et le coût pour arriver à l'avancement actuel est de 90 heures ingénieur. Soit une utilisation des coûts estimée de 73,5%. Alors que notre avancement en terme de tâche est estimé à 68%.

Grâce aux outils de suivi de projet mis en place initialement, on peut en déduire qu'un retard a été pris au sens du budget dû au retard pris sur certaines tâches.

4 Conclusion

En conclusion, le projet est en bonne voie d'avancement. Les retards et avances se compensent à l'échelle globale du projet, et les tâches faisant partie du chemin critique sont parfaitement dans les temps. La formation à la CFD avance à un rythme suffisamment élevé pour soutenir les objectifs (cas d'intérêts, alimentation du site web), et les livrables sont en cours de création, le tout sans aucun dépassement des frais prévus.

5 Annexes

5.1 SOCCT

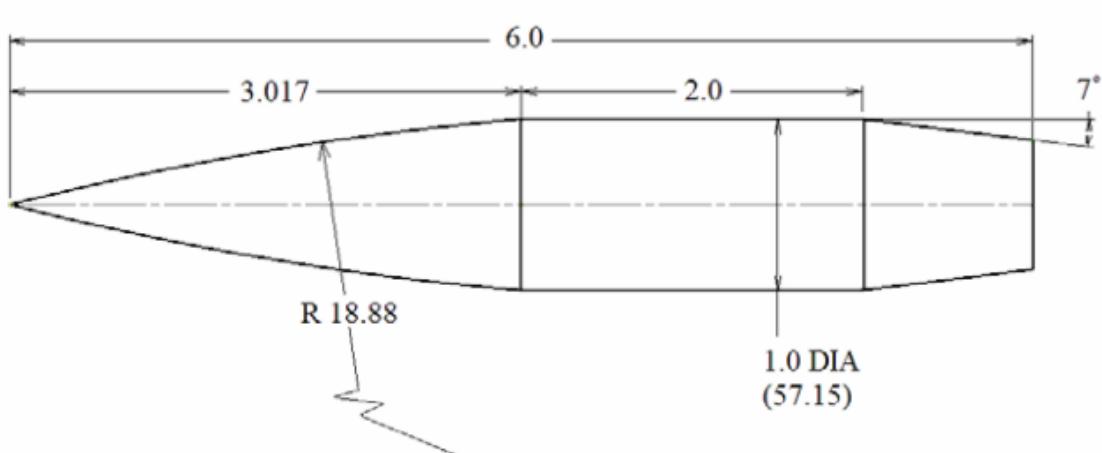


FIGURE 5 – Schéma du projectile étudié : Secant Ogive Cylinder Boattail (SOCCT)

5.2 Bosse dans un canal

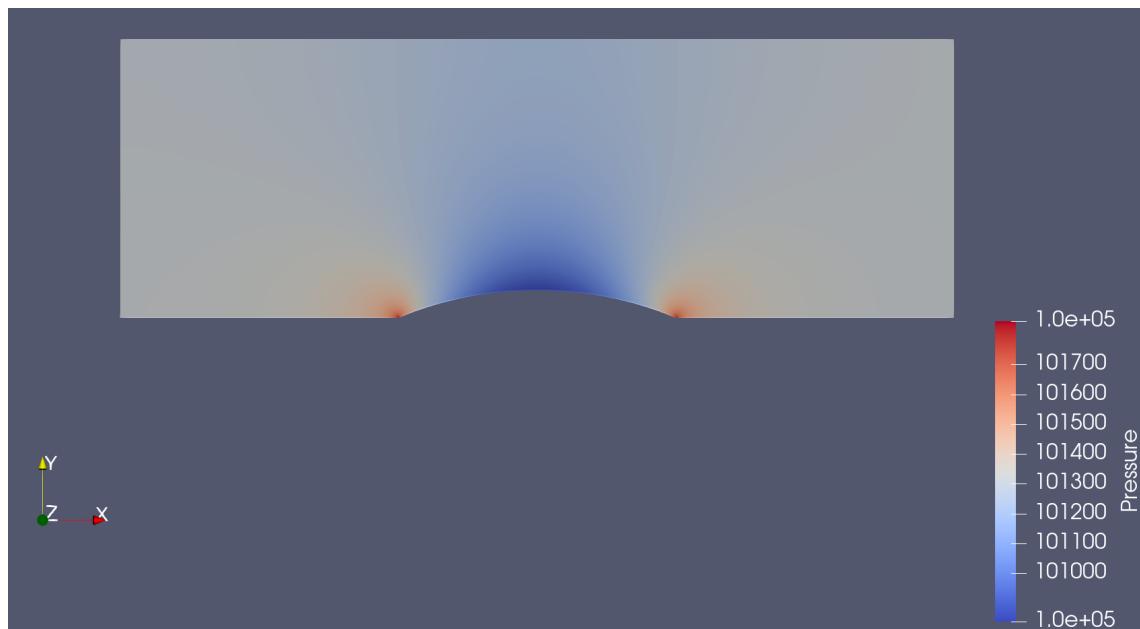


FIGURE 6 – Visualisation de la pression dans le canal

5.3 Cylindre frappé par un courant laminaire

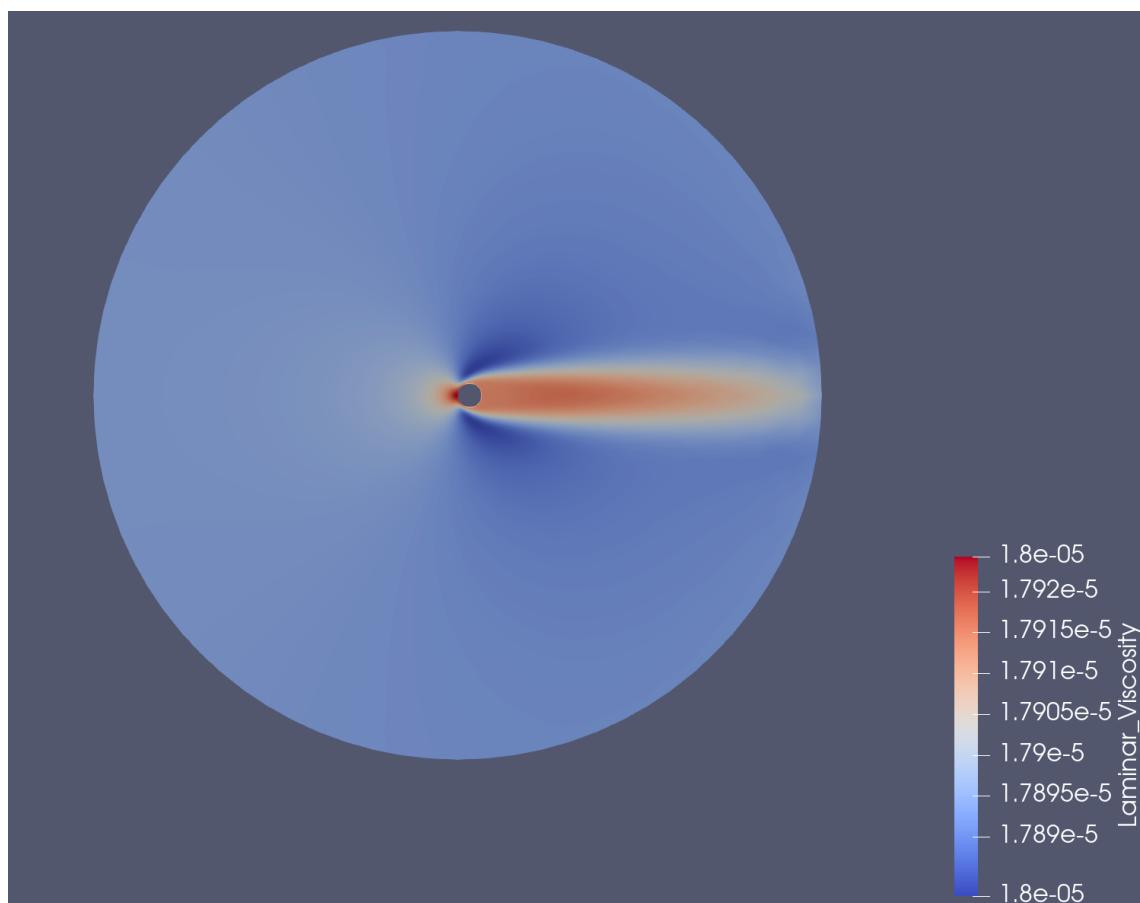


FIGURE 7 – Visualisation de la viscosité laminaire dans le cylindre

5.4 Page internet du projet



Simulations
Inviscid Bump
Laminar Cylinder
Annexes
ParaView

FIGURE 8 – Page tutoriels du site



Bosse dans un canal | Écoulement non visqueux

Objectifs

Après avoir terminé ce tutoriel, l'utilisateur sera familiarisé avec la simulation d'un écoulement interne non visqueux en géométrie 2D. La géométrie spécifique choisie pour ce tutoriel est un canal avec une bosse le long de la paroi inférieure. Par conséquent, les capacités suivantes de SU2 seront présentées dans ce tutoriel :

- Équations d'Euler 2D
- Conditions aux limites de l'entrée, de la sortie et de la paroi
- Le but de ce tutoriel est d'introduire un problème simple d'écoulement non visqueux et d'expliquer comment les marqueurs de frontières sont utilisés dans SU2. Ce tutoriel est utile pour montrer comment un calcul d'écoulement interne peut être effectué en utilisant les conditions limites d'entrée et de sortie.

Ressources

Vous pouvez trouver les ressources pour ce tutoriel dans le dossier `compressible_flow/Inviscid_Bump` dans le dépôt de tutoriel. Vous aurez besoin du fichier de maillage `mesh_channel_256x128.su2` et du

FIGURE 9 – Page du tutoriel sur inviscid bump