

Séance de Travaux Dirigés 2



Estimation de la perte de charge d'un diaphragme

Objectifs de la séance

1. mener un calcul 2D-axisymétrique avec les conditions aux limites *ad hoc*,
2. améliorer la qualité du maillage avec une zone de raffinement localisée autour du diaphragme,
3. exploiter un outil CFD pour déterminer un coefficient de perte de charge d'un diaphragme et de confronter les résultats aux mesures,
4. déterminer l'influence de la longueur du domaine (report de la CL de sortie) sur le résultat.

Le diaphragme est illustré ci-dessous, les sections (m^2) sont notées A_0 et A_1 , et les vitesses débitantes respectives U_0 et U_1 :

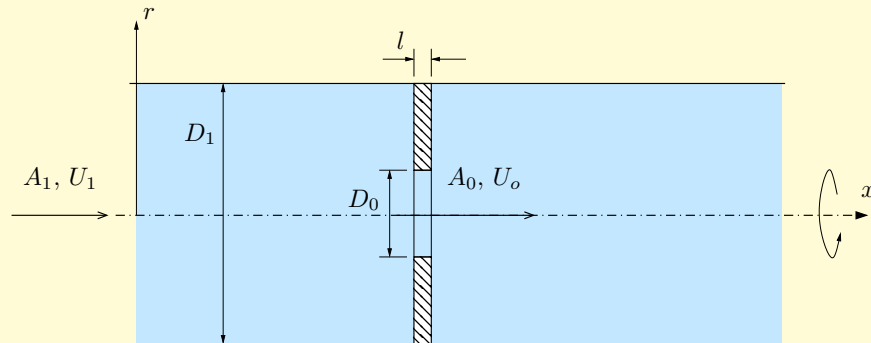


Figure 1 – Diaphragme dans une conduite cylindrique

$$D_0 = 18 \text{ mm}, \quad D_1 = 83 \text{ mm}, \quad l = 2 \text{ mm},$$

Le coefficient expérimental de perte de charge (source I.E. Idelchik, *Handbook of Hydraulic Resistance*, 4th Edition, p. 260) se calcule d'après :

$$\xi = \frac{\Delta p}{\rho U_1^2 / 2} = \left(\frac{1}{2} \left(1 - \frac{A_0}{A_1} \right)^{0.75} + \tau \left(1 - \frac{A_0}{A_1} \right)^{1.375} + \left(1 - \frac{A_0}{A_1} \right)^2 + \lambda \frac{l}{D_h} \right) \left(\frac{A_1}{A_0} \right)^2$$

avec

$$D_h = \frac{4A_0}{\Pi_0} = D_0, \quad \bar{l} = \frac{l}{D_h}, \quad \tau = (2.4 - \bar{l}) \times 10^{-\varphi}, \quad \varphi = 0.25 + \frac{0.535 \bar{l}^8}{0.05 + \bar{l}^7}.$$

Le coefficient de perte de charge répartie λ dépend du Reynolds (calculé sur la section A_0) mais pour la majorité des cas où $3000 < Re < 10^5$, on considère la formule de Blasius :

$$\lambda = \frac{0.316}{Re^{0.25}} \quad Re = \frac{U_0 D_h}{\nu}.$$

Le fluide considéré est de l'air de propriétés $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$ et $\nu = 1.56 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

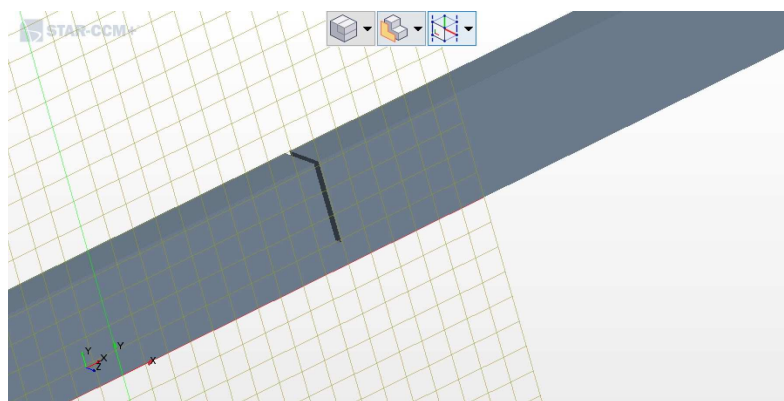
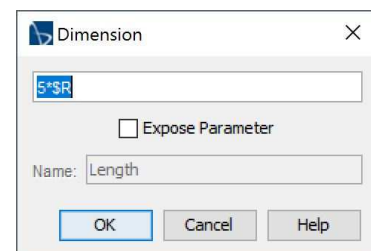
Déroulement

1. Quelles longueurs amont et aval du diaphragme allez-vous considérer ? Vous les exprimerez en *nombre de rayons* R_0 ou R_1 ¹
2. Calculer une vitesse moyenne U_O telle que $Re = 5000$. En déduire la valeur U_1 à imposer.
3. Réaliser un premier calcul avec une seule taille de maille (pas de raffinement localisé).
 - (a) lors de la sélection des modèles de calcul, spécifier une approche **Axisymmetric**
 - (b) Imposer une condition à la limite de type **Axis** pour l'axe de symétrie.
Celui-ci devra obligatoirement être confondu avec l'axe $y = 0$!
 - (c) En déduire le coefficient de perte de charge du diaphragme.
4. Reprendre ce calcul en suivant la procédure de raffinement localisé du maillage telle qu'expliquée section II. Comparer la valeur obtenue du coefficient de perte de charge avec le premier maillage.

1 PARTIE I : calcul pour un maillage homogène

1.1 Génération de la CAO 3D à partir du plan de section axi

- ▷ Générer une CAO du demi plan de coupe compris entre l'axe de révolution et la paroi du tube. La procédure est identique à celle exposée lors du précédent TD, seule la façon d'assigner une distance en fonction d'un paramètre tel le rayon est ici détaillée :
 - ▷ Après avoir défini le contour approximatif de votre domaine, définir la distance liée au rayon R_1 en la nommant (R dans cet exemple) et en cochant **Expose Parameter**,
 - ▷ Définir alors la longueur du segment horizontal situé en amont du diaphragme en spécifiant sa longueur en nombre de fois R (5 fois dans cet exemple),
- ▷ Appliquer la même démarche à la longueur située en aval du diaphragme et qui quantifie la distance de report de la condition à la limite de sortie.
- ▷ Une fois la CAO terminée, quitter l'outil d'édition (cliquer OK),
- ▷ Réaliser une extrusion 3D de la pièce.



- ▷ Renommer la *Body 1* en *Fluide*
- ▷ Nommer toutes les frontières. Le plan en ($z = 0$) qui servira de support au maillage 2D sera nommé *mesh2D_axi*.
- ▷ **SAUVEGARDER VOTRE TRAVAIL SOUS DEUX NOMS DIFFÉRENTS AFIN DE POUVOIR REPRENDRE UNE DES DEUX SAUVEGARDES POUR LA PARTIE II.**

1. Il sera possible de paramétrer ces longueurs dans l'outil de CAO en fonction de ce rayon.

1.2 Extraction du plan 2D

Cette procédure ayant déjà été abordée, seules les grandes étapes sont ici retracées sans la moindre illustration.

- ▷ 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**, 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 créer les **Regions** : 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**.
- ▷ Spécifier le type de frontières (*Velocity inlet*, *Pressure Outlet...*). 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) ou bien un autre de votre choix !
 - ▷ **Prism Layer Mesher**.
- ▷ Ouvrir **Reference Values** en double cliquant et modifier les paramètres :
 - ▷ **Base Size** à ... *m* (à vous de choisir),
 - ▷ **Target Surface Size**² à 100%,
 - ▷ **Minimum Surface Size**³ à 10% (à vous de choisir),
 - ▷ **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** et visualiser le maillage obtenu.

1.3 Mise en données / calcul / post-traitement

- ▷ La suite des opérations jusqu'au déroulement du calcul, est identique à celle vue lors de la session précédente (s'y reporter). **Veillez toutefois à spécifier les valeurs relatives à cet exercice !**
- ▷ Déterminer par vos propres moyens, le coefficient ξ de perte de charge du diaphragme lié à ce premier maillage.
- ▷ Raffiner le maillage en :
 1. modifiant le paramètre **Base Size**,
 2. mettant-à-jour le maillage 2D : clic droit sur **Automated Mesh (2D)** puis sélectionner **Execute**,
 3. effaçant la dernière solution actuelle (rajouter icône "gomme" *Clear Solution* dans le menu du haut),
 4. réinitialisant le calcul puis en lançant les itérations jusqu'à convergence.

Comment évolue le coefficient ξ ?

2. Taille relative à *Base size* à atteindre en l'absence de paramètres plus contraignants
 3. Taille en dessous de laquelle les cellules sont éliminées

1.4 Procédure d'analyse de sensibilité d'un paramètre géométrique (longueur) du domaine

L'idée est de modifier le paramétrage pour allonger le tube sur la partie située en aval du diaphragme et d'étudier son influence sur le coefficient de perte de charge ξ . La procédure est rapide et consiste essentiellement à mettre à jour (*Update*) les étapes existantes :

1. Editer la CAO, éditer le *Sketch* (CAO 2D avec les dimensions) et modifier les longueurs souhaitées,
2. Fermer l'éditeur de *sketch* (CAO 2D), vérifier que l'extrusion a été mise-à-jour puis fermer CAO - 3D,
3. Mettre-à-jour la **Part** (nommée *Fluid* ou *Body 1* par défaut) avec un clic-droit puis sélectionner **Update**,
4. Mettre-à-jour l'extraction du plan 2D : clic droit sur **Badge for 2D Meshing** puis sélectionner **Execute**,
5. Mettre-à-jour le maillage 2D : clic droit sur **Automated Mesh (2D)** puis sélectionner **Execute**,
6. Effacer la dernière solution actuelle (rajouter icône "gomme" *Clear Solution* dans le menu du haut),
7. Réinitialiser le calcul puis lancer les itérations jusqu'à convergence.

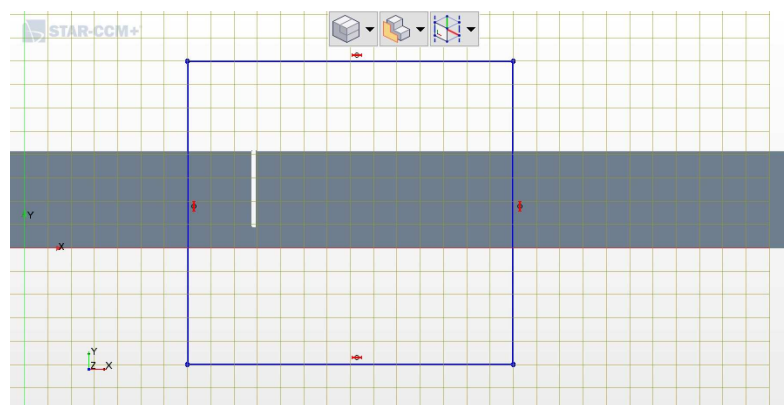
NE PASSER À LA PARTIE II QU'À L'ISSUE D'UNE ANALYSE COMPLÈTE SUR UN PREMIER
MALLAGE HOMOGÈNE !

2 PARTIE II : prise en compte d'une zone de raffinement

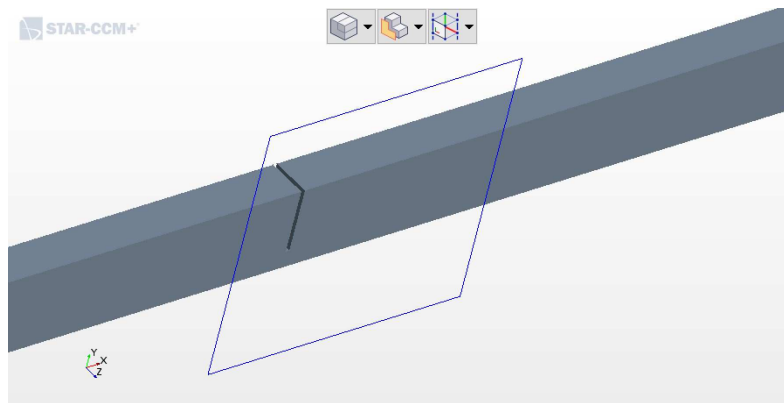
2.1 Définition de la zone de raffinement

Il peut être utile de raffiner le maillage autour du diaphragme, plus particulièrement en aval de celui-ci. La procédure détaillée ci-après se positionne juste après l'obtention de la CAO 3D du diaphragme tel que décrit par la section 1.1.

- ▷ **RECHARGER LA SAUVEGARDE INUTILISÉE ISSUE DE LA GÉNÉRATION DE LA CAO 3D.**
- ▷ Sélectionner la face *mesh2D_axi* et avec un clic-droit, sélectionner l'option **Create Sketch > On face**.
- ▷ Une grille apparaît et s'ouvre le mode d'édition de l'outil CAO.
- ▷ Y tracer approximativement un rectangle délimitant la zone à raffiner. Celui-ci peut déborder, c'est l'interaction qui sera retenue au final.



- ▷ Fermer l'éditeur Sketch (cliquer OK).



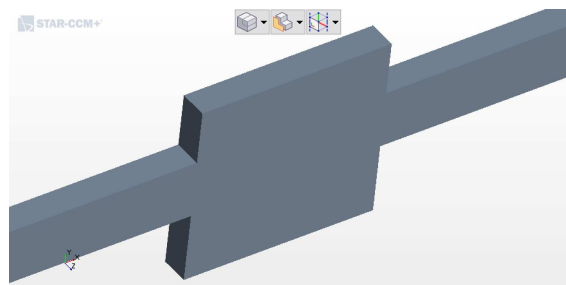
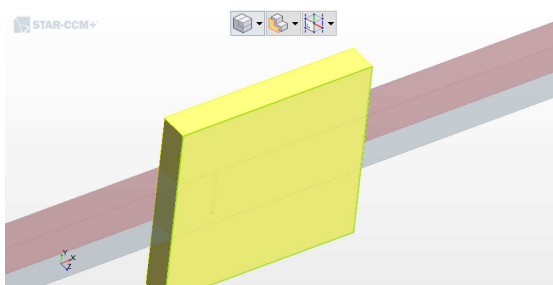
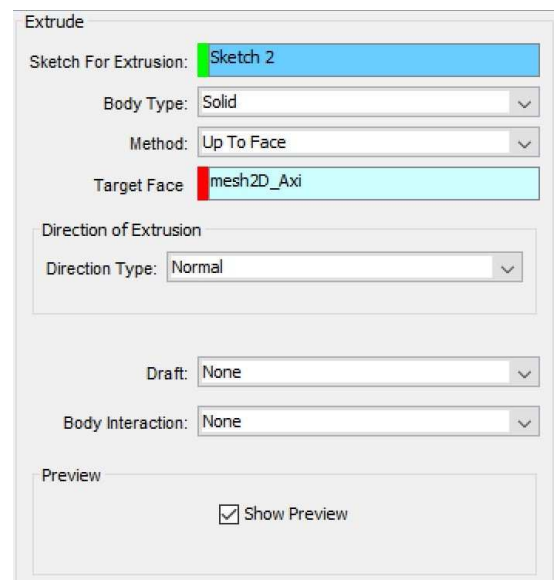
▷ Une entité **Sketch 2** est apparue. Clic-droit pour **Extrude**.

— Sélectionner **Method : Up to Face** et cliquer sur la face opposée pour définir la face terminale d'extrusion,

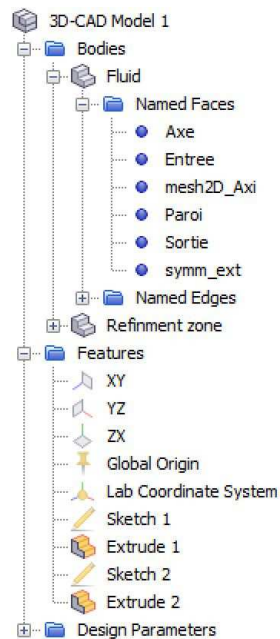
— Sélectionner **Direction Type : Reverse**

— Sélectionner **Body Interaction : None**

— OK



▷ Renommer *Body 2* en *Refinement zone*



2.2 Création des Parts, Regions et extraction (Badge) du plan 2D

- ▷ Création d'une **Geometry Part** avec clic-droit sur **3D-CAD Models 1** → **New Geometry Part**. Conserver les options par défaut et valider. Un onglet **Parts** est alors créé.
- ▷ Pour extraire le plan 2D axi, clic droit sur **Operations** > **New** > **Mesh** > **Badge for 2D meshing**,
- ▷ Cocher *Fluid* et valider OK,
- ▷ Clic-droit sur l'option apparue **Badge for 2D meshing** et **Execute**.
- ▷ Clic-droit sur **Geometry** > **Part** > **Fluid** (noter le symbole rouge, preuve du passage au 2D) > **Assign parts to regions**
Sélectionner :
 - **Create a Region for Each Part**,
 - **Create a Boundary for Each Part Surface**,
 puis **Apply** et enfin **Close**.
- ▷ Ouvrir l'onglet **Regions** et identifier chacune des frontières par son type (seules les frontières 2D apparaissent).

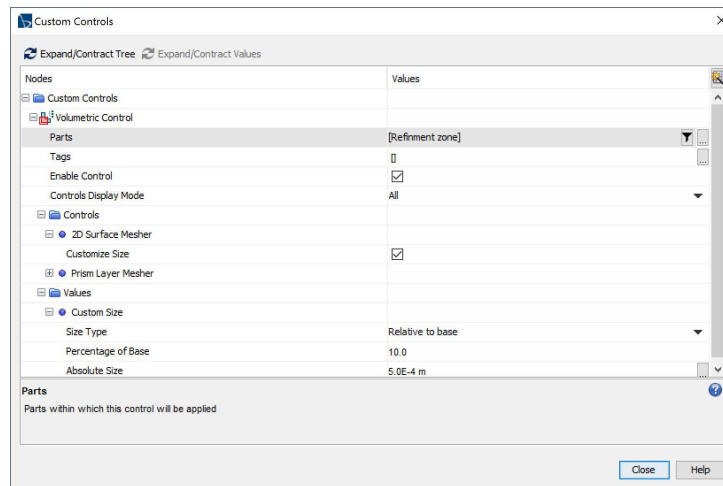
2.3 Génération du maillage 2D

Les premières étapes sont classiques et définissent les options de base du maillage :

- ▷ Clic droit sur **Operations** > **New** > **Mesh** > **Automated Mesh (2D)**.
- ▷ Cocher **Fluid** et les options du mailleur que vous souhaitez.
- ▷ Définir les tailles de mailles (Base size) dans le menu *Default Controls*

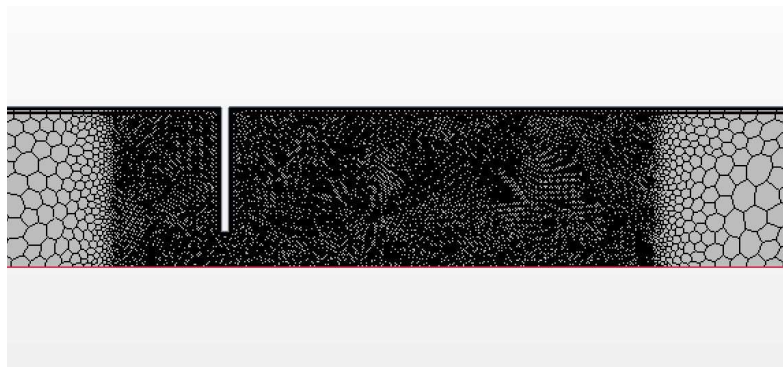
Les étapes suivantes vont consister à imposer une taille de raffinement égale à **10% de la Base Size** sur la zone préalablement renommée *Refinement Zone* :

- ▷ Clic-droit **Operation** → **Automated Mesh (2D)** → **Custom Controls** → **New** → **Volumetric Control**
- ▷ Un onglet **Custom Controls** est alors ajouté. Le sélectionner et l'éditer (clic-droit ou double-clic)
- ▷ Identifier *Zone de raffinement* comme **Part** attribué au raffinement.
- ▷ Cocher **Customize Size** dans l'onglet **Controls** → **2D Surface Mesher**
- ▷ Renseigner dans l'onglet **Values** qui vient d'être créé, une valeur de **10** pour **Custom Size** → **Percentage of Base**. C'est ce paramètre qui joue sur le raffinement.



▷ Générer le maillage en cliquant sur l'icône du bandeau du haut **Generate Volume Mesh**

A l'issue de cette phase, vous devez obtenir quelque chose de similaire (aux formes et tailles de cellules près) à ce qui est illustré ci-dessous.



2.4 Mise en données / calcul / post-traitement

La suite des opérations jusqu'au déroulement du calcul, est identique à celle vue lors de la session précédente (s'y reporter). **Veillez toutefois à spécifier les valeurs relatives à cet exercice !** A l'issue du calcul (convergé ?) :

1. Vérifier que le débit calculé par StarCCM+ est le bon (voir Fiche ci-dessous).
2. Tracer les profils de vitesse et de pression sur les sections entrée, sortie et axe.
3. En déduire le coefficient de perte de charge du diaphragme.

Fiche synthétique 1

Définition d'une zone abstraite de raffinement :

- Sous 3D-CAD, sélectionner la face ($z = 0$) puis **Create Sketch** → On Face
- Générer la CAO de la zone de raffinement. Elle peut très bien "déborder" de la CAO principale.
- Clic-droit pour **Extrude** et sélectionner :
 - Sélectionner **Method : Up to Face** et cliquer sur la face opposée pour définir la face terminale d'extrusion,
 - Sélectionner **Direction Type : Reverse**
 - Sélectionner **Body Interaction : None**
 - **OK**
- Générer une **Operation** pour **Automated 2D Mesh** puis sélectionner les options de maillage de façon classique.
- Configurer l'onglet **Custom Controls** → **Controls** → **2D Surface Mesher** et renseigner la valeur de **Percentage of Base** qui pilote le raffinement.
- Générer le maillage en cliquant sur l'icône du bandeau du haut **Generate Volume Mesh**.

Fiche synthétique 2

Vérification du débit massique

1. Clic-droit sur **Report** > **Mass flow rate**
2. En cliquant sur l'option **Mass flow 1** nouvellement créée, sélectionner les sections (entrée, sortie...) pour l'objet **Part** : cela revient à définir sur quelle(s) section(s) le débit sera intégré.
3. Clic-droit puis sélectionner **Report** : le débit exprimé en $[kg/s]$ apparaît dans la fenêtre du bas. Le signe est relatif au fait que ce soit une entrée (-) ou une sortie (+).

PRÉCAUTION : si le calcul est 2D-axi, la valeur calculée par StarCCM+ est donnée par radian. Il est alors nécessaire de la multiplier par 2π pour retomber sur la valeur attendue.

Fiche synthétique 3

Affichage d'un profil XY extrait d'une section connue (entrée, sortie...)

La démarche générale pour extraire les profils de pression (pour cet exemple) sur les sections d'entrée et de sortie est la suivante :

- ▷ Clic-droit sur l'onglet **Plots** → **New Plots** → **XY Plot**
- ▷ S'ouvre un nouvel onglet intitulé **XY Plot 1** que l'on renomme **Profils de pression en entrée/sortie**
- ▷ Sélectionner les sections *Entrée* et *Sortie* en renseignant **Profils de pression en entrée/sortie** → **Parts**
- ▷ On souhaite associer l'abscisse **X type** à la pression et l'ordonnée **Y type** à la pression, ce choix étant naturellement motivé par le fait que les sections sont verticales :
 - Ouvrir l'onglet **X Type** et sélectionner l'option **Type : Scalar**
 - Sélectionner **Pressure** dans l'onglet **Scalar Function**
 - Ouvrir l'onglet **Y Type** et sélectionner l'option **Type : Direction**.
 - Dans **Quantity** orienter l'axe de lecture du profil en tapant (0,1,0)
- ▷ Manipuler à volonté les différents items (légende, title...) afin de personnaliser votre affichage.