

Séance de Travaux Dirigés 1



Prise en main de l'outil : écoulement autour d'un disque

Objectifs de la séance

1. la mise en place de toute la chaîne de calcul liée à STAR-CCM+ pour l'étude de l'écoulement d'air autour d'un cylindre,

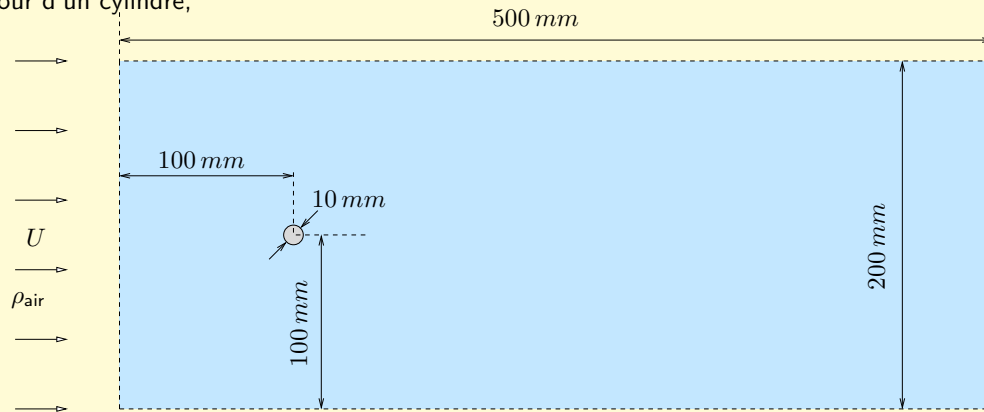


Figure 1 – Écoulement d'air autour d'un cylindre 2D

2. la confrontation du coefficient de traînée aux données expérimentales,
3. la mise en place d'un calcul similaire en 2D plan ;
4. la paramétrisation des longueurs en fonction du rayon du disque.

1 Analyse des besoins et préparation pour la mise en données

Répondre aux questions :

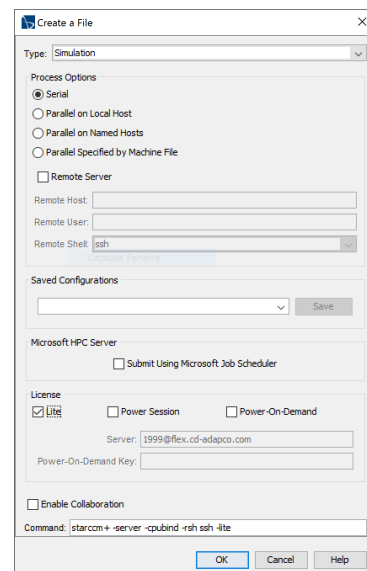
- Quels types de conditions aux limites ? (après avoir nommé les frontières).
- Quelles hypothèses de calcul pour le solveur CFD ?
- Calculer la vitesse U à imposer à l'entrée correspondant à un Reynolds ($Re = U d / \nu$) compris entre 300 et 10^5 .

Propriétés du fluide : $\rho_{air} = 1.225 \text{ kg/m}^3$, $\nu_{air} = 1.56 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

2 Lancement du logiciel

La procédure de lancement est ici classique. Conserver les options sélectionnées par défaut.

- ▷ Lancer StarCCM+ depuis le Panneau Windows
- ▷ Pour débiter une nouvelle session, **File** → **New**
- ▷ Pour recharger une ancienne session, **File** → **Load** puis sélectionner un fichier avec extension **.sim** à partir du menu **Browse**
- ▷ Valider par OK



3 Création de la CAO

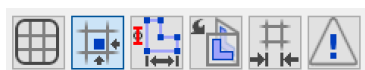
Important 1 Au lancement de StarCCM+, une session (sous la forme d'un onglet) intitulée "star 1" est créée par défaut avant d'être renommée par vos soins. Il est **OBLIGATOIRE** avant de quitter le logiciel, de fermer cette session en cochant la croix \times de fermeture de cet onglet, puis de quitter l'outil. Le risque est de conserver une session en mode batch (caché) et de consommer une licence pour rien...

3.1 Génération d'une CAO paramétrée

La procédure qui suit vise à montrer les outils et démarches permettant de dimensionner certaines positions et/ou longueurs en fonction d'un paramètre tel le rayon R du disque.

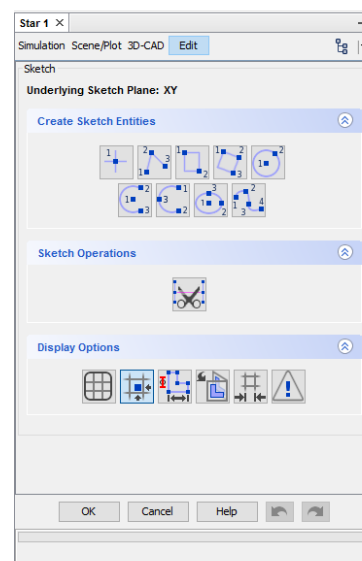
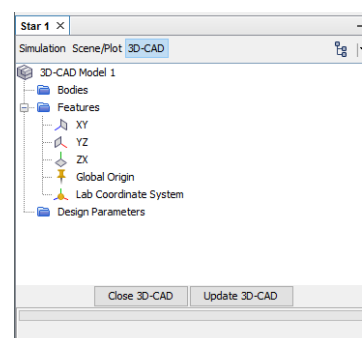
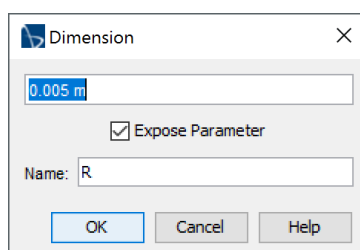
La CAO sera ici générée depuis l'outil 3D-CAD natif de StarCCM+. Il est tout à fait possible à termes d'intégrer une CAO générée depuis un autre outil en le sauvegardant sous un format universel .stp, .iges...

- ▷ Clic-droit sur **3D-CAD models** → **New**.
- ▷ Un nouvel onglet **3D-CAD** s'ouvre, le sélectionner.
- ▷ Sélectionner le plan de travail XY, puis clic-droit **Create Sketch**.
- ▷ Cliquer sur la 5ème icône pour définir les paramètres de mailles (0.1 m, 4)
- ▷ Cliquer sur la 4ème icône **View normal to sketch plane** du bandeau :



pour redéfinir le zoom sur la fenêtre de travail.

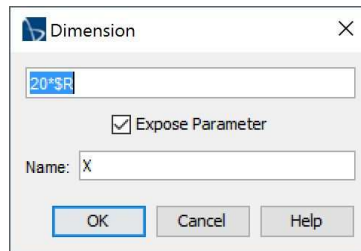
- ▷ Sous 3D-CAD, positionner un disque de rayon approximatif en le centrant en (0,0,0).
- ▷ Clic-droit sur le disque pour **Apply Radius Dimension**, imposer une valeur de 0.005 m, cocher **Expose Parameter** et enfin le nommer R .



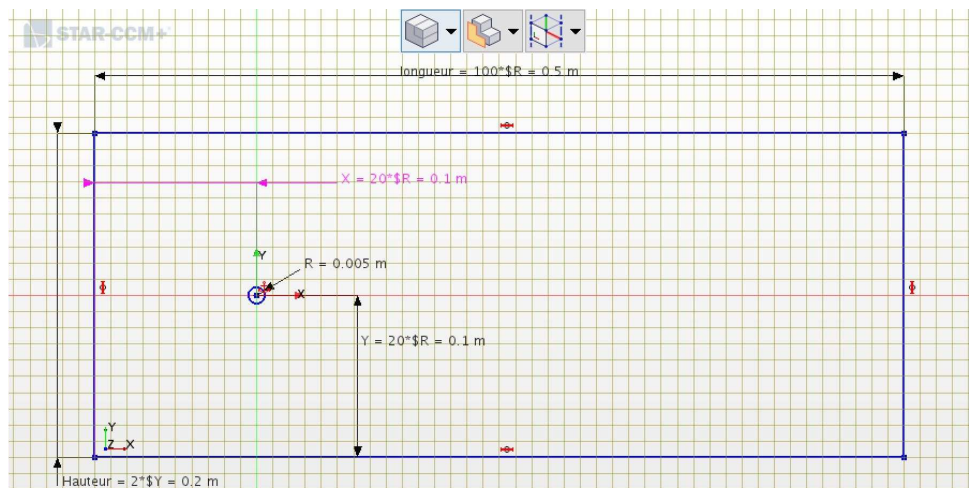
- ▷ Clic-droit sur le centre du disque et sélectionner l'option **Apply Fixation Constraint** pour bloquer ce point et ainsi pouvoir tout définir par rapport à cette origine.
- ▷ Positionner approximativement un rectangle délimitant la zone fluide autour du cylindre.
- ▷ Sélectionner à la souris le centre origine et, en maintenant la touche CTRL, sélectionner le point inférieur gauche du rectangle. Clic-droit et sélectionner **Apply Horizontal Distance**.
- ▷ Cocher **Expose Parameter**, le nommer **X** et imposer la valeur en tapant l'expression

$$20 * \$R$$

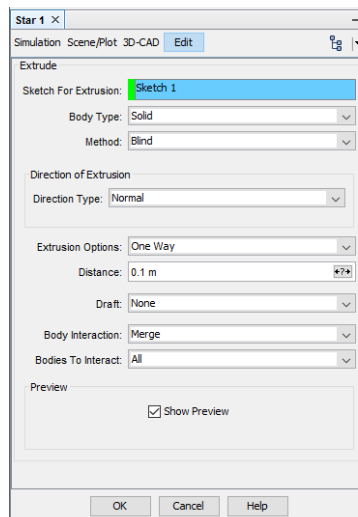
ou toute autre valeur, la valeur 20 n'étant donnée ici qu'à titre d'exemple.



- ▷ Procéder de même en sélectionnant **Apply Vertical Distance** à nommer **Y**...
- ▷ Nommer et exprimer la hauteur et la longueur du rectangle en nombre de rayons pour obtenir à la fin :



- ▷ Cliquer **OK** pour fermer le *sketch*
- ▷ Clic-droit sur **Sketch 1** → **Extrude**



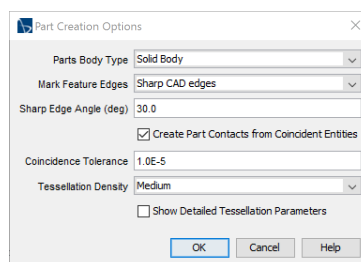
en spécifiant une distance de 1 cm, puis OK.

- ▷ Nommer toutes les surfaces en les sélectionnant avec un clic-droit, puis **Rename** (Face!). Définir ainsi *Entrée, Sortie, Sup, Inf, Gauche, Droite* et enfin *Cylindre*.
- ▷ Vérifier la liste des frontières ainsi définies en ouvrant **Bodies** → **Body 1** → **Named Faces**
- ▷ **Close 3D-CAD**

4 Création de la *Geometry Part* et de la *Region Part*

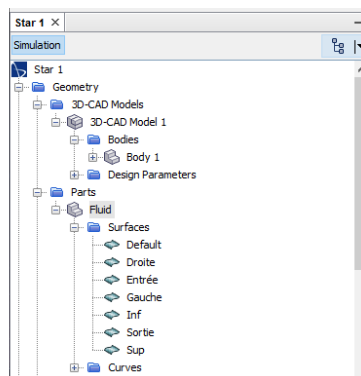
Cette étape va permettre la création d'une "part" de type géométrique directement manipulable par StarCCM+, l'objet créé au sein de 3D-CAD ne l'étant tout simplement pas.

- ▷ Création d'une **Geometry Part** avec clic-droit sur **3D-CAD Models 1** → **New Geometry Part**



Valider les options par défaut et OK.

- ▷ Ouvrir l'onglet **Parts**, renommer **Body 1** en **Fluid** et dérouler **Surfaces** pour lister les frontières¹.



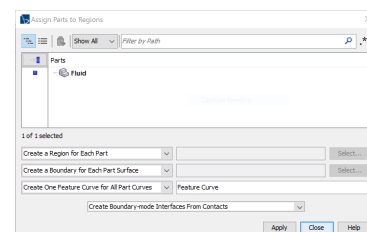
La Geometry Part est purement topologique et ne peut être associée à aucune discrétisation : c'est cependant le rôle de la "Region" qui doit maintenant être créée.

- ▷ Création des **Regions** avec clic-droit sur **Fluid** puis **Assign Parts to Regions....**

Sélectionner :

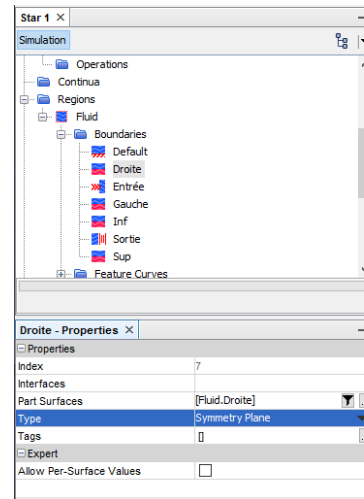
- **Create a Region for Each Part,**
- **Create a Boundary for Each Part Surface,**

puis **Apply** et enfin **Close**.



1. Lors de la rédaction de ce tutoriel, la frontière *Cylindre* a été omise et est donc associée à l'entité (voif Figures) nommée *Default* typée *Wall* par défaut

- ▷ Vérifier en déroulant l'onglet **Regions** → **Fluid** → **Boundaries** que les frontières apparaissent bien.
- ▷ En cliquant successivement sur toutes les frontières, définir son type en spécifiant :
 - ▷ **Velocity Inlet** pour la frontière **Entrée**,
 - ▷ **Pressure Outlet** pour la frontière **Sortie**,
 - ▷ **Symmetry Plane** pour les frontières **Inf**, **Sup**, **Droite** et **Gauche**.



Le fait d'avoir défini les types de conditions aux limites au niveau de la "Region" permet ainsi de les dissocier du maillage : celui-ci peut donc être renouvelé autant de fois que nécessaire sans perdre la moindre information quant au type de CL. De plus, le type de CL influe directement sur les modèles de maillage qui pourront être proposés : à titre d'exemple, toute frontière déclarée en tant que "Wall" se verra proposer une génération de couches prismatiques particulièrement bien adaptée à la capture d'une couche limite par exemple.

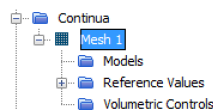
5 Génération du maillage

Lors de cette étape, le type de maillage est défini. Le fait d'avoir spécifié des CL de type "Wall" fait que l'option "Prism layer" sera proposée (à user sans limitation...).

D'autre part, une option intéressante proposée par "Surface Remesher" permet de "refacettiser" la géométrie afin de garantir une CAO de qualité avant maillage.

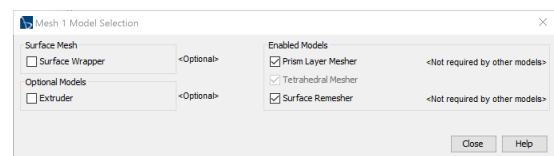
Ce premier maillage sera basé sur des tétraèdres : libre à vous de le modifier par la suite.

- ▷ Clic-droit sur **Continua** → **New** → **Mesh Continuum**



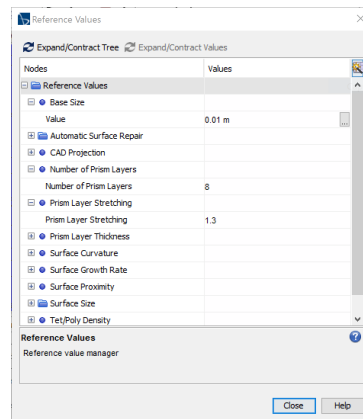
- ▷ Clic-droit sur **Mesh 1** → **Models** → **Select Meshing Models...** et cocher successivement :

- **Surface Remesher**,
- **Tetrahedral Mesher**,
- **Prism Layer Mesher**.



L'étape suivante consiste à définir les tailles des cellules, le nombre de prismes... les valeurs par défaut générant des maillages totalement inadaptés.

- ▷ Ouvrir **Reference Values** en double cliquant et modifier les paramètres :
 - **Base Size** à 0.01 m,
 - **Number of Prism Layer** à 8,
 - **Prism Layer Stretching** à 1.3.

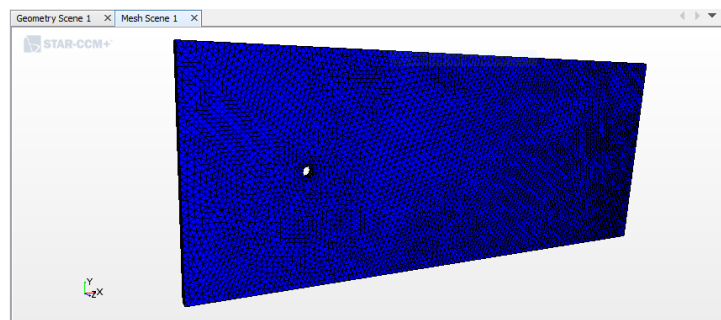


- ▷ Cliquer sur l'icône (bandeau du haut, 5ème de la liste illustrée ci-dessous)

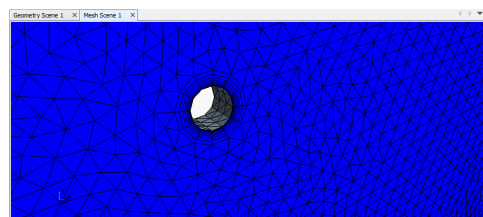


Generate Surface Mesh pour générer un premier maillage de surface

- ▷ Ouvrir une scène pour afficher le maillage (12ème de la liste)



- ▷ Cliquer sur l'icône (bandeau du haut, 6ème de la liste) **Generate Volume Mesh** pour générer un premier maillage de volume.

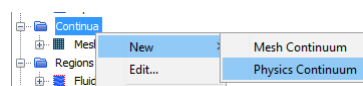


Clic-droit sur la scène et sélectionner **Apply Representation** → **Volume mesh** puis zoomer sur le cylindre pour vérifier la présence des couches de prismatiques.

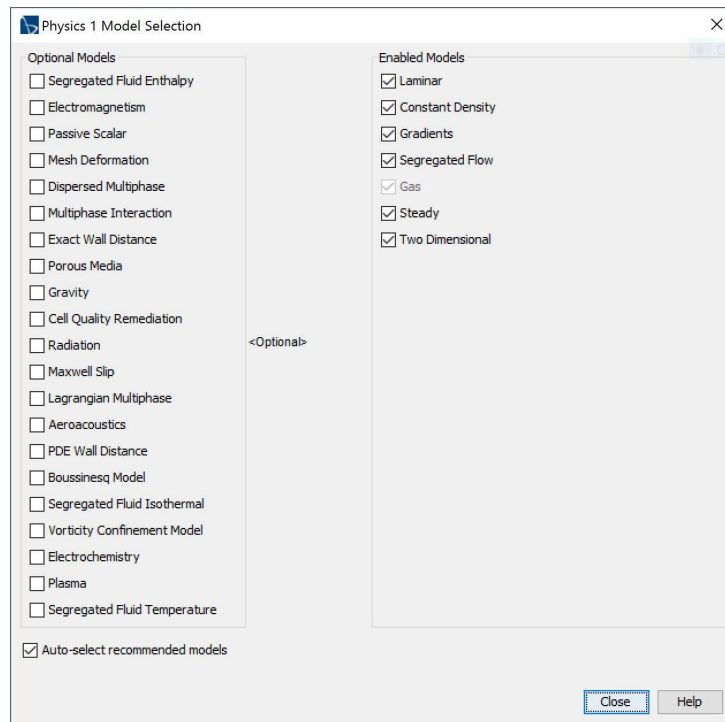
6 Mise en données CFD

Le maillage ayant été généré, l'étape suivante consiste alors à définir les modèles physiques associés (compressible, gaz/liquide, turbulent ...).

- ▷ Clic-droit sur **Continua** → **New** → **Physics Continuum**



- ▷ Double cliquer sur **Continua** → **Physics 1** → **Models** et cocher les options illustrées ci-dessous



- ▷ Dans l'onglet **Initial Conditions** → **Velocity** renseigner la valeur de la vitesse² U en tapant *valeur 0 0* pour spécifier les trois composantes³,
- ▷ Dans l'onglet **Regions** → **Fluid** → **Boundaries** → **Entrée** → **Physics Value** → **Velocity Magnitude** renseigner la même valeur.
- ▷ Sélectionner un modèle de précision d'ordre 1 pour le terme de convection en **1st-order** dans **Continua** → **Physics 1** → **Models** → **Segregated Flows**

Quel est le fluide retenu par StarCCM+ par défaut ? Corriger si nécessaire.

7 Préparation des données d'affichage et calculs

7.1 Création d'une scène pour visualiser le champ de vitesse

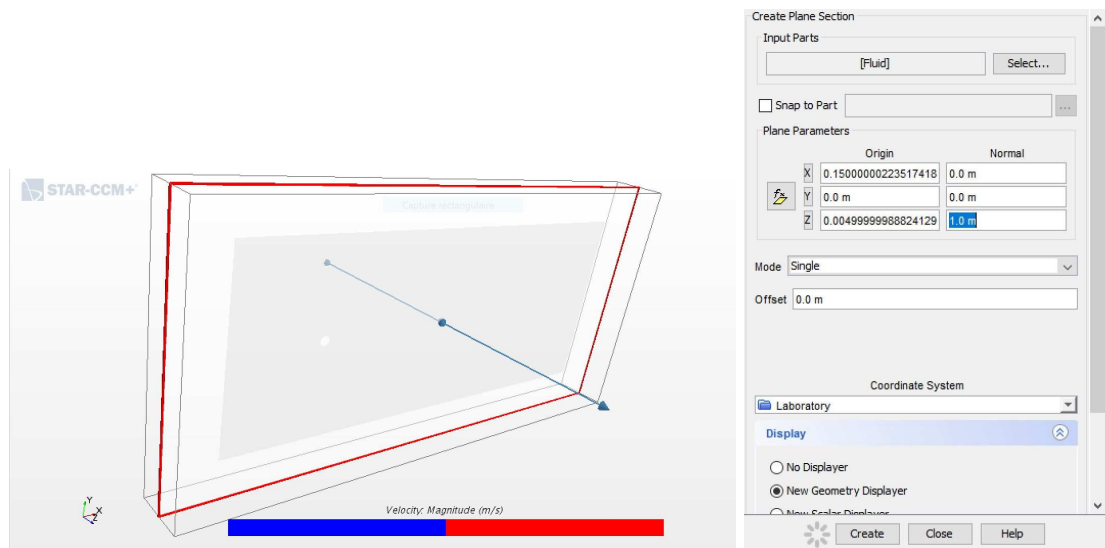
- ▷ Créer une nouvelle scène de type **scalar** (12^{ème} icône) puis clic-droit sur l'échelle de couleur et sélectionner **Velocity-magnitude**.
- ▷ Dans l'onglet **Scene/Plot**, ouvrir **Displayer** → **Scalar 1** et modifier **Contour Style** (en bas) en **Smooth Filled** (améliore le rendu visuel).

Le maillage étant 3D et par conséquent la solution, l'étape suivante consiste alors à extraire un plan de coupe 2D centré sur l'épaisseur, plan que l'on va associer au champ de vitesse.

- ▷ Dans l'onglet **Simulation**, clic-droit sur **Derived Parts** → **New Parts** → **Section** → **Plane**
- ▷ Dans la boîte de dialogue qui s'ouvre, orienter la normale du plan de coupe selon (0, 0, 1) en conservant un plan de coupe à mi-épaisseur du volume.

2. Calculée par vos soins...

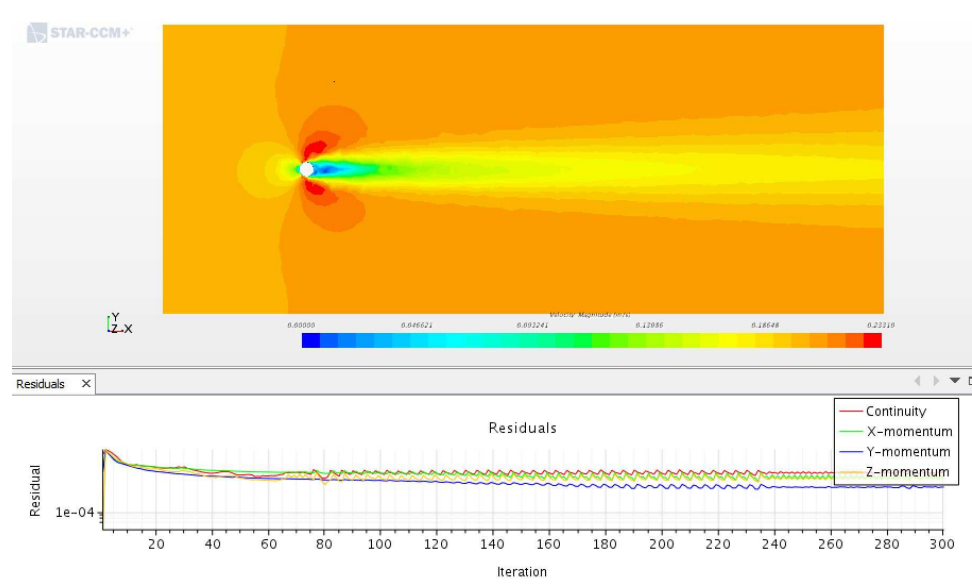
3. le terme *valeur* devant être remplacé par la valeur numérique de U , on est bien d'accord ?



- ▷ Cocher **Existing Displayer** et sélectionner **Scalar 1** dans le menu pour associer ce plan à la scène nouvellement créée.
- ▷ Cliquer **Create** et puis **Close**

7.2 Initialisation et lancement du calcul

- ▷ Cliquer sur l'icône (Drapeau vert) **Initialize Solution**
- ▷ Ouvrir onglet **Stopping Criteria** et renseigner **Maximum Steps** à 300 le nombre d'itérations pour le calcul.
- ▷ Effectuer un premier pas (et un seul) de calcul en cliquant sur l'icône du bandeau du haut **Step**
- ▷ Repositionner les fenêtres de façon à visualiser simultanément le champ de vitesse et les courbes de résidu (déplacer vers la droite ou le bas avec la souris).
- ▷ Lancer le calcul en cliquant sur l'icône du bandeau du haut **Run**



Vous devriez voir en simultané, le tracé des courbes de résidu (combien de courbes et est-ce logique?) en fonction du nombre d'itérations ainsi que le champ de vitesse se mettre   jour.

8 Analyse post-traitement

8.1 Vérifications d'usage

- ▷ Vérifier la conservation des débits avec :
 - Clic-droit **Reports** → **New Reports** → **Element...** → **Mass Flow**
 - Sélectionner la section d'intérêt (Sortie par exemple).
 - Clic-droit sur **Mass Flow 1** → **Run Report** qui affiche la valeur en bas (attention à bien prendre en compte l'épaisseur). Possibilité de le faire tracer pendant le calcul.
- ▷ Calculer le coefficient de traînée (possibilité de le faire afficher aussi au cours du calcul) défini pour un cylindre de diamètre d par :

$$\text{Force de traînée} = \frac{1}{2} C_x \rho U^2 S \quad \text{avec} \quad S = d \times 1$$

en opérant par :

- Clic-droit sur **Reports** > **New Reports** > **Element count...** > **Force Coefficient**
- Sélection **Force coefficient** et renseigner les valeurs de *Reference* pour la densité (air), la vitesse (U) et la section (soit le diamètre à imposer),
- Clic-droit sur **Force coefficient** → **Run Report** qui affiche la valeur en bas.
- ▷ Comparer le coefficient de traînée à des mesures expérimentales :

Figure 6 : COEFFICIENT DE TRAINEE DE PRESSION D'UN CABLE

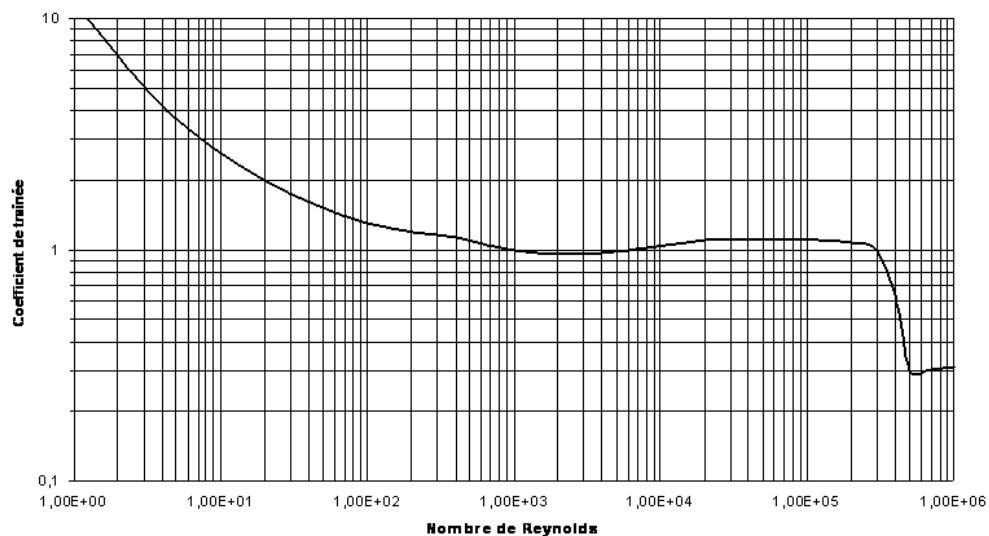


Figure 2 – Mesures expérimentales du coefficient de traînée d'un cylindre placé dans un écoulement

8.2 Liste non exhaustive des améliorations possibles

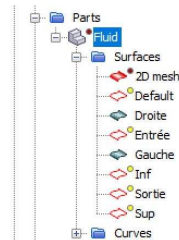
- ▷ Améliorer l'ordre de précision en sélectionnant successivement le second et troisième ordre en espace dans **Continua** → **Physics 1** → **Models** → **Segregated Flows**. Qu'observez-vous ?
- ▷ Affiner le maillage...

9 Extraction du plan ($z = 0$) pour réaliser un calcul 2D

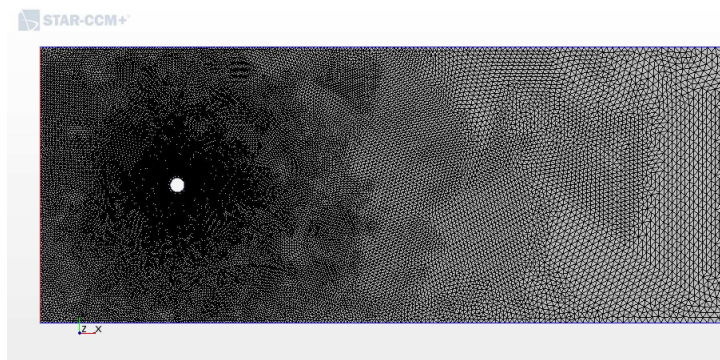
Cette approche n'est rendue possible qu'à partir d'une CAO 3D présentant un plan confondu avec le plan ($z = 0$). Cette procédure repose sur une **Operation**, à savoir l'utilisation d'une fonction qui va **Badger** le plan requis puis l'extraire, laissant la possibilité alors d'éliminer les données 3D.

La procédure qui suit se situe donc juste après la création de la CAO 3D et avoir nommé les frontières. Il est important de nommer le plan ($z = 0$) (**2D mesh** par exemple).

- ▷ Clic-droit **Fluid** → **New Geometry Part.** . .
- ▷ Clic-droit sur **Geometry** → **Operations** → et sélectionner **New** → **Mesh** → **Badge for 2D meshing**
- ▷ Dans la fenêtre de dialogue qui s'ouvre, cocher **Fluid** si nommé ainsi, puis **OK**.
- ▷ Clic-droit sur **Badge for 2D meshing** puis **Execute**
- ▷ Vérifier alors en déroulant **Geometry** → **Parts** → **Fluid** qu'un **badge** est apparu sur les entités de surface et de contour. Tout maillage qui sera généré sera alors 2D. Un **badge** rouge foncé traduit la région 2D alors que les contours sont associés à un cercle jaune.



- ▷ L'étape d'après est classique et consiste à **Assign a Part to a New Region** : Clic-droit **Parts** → **Fluid** → **Assign Parts to Regions**
- ▷ Spécifier :
 - ▷ **Create a Region for Each Part,**
 - ▷ **Create a Boundary for Each Part Surface,**
 puis **Apply** et enfin **Close**.
- ▷ Procéder à l'identique en spécifiant le type de frontières (**Velocity inlet...**). Vous noterez que seules les frontières 2D apparaissent désormais dans **Regions** → **Fluid** → **Boundaries**
- ▷ Procédure de création de maillage avec clic-droit **Operations** → **New** → **Mesh** → **Automated mesh 2D**
- ▷ Clic-droit sur **Automated mesh 2D** → **Models** → **Select Meshing Models...** et cocher successivement :
 - ▷ **Triangular Mesher** (pour un maillage triangulaire par exemple)
 - ▷ **Prism Layer Mesher.**
- ▷ Ouvrir **Reference Values** en double cliquant et modifier les paramètres :
 - ▷ **Base Size** à 0.005 m ,
 - ▷ **Surface growth Rate** à 1.1 ,
 - ▷ **Number of Prism Layer** à 8 ,
 - ▷ **Prism Layer Stretching** à 1.3 .
- ▷ Cliquer sur l'icône de génération du maillage volumique (**Generate Volume Mesh**) (même si 2D sinon simple maillage du contour).
- ▷ Ouvrir une **Mesh Scene**



- ▷ La suite des opérations jusqu'au déroulement du calcul, est identique à celle d'un calcul 3D.

Ce que vous aurez appris à l'issue de cette session *TD1*

- Savoir dérouler une procédure complète (mais simplifiée) sous StarCCM+ pour étudier l'écoulement autour d'un cylindre pour un Reynolds donné,
 - générer la CAO (3D par défaut) depuis CAO-3D (2D plan puis extrusion),
 - générer un maillage
 - mettre en données les conditions de calculs (stationnaire, sans modèle de turbulence)
 - exécuter le calcul
 - post-traiter un champ de scalaire, un champ de vecteur, visualiser le C_D au cours du calcul.
- Savoir réaliser un calcul 2D plan en procédant :
 - par extraction du plan 2D ($z = 0$),
 - en générant un maillage 2D sur le plan extrait.

Fiche synthétique 1

STAR-CCM+ distingue les **Parts** de type :

- **Geometry** : CAO exclusive, affichage mais aucune discrétisation associée,
- **Regions** : variante discrétisée et donc manipulable au sens de la CFD,
- **Derived** : idem mais pour post-traitement.

Un **Continuum** représente un ensemble de modèles qui peuvent être de type **mesh** ou **physics** (CFD).

Fiche synthétique 2

Principaux jalons pour dérouler un calcul de A à Z :

- créer CAO et nommer les frontières,
- Créer **New Geometry Part**, renommer **Body** en **Fluid**,
- Appliquer **Assign Parts to Regions** (a region from each part !),
- Sélectionner le type de CL pour toutes les frontières (**Regions**→**Fluid**→**Boundaries...**)
- Générer maillage (**Continua**→**New**→**Mesh Continuum**)...
- Sélectionner les modèles CFD (**Continua**→**Physics 1**→**Models**)...
- Spécifier conditions initiales et valeurs des CL,
- Générer des séquences de post-traitement,
- Définir **Stopping Criteria**,
- Lancer le calcul,
- Analyser.

Fiche synthétique 3

Créer un maillage 2D directement à partir d'un plan issu d'une CAO 3D (approche conseillée) :

- Générer CAO 3D et s'assurer que le plan correspondant est bien $z = 0$,
- Créer **New Geometry Part**,
- Sélectionner **Operations**→**New**→**Mesh**→**Badge for 2D Meshing**,
- Clic-droit **Badge for 2D Meshing** nouvellement créé puis **Execute**,
- Clic-droit sur la **Part** puis **Assign Parts to Regions**,
- Créer un **Automated Mesh (2D)**,
- Générer le maillage.