

Séance de Travaux Dirigés 5

Canalisation 3D coudée en S (laminaire/turbulent)

Objectifs de la séance

1. Générer une géométrie de type conduite à section constante à partir d'un profil axial curviligne,

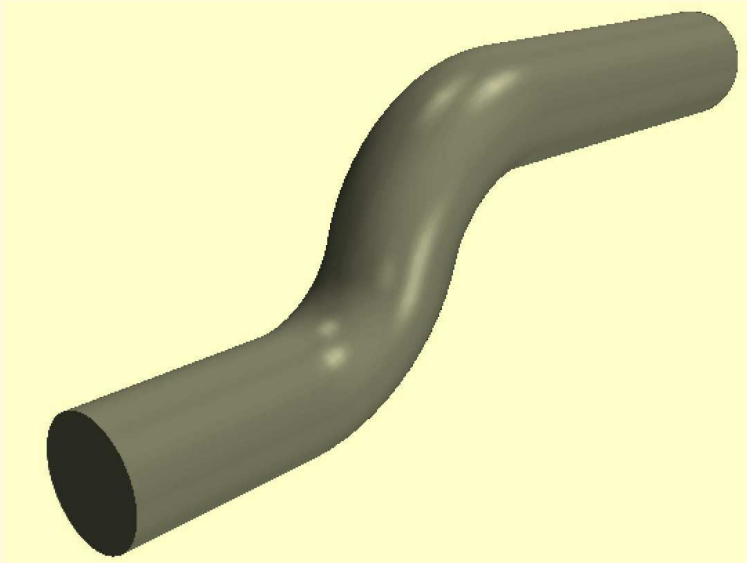


Figure 1 – Ecoulement 3D dans une conduite cylindrique en S

2. Comparer les solutions obtenues avec et sans modèle de turbulence pour deux Reynolds :

$$Re = \frac{UD}{\nu},$$

de 500 et 50000,

3. Extraire des plans de coupe pour analyse des champs de vitesse et de pression,
4. Initialiser un modèle de turbulence.

Déroulement

1. Création de la CAO 3D,
2. Génération d'un maillage basé sur une approche *Generalized Cylinder*,
3. Mise en données pour un Reynolds de 500 (laminaire) et calcul,
4. Même procédure pour un Reynolds de 50000 et mise en évidence du caractère instationnaire incompatible avec une approche stationnaire du calcul,
5. Prise en compte d'un modèle de turbulence RANS pour observer une amélioration de la convergence. Comparaison des différents modèles de turbulence RANS.

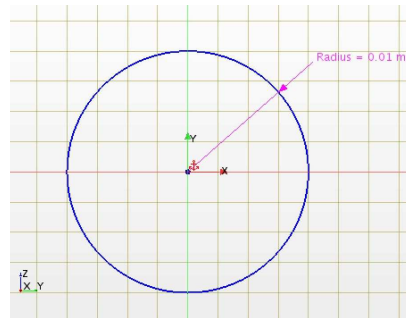
1 Création de la CAO

La création de la CAO s'appuie sur deux étapes consécutives :

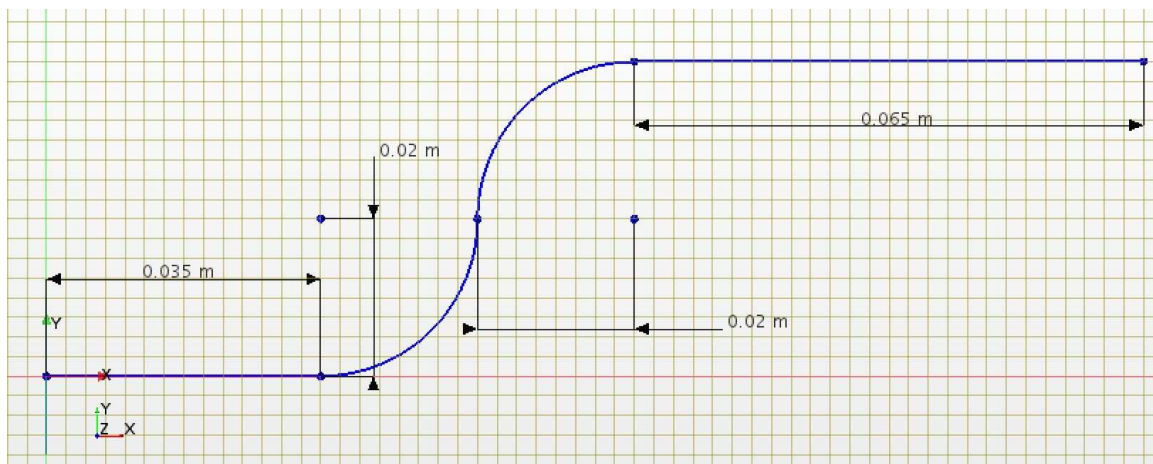
1. la définition de la section (disque) et de son axe curviligne moyen,
2. leur couplage (opération *swweep*) pour obtenir la canalisation 3D.

Sous 3D-CAD :

- ▷ **Disque** : sélectionner un plan de travail **YZ** pour générer un disque de rayon $R = 1\text{ cm}$, centré sur l'origine $[0, 0]$.



- ▷ Cliquer OK pour quitter le mode *Sketch*. Une entité *Sketch 1* a été créée.
- ▷ **Axe principal de la conduite** : sélectionner désormais un plan de travail **XY** et générer l'axe de la conduite (segments et arcs de cercle) en vous appuyant sur les dimensions illustrées ci-dessous. Positionner le premier segment sur son origine $[0, 0]$.



- ▷ Cliquer OK pour quitter le mode *Sketch*. Une entité *Sketch 2* a été créée.
- ▷ Sélectionner les deux entités *Sketch 1* et *Sketch 2* (maintenir la touche *Shift*) puis à l'aide d'un clic-droit, sélectionner l'opération **Create Sweep** afin de générer la géométrie 3D.
- ▷ Garder les valeurs par défaut et valider.
- ▷ Renommer le *Body 1* en *Fluid*.
- ▷ Nommer les frontières associées aux entrée/sortie. Pas utile de renommer la paroi qui sera identifiée en tant que *Default*.
- ▷ Quitter l'outil 3D-CAD.

La suite est *classique* et consiste successivement à :

- ▷ Créer la **New Geometry Part**
- ▷ Assigner une région physique **Assign Parts to Regions**,
- ▷ Spécifier les types de conditions aux limites pour *Entrée*, *Sortie*...

2 Création du maillage

La CAO étant de nature 3D, le maillage sera généré en deux étapes :

1. une première étape pour le maillage de surface,
2. une seconde pour le maillage volumique, ce dernier s'appuyant sur le maillage de surface.

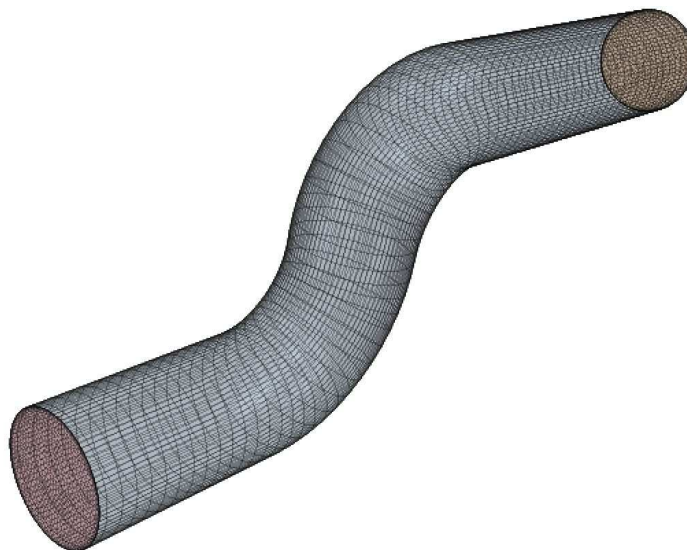
Procéder selon les étapes décrites ci-après :

- ▷ Clic-droit **New > Mesh Continuum**
- ▷ Clic-droit sur **Mesh 1 > Models** pour sélectionner :
 1. **Surface Remesher** (obligatoire en 3D surtout en cas d'importation de la CAO),
 2. **Polyhedral Mesher** (géométrie des cellules mieux adaptée dans ce cas),
 3. **Generalized Cylinder** (propagation d'un maillage le long de la conduite),
 4. **Prism Layer** (pour capter les couches limites).
- ▷ Renseigner les valeurs de paramètres suivantes :
 - **Base size** : $810^{-4}m$,
 - **Number of Prism Layers** : 5,
 - **Prism Layer Stretching** : 1.8,
 - **Percentage of Base** : 45 (épaisseur totale de la couche de prismes en pourcentage de **Base size**).
- ▷ Générer le maillage de surface en cliquant sur l'icône **Generate Surface Mesh** et le visualiser (si nécessaire clic-droit sur fenêtre graphique **Apply Representation** et sélectionner le maillage de surface).

Seconde et dernière étape pour le maillage volumique :

- ▷ Clic-droit **Mesh 1 > Models > Generalized Cylinder** et sélectionner **Manage Cylinders**.
- ▷ S'assurer que la frontière *Paroi* est bien cochée (apparaît sous le nom de *Default*).
- ▷ Ouvrir **Regions > Fluid** (si nommé ainsi) > **Boundaries > Default** (ou le nom donné à la paroi) > **Mesh Conditions > Generalized Cylinder Extrusion Type**
- ▷ Vérifier que l'option **Extrusion Type** est bien **Constant**.
- ▷ Dans **Default > Mesh values > Generalized Cylinder Parametrers**, noter que le **Number of Layers** est à 103 (paramètre calculé par StarCCM+ pour garantir un découpage compatible avec la taille de maille le long de la conduite).
- ▷ Générer le maillage volumique et le visualiser (corriger si nécessaire le mode de représentation à l'écran).

Vérifier sur la section d'entrée et à l'aide de l'outil de mesure des distances (*Measure Distance*), la longueur des cellules ($\sim 810^{-4}m$) et de la couche de prisme ($\sim 3.610^{-4}m$).



L'effet de transparence peut être directement géré depuis le menu **Scene/Plot**. Après avoir cliqué sur **Mesh 1**, modifier la valeur de **Opacity** à votre convenance.

3 Mise en données pour un calcul laminaire à $Re = 500$

- ▷ Clic-droit sur **Continua** > **Physics 1** > **Models** et sélectionner :
 - **Steady**
 - **Gas**
 - **Segregated Flow**
 - **Constant Density**
 - **Laminar**
- ▷ Corriger les propriétés physiques en spécifiant :
 - une masse volumique à $\rho = 1 \text{ kg/m}^3$,
 - une viscosité dynamique à $\mu = 1.71610^{-5} \text{ Pa.s}$.
- ▷ Imposer sur la frontière entrée, la vitesse moyenne correspondant à un Reynolds de 500.
- ▷ Imposer cette même valeur pour l'imposition de la condition initiale afin de faciliter la convergence.

4 Création d'un plan de coupe médian

L'objectif est d'extraire un plan de coupe médian pour faciliter la visualisation du champ de vitesse au cours de la convergence.

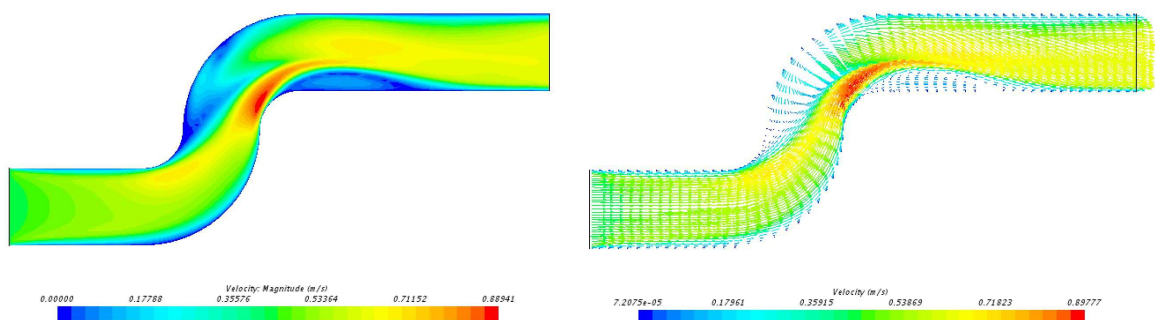
- ▷ Créer une *Scalar Scene* nommée *Scalar 1* par défaut.
- ▷ Création d'un plan de coupe : Clic-droit sur **Derived Parts** > **New Part** > **Section** > **Plane**
- ▷ **Input parts** : Fluid, **Normal** : [0, 0, 1], **Display** : Existing Displayer et sélectionner *Scalar 1*
- ▷ Dans le menu *Scene/Plot* spécifier le champ de vitesse et le **Contour Style** en tant que *Smooth Filled*.

Création d'un *Plot* pour visualiser le champ de vitesse :

- ▷ Créer une *Vector Scene* nommé *Vector 1* par défaut.
- ▷ Faites glisser le plan de coupe précédemment créé dans **Derived Part** vers la fenêtre graphique et sélectionner **Add to Vector 1**

5 Calcul et post-traitement

- ▷ Imposer 500 pas de calcul et sauvegarder sous le nom *sBendLaminar_Re500.sim*.
- ▷ Lancer le calcul. . . En cours de calcul, réarranger les fenêtres graphiques en les faisant *glisser* à la souris.
- ▷ Visualiser les champs scalaire et vectoriel de la vitesse. Repérez notamment les zones de décollement et de recollement de la couche limite.



- ▷ Refaire le même calcul en considérant désormais un Reynolds de 50000,
- ▷ Qu'observez-vous en terme d'analyse des courbes de résidu sur la convergence ? Concluez !

6 Mise en données pour un calcul turbulent à $Re = 50000$

La mise en place d'un modèle de turbulence ne se limite pas à *cocher le bon modèle* mais aussi à correctement initialiser l'écoulement ainsi que renseigner la condition d'entrée en terme d'intensité turbulente. Les règles concernant ce dernier point sont principalement empiriques et visent à injecter un écoulement établi (en amont du domaine) sur le plan de la turbulence afin d'éviter la mise en place de conditions laminaires transitant turbulent au milieu du domaine.

- ▷ Modifier la liste des modèles physiques en remplaçant le mode *Laminar* par *Turbulent* et en sélectionnant le modèle $k-\epsilon$.
- ▷ Modifier l'imposition des conditions initiales :
 - en vérifiant que la vitesse correspond bien à un Reynolds de 50000,
 - en imposant des valeurs pour la turbulence selon l'approche *intensité + longueur de mélange* :

Turbulence Specification > Method > Intensity+Length Scale

- ▷ **Turbulent Length Scale** : 0.0014 m
soit communément 7% du diamètre hydraulique de la conduite,
- ▷ **Turbulent Velocity Scale** : 4.29 m/s
soit $v = 10\%$ de la vitesse débitante U ,
- ▷ **Turbulent Intensity** : 0.12
pour 12%, valeur calculée d'après :

$$\mathcal{I} = \sqrt{\frac{3v^2/2}{U^2}}$$

- ▷ Imposer les mêmes valeurs pour les données spécifiques à la turbulence sur la frontière *Entrée*.
- ▷ Imposer un nombre d'itérations de 1000.
- ▷ Sauvegarder la simulation sous le nom `sBendTurbulent_Re50000.sim`.
- ▷ Effacer la solution précédemment calculée avec **Clear Solution**.
- ▷ Relancer le calcul et vérifier que le calcul converge désormais vers une solution stationnaire stabilisée.

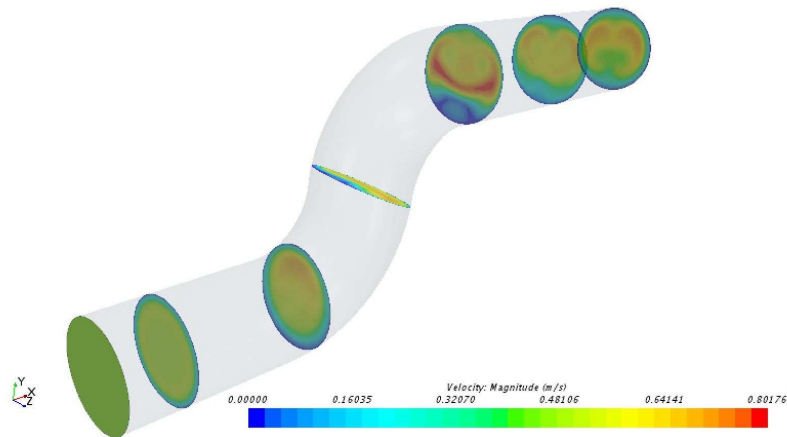
Il est aussi possible de dérouler la même procédure avec le modèle de Spalart-Allmaras et de comparer les résultats.

7 Complément de Post-traitement

Plans de coupe extraits de long de la conduite

La procédure se base sur :

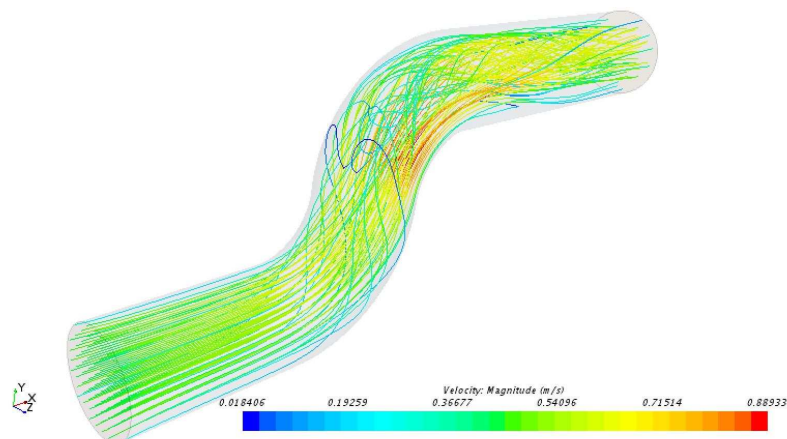
- ▷ la création d'autant de **Derived Parts** (associés à des plans de coupe) que vous le souhaitez et que vous orienterez à votre convenance,
- ▷ la création d'une *scalar scene* à laquelle vous associerez tous ces plans de coupe, sans oublier de spécifier le type de variable à afficher :
Dans le menu *Scene/Plot* : renseigner **Parts** et **Scalar Field**,
- ▷ (toujours) dans le menu *Scene/Plot* : affichage de la surface et contrôle de l'effet de transparence pour afficher la conduite en sur-impression.



Visualisation des lignes de courant

La procédure (nouvelle) se base sur les étapes :

- Clic-droit **Derived Parts** > **New Part** > **Streamline**,
- Sélectionner *Fluid* en tant que **Input Parts**,
- Sélectionner *Entrée* en tant que **Seed Parts** (plan de départ des lignes de courant),
- Imposer une résolution de 10×10 au lieu des 5×5 par défaut,
- Valider et fermer,
- Dans le menu *Scene/Plot*, afficher la surface et contrôler l'effet de transparence pour améliorer le rendu.



Pour un calcul turbulent, il peut être judicieux de visualiser :

- la distance y^+ de la première cellule à la paroi (à afficher sur la paroi de la conduite),
- la viscosité turbulente ν_t ,
- le coefficient de frottement pariétal τ_w (*Skin friction* ou *Wall shear stress*),
- ...