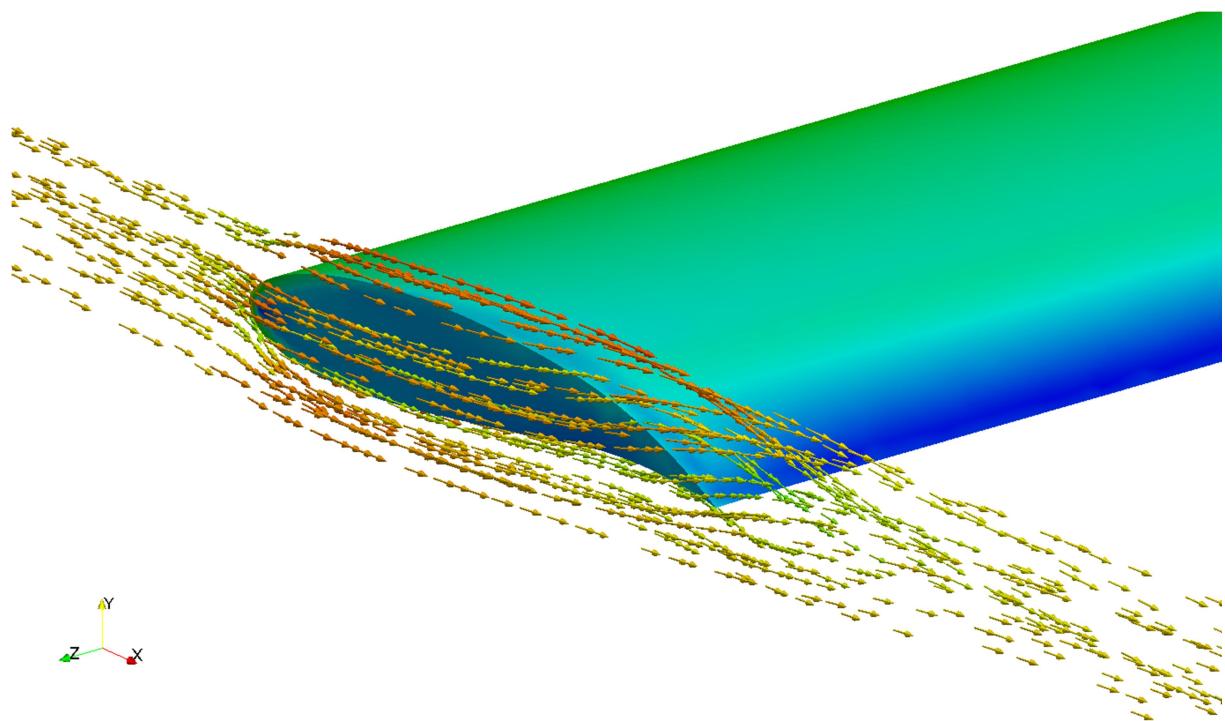


MODELISATION NUMERIQUE EN MECANIQUE DES FLUIDES
PRISE EN MAIN ANSYS/FLUENT



Renan HILBERT
renan.hilbert@gmail.com

A. PRISE EN MAIN ANSYS/FLUENT	3
A.1. LA CFD	4
A.2. PROBLEME ET Outils	5
A.3. DESSINER LA GEOMETRIE.....	11
A.4. MAILLAGE DU DOMAINE FLUIDE.....	20
A.5. MISE EN DONNEES ET SIMULATION.....	24
A.6. POST-TRAITEMENTS	33
B. OPTIMISATIONS DU 1^{ER} CAS	40
B.1. OBJECTIFS	41
B.2. OPTIMISATION DU MAILLAGE	43
B.3. MAILLAGE EN COUCHE LIMITE	45
B.4. VERIFICATIONS NECESSAIRES	49
B.5. POST-TRAITEMENTS AVEC PARAVIEW.....	50
C. SIMULATION 3D	55
C.1. GEOMETRIES 3D SOUS ANSYS DESIGNMODELER	56
C.2. IMPORTER UNE CAO	64
C.3. MAILLAGE 3D AVEC ANSYS MESHING.....	66
C.4. SIMULATION 3D	73
C.5. CFDPOST.....	82
C.6. 3D AVEC PARAVIEW	83

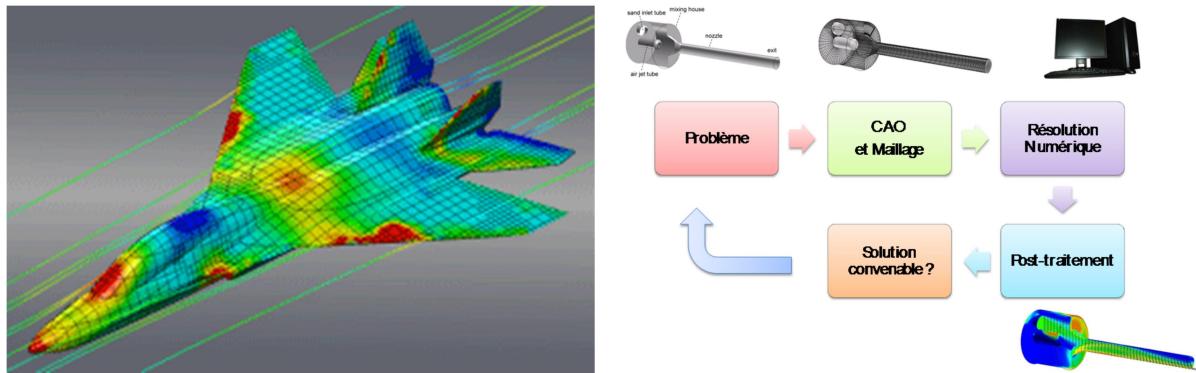
INTRODUCTION A LA CFD

A. PRISE EN MAIN ANSYS/FLUENT

A.1. La CFD

CFD signifie Computational Fluid Dynamics, soit Mécanique des Fluides Numérique en français.

Cette technique consiste à résoudre numériquement les équations de la mécanique des fluides (équations de Navier-Stokes) pour simuler l'écoulement d'un fluide.



Pour résoudre les équations de Navier-Stokes dans un domaine géométrique, les étapes suivantes sont nécessaires :

[Géométrie/CAO] Etre en possession d'une géométrie 3d du domaine fluide.

[Maillage] Discréteriser le domaine , c'est-à-dire le découper en mailles de calcul

[Mise en données] Choisir les modèles physiques et les hypothèses adaptés au problème

[Résolution numérique] Les équations aux dérivées partielles sont résolues par le solveur CFD après avoir discrétisée et mise sous forme algébrique. Cette résolution se fait par un algorithme itératif jusqu'à la convergence

[Post-traitement] Visualiser et analyser les résultats

Comme on le verra, un premier calcul ne sera souvent pas convenable et il faudra recommencer le processus

On va ici apprendre ici, **sur des exemples pas à pas**, à effectuer toute cette démarche en utilisant le pack ANSYS incluant en particulier les logiciels WorkBench (pour gérer les chaînes de calculs) et Fluent (logiciel de CFD)

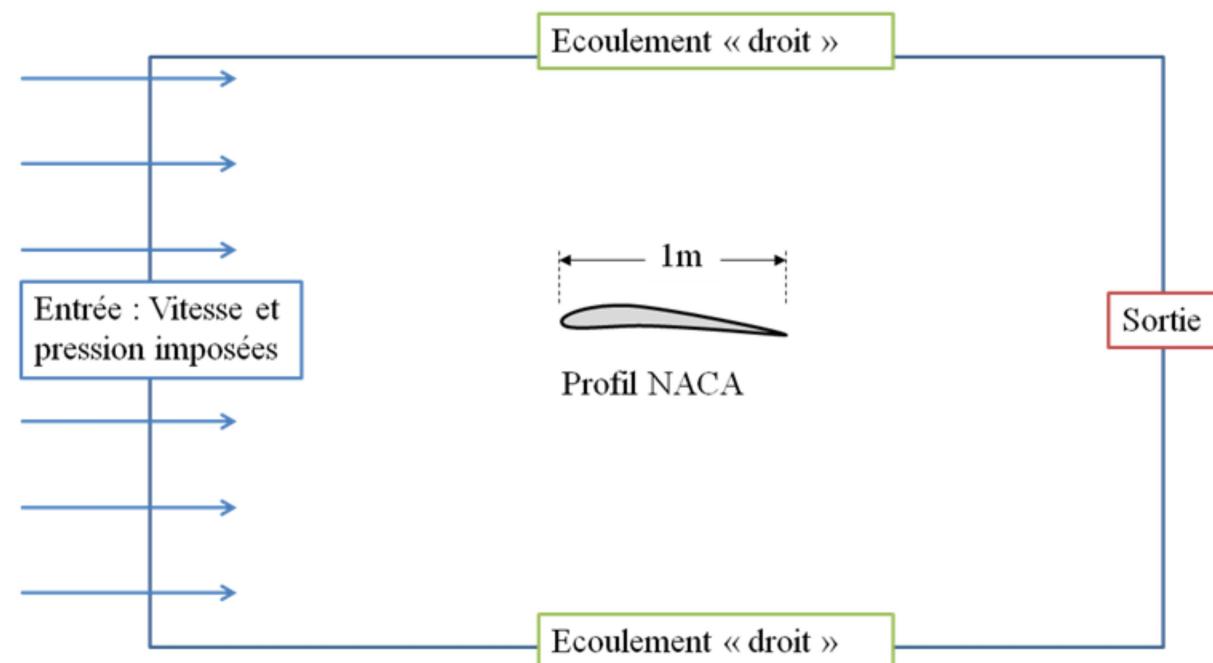
A.2. Problème et outils

2.1. Description et modélisation du problème

On étudie dans ce TP l'écoulement stationnaire 2d autour d'un profil d'aile de type NACA dans un écoulement d'air à une vitesse incidente de 40 m/s.

- ⚠ La démarche sera la même pour tous les TP et projets. Il est fortement recommandé de noter sur une fiche séparée les différentes étapes du travail afin de s'y reporter ultérieurement.

Position du problème



- ⚠ Le problème de la taille du domaine sera étudié en détails après le premier résultat de simulation

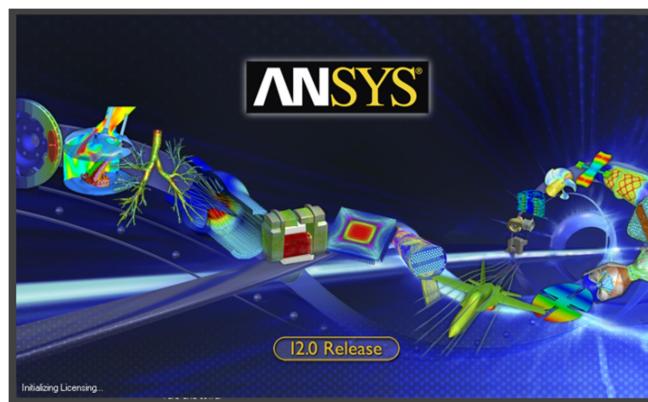
Hypothèses physiques

- ▶ Calculer le nombre de Mach associé à cet écoulement.
- ▶ Quel sera la nature de l'écoulement ? Incompressible ? Transsonique ? Supersonique ?
- ▶ Calculer le nombre de Reynolds associé à cet écoulement.
- ▶ Quel sera le régime d'écoulement ? Lamininaire ou turbulent ?

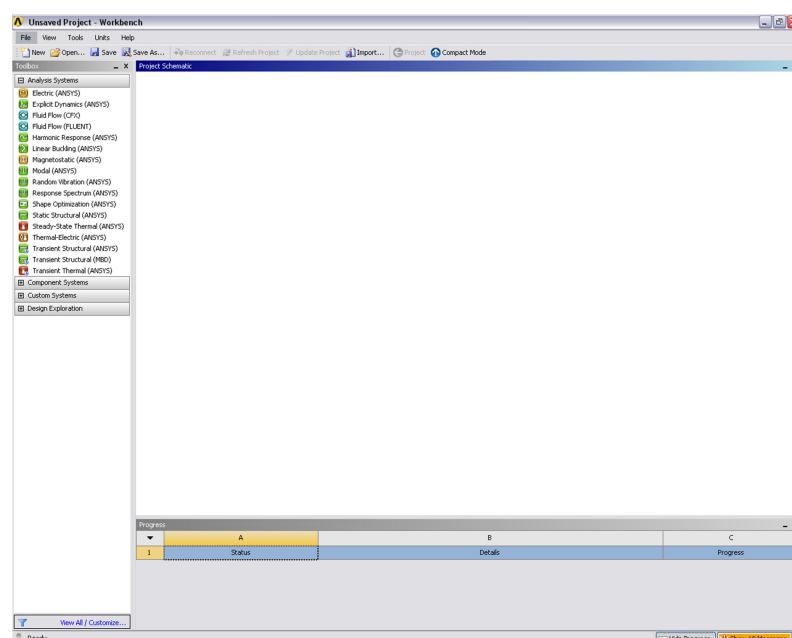
2.2. Le logiciel ANSYS Workbench

Présentation du logiciel ANSYS : Le Workbench permet de gérer les fichiers et le lancement des différents logiciels à partir d'une fenêtre unique.

- ▶ Lancer ANSYS Workbench depuis le menu Démarrer de Windows



La fenêtre principale du Workbench s'affiche.



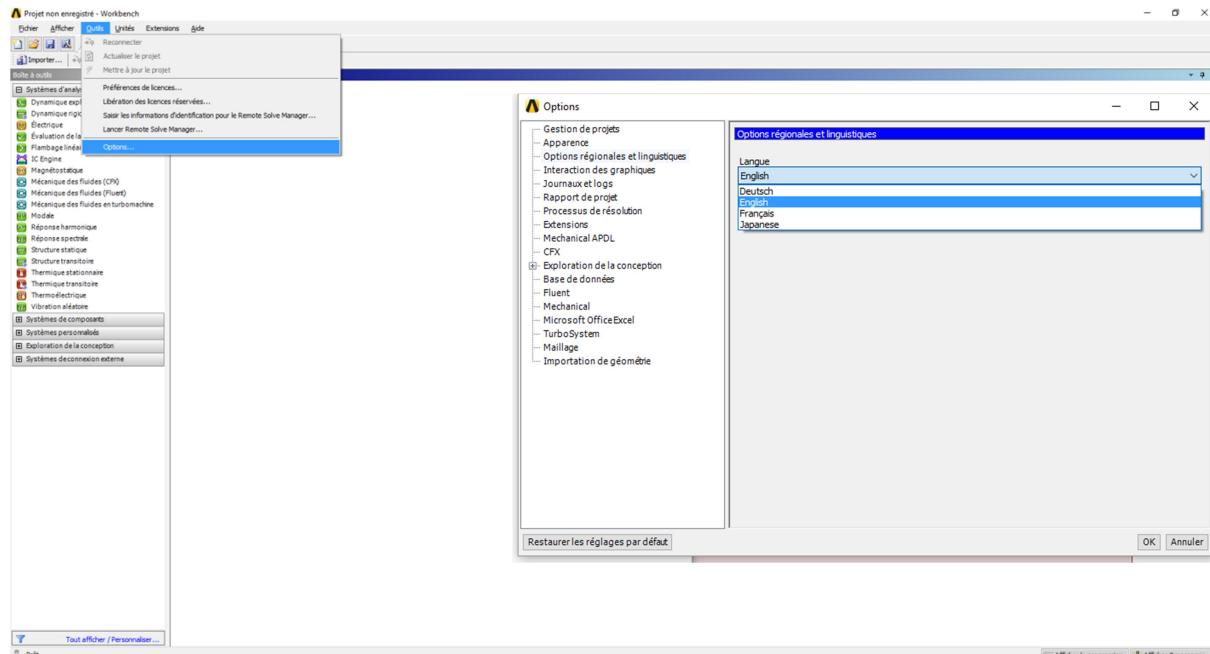
C'est à partir de là que vont être créés les fichiers, lancés les logiciels et gérés les interactions entre les différents logiciels utilisés pour la géométrie, le maillage, la simulation proprement dite et le post-traitement. On verra aussi que le Workbench permet d'automatiser les procédures, de comparer les résultats de différentes simulations etc...

2.3. Modifier la langue

Pour suivre ce tutorial (et se familiariser avec les termes anglais), on va modifier la langue par défaut du Workbench

- ▶ Outils > Options
- ▶ Options régionales et linguistiques
- ▶ Langue : English
- ▶ OK

⚠ Comme indiqué par le message, il faut quitter et relancer le logiciel pour que la langue soit modifiée



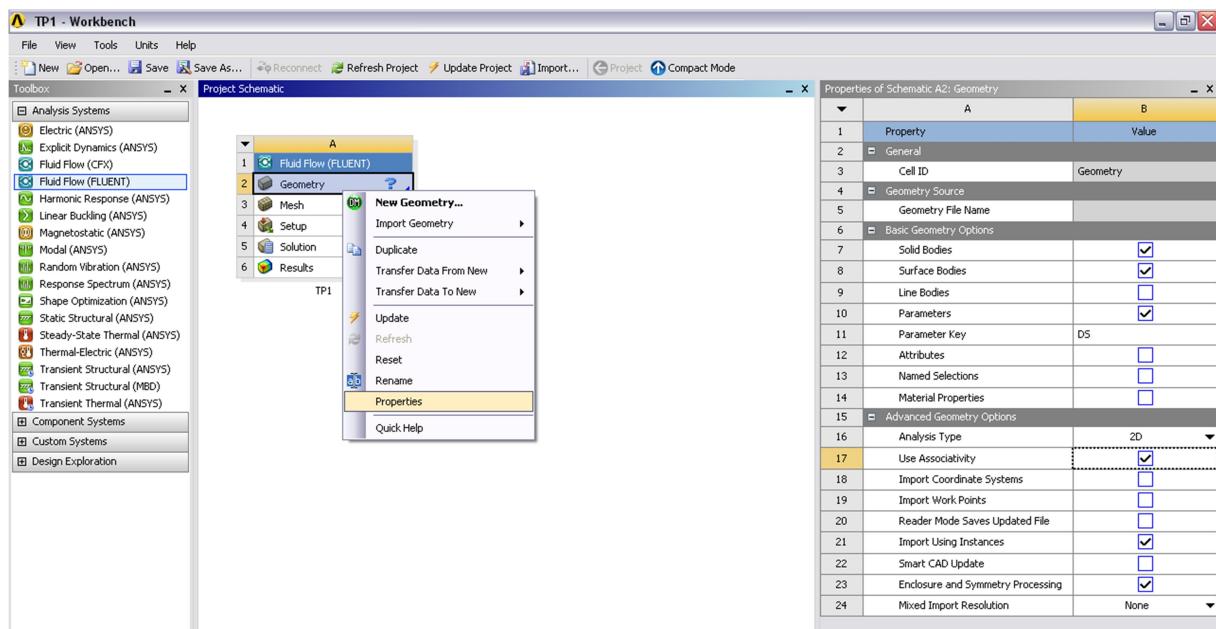
2.4. Créer un système d'analyse Fluid Flow 2d

Pour créer un « Analysis System », c'est-à-dire une chaîne de calcul pour une simulation Fluent

- ▶ Sélectionner avec la souris Fluid Flow (FLUENT) dans le menu de gauche
- ▶ Faire glisser dans la fenêtre principale (Project Schematic).
- ▶ Renommer le système d'analyse en double cliquant sur le titre Fluid Flow (Fluent) en « TP1 »



Il faut préciser que l'on va travailler en 2d



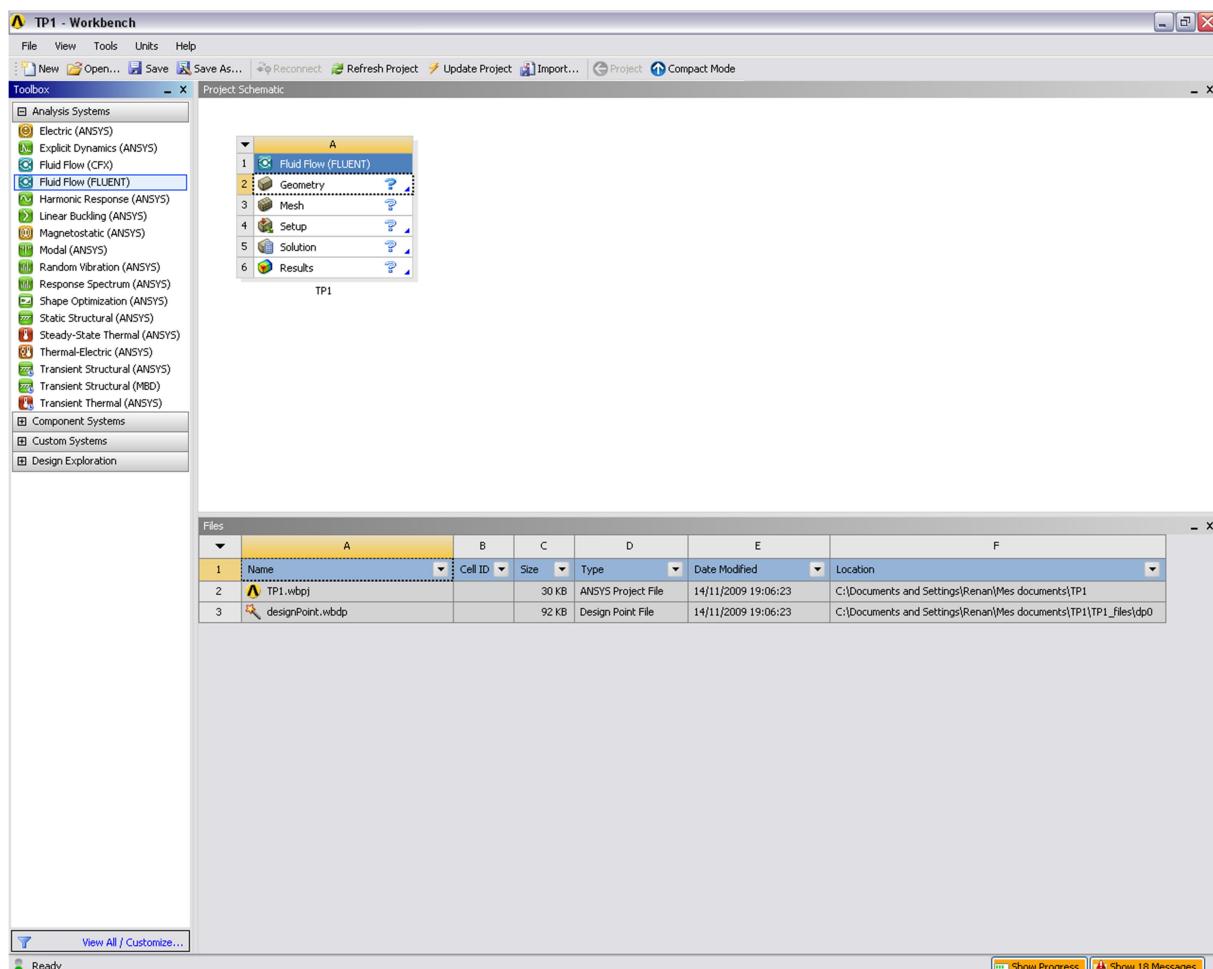
- ▶ Sélectionner la Case dans le tableau du système.
- ▶ Faire un clic droit et sélectionner Properties
- ▶ La fenêtre de propriétés apparaît à droite
- ▶ Dans la case Analysis Type numéro 16, changer 3d en 2d
- ▶ Fermer la fenêtre de propriétés en cliquant sur en haut à droite
- ▶ Créer un répertoire TP1 sur le disque
- ▶ File > Save : enregistrer le projet sous le nom de travail TP1.wbjp dans le répertoire créé.

On peut à tout moment visualiser les fichiers créés sur le disque pour un projet donné.

- ▶ View > Files

Un tableau récapitulatif des différents fichiers créés sur le disque apparaît en bas.

MNMF ➤ PRISE EN MAIN ANSYS/FLUENT



Le système est composé de différentes cases associées à différentes étapes successives réalisées chacune avec un logiciel de la suite ANSYS.

	CAO – Création de la géométrie	ANSYS DesignModeler
	Maillage	ANSYS Meshing
	Mise en données et simulation	ANSYS Fluent
	Résultats CFD	
	Post-traitement	CFDPost

Lors du « Workflow », les étapes sont réalisées successivement. Si une étape connaît une modification (modification de la géométrie ou du maillage par exemple), les étapes suivantes devront être mises à jour conformément aux modifications.

Symbole	Terme anglais	Signification
	Unfulfilled	Les fichiers requis pour cette étape n'existent pas encore
	Refresh required	Nécessite de « rafraîchir » les étapes précédentes pour actualiser celle-ci
	Attention Required	Une action est nécessaire au niveau de cette étape
	Update Required	Les données ont été modifiées, une mise à jour du projet est nécessaire
	Up to date	La mise à jour de l'étape a été effectuée sans erreur
	Interrupted	Une mise à jour ou un calcul a été interrompu(e) en cours de route
	Input Changes Pending	L'étape correspondant à la cellule est à jour à l'heure actuelle, mais sera relancée au prochain update car des données ont été modifiées dans les étapes précédentes

A.3. Dessiner la géométrie

Cette étape consiste à dessiner la géométrie du problème : le profil d'aile et le domaine fluide environnant, avec le logiciel ANSYS DesignModeler.

On démarra ici avec une taille estimée du domaine de calcul autour de l'objet. Ce calcul est une première estimation, on verra plus tard qu'il est important d'étudier finement l'influence de la taille du domaine environnant.

3.1. Ansys DesignModeler

Le logiciel ANSYS DesignModeler permet de réaliser des tracés 2d (Sketch), de créer à partir des sketchs des objets 3d (par extrusion etc...) et de manipuler les objets 3d. Dans notre cas, on va travailler en 2d dans le plan XY pour créer la géométrie du problème.

- ▶ Double-cliquer sur la case Geometry pour lancer le logiciel ANSYS DesignModeler
- ▶ Choisir Meter pour travailler en mètres et cliquer sur Ok



3.2. Générer et importer un profil NACA

Le **NACA** (*National Advisory Committee for Aeronautics*) est l'agence fédérale américaine chargée de la recherche dans le domaine de l'aéronautique entre 1915 et 1958. Cette agence a développé en particulier une représentation paramétrée des profils d'ailes, qui sont décrits par un certain nombre de paramètres. Pour les profils dits « NACA à 4 chiffres », 4 paramètres décrivent la géométrie du profil.

- ▶ Le premier chiffre donne la cambrure du profil en pourcentage de la longueur de la corde.
- ▶ Le second chiffre donne la position de la cambrure maximale en dixième de la corde.
- ▶ Les deux derniers chiffres donnent l'épaisseur maximale du profil en pourcentage de la corde.

Par exemple, un profil NACA 2412 présente une cambrure de 2 % placée à 40 % de la corde et une épaisseur relative de 12 %. (source wikipedia)

- !** On travaille ici sur le profil NACA0012, qui est symétrique.



- ▶ Télécharger le fichier naca2d.igs sur le site du cours.

- !** Les formats de fichiers les plus couramment utilisés pour importer une géométrie dans ANSYS sont .igs, .iges, .stp et .stl

Importer le profil sous ANSYS

- ▶ File > Import External Geometry File ...
- ▶ Choisir le fichier naca2d.igs
- ▶ S'assurer que le BasePlane est bien le plan XYPlane
- ▶ Mettre l'option "Process Line Bodies" à Yes
- ▶ Generate
- ▶ Zoomer sur l'objet importé

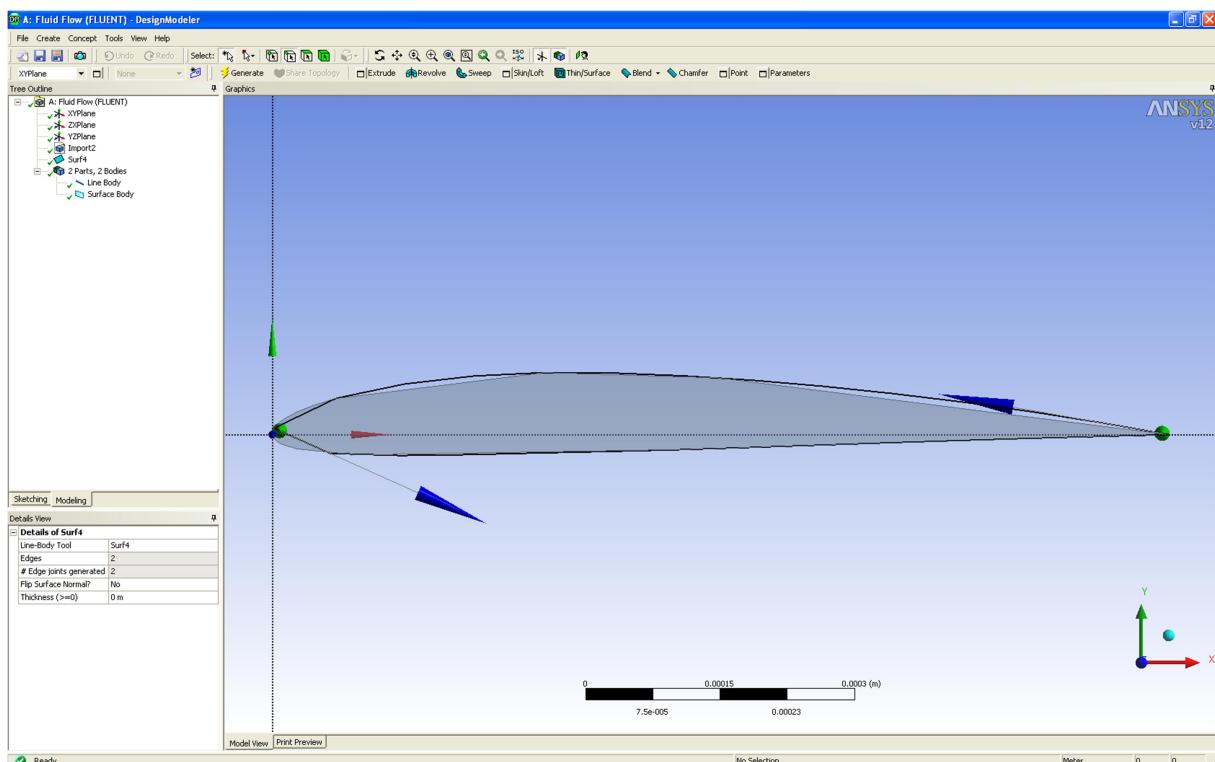
Details View	
- Details of Import2	
Import	Import2
Source	C:\...\naca.iges
Base Plane	XYPlane
Operation	Add Material
Process Solid Bodies	Yes
Process Surface Bodies	Yes
Process Line Bodies	Yes
Simplify Geometry?	No
Simplify Topology?	No
Tolerance	Normal
Replace Missing Geometry?	No
Stitch Surfaces	Yes
Refresh	No

Créer une surface

- ▶ Concept > Surface from Edges

- !** La coloration d'une case en jaune indique que le logiciel est en attente d'une information

- ▶ Cliquer sur la case Edges colorée en jaune
- ▶ En maintenant la touche Ctrl enfoncee, sélectionner les arêtes inférieure et supérieure du profil (qui deviennent vertes quand sélectionnées)
- ▶ Cliquer sur Apply dans la case Edges
- ▶ Générer



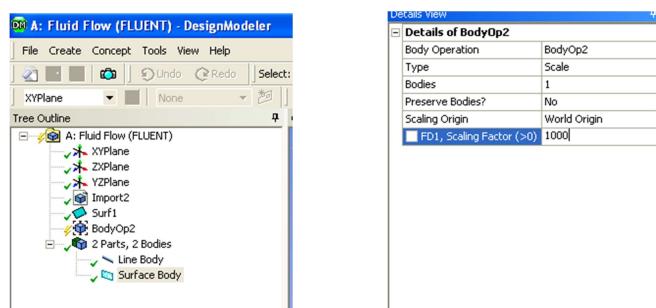
⚠️ Les copies d'écran dans ce document, réalisées avec un autre profil et une autre version d'Ansys peuvent différer légèrement de ce que vous avez sur votre écran.

Mettre à l'échelle : Le profil importé fait 1mm de corde, on peut le voir à l'aide de l'échelle en bas de la fenêtre de visualisation

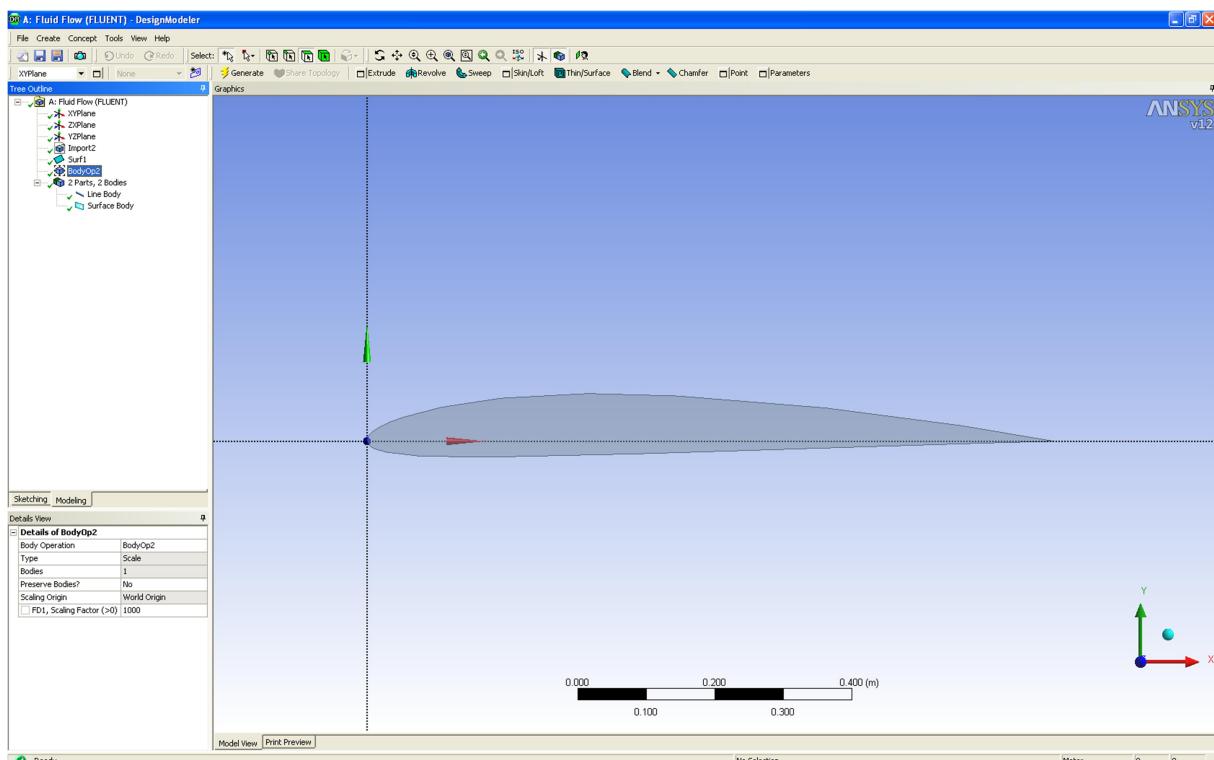


Pour mettre le profil à la bonne échelle (1m de corde) :

- ▶ Create > Body Transformation > Scale
- ▶ Cliquer la case Body en jaune et sélectionner Surface Body dans l'arborescence
- ▶ Choisir une facteur d'échelle 1000



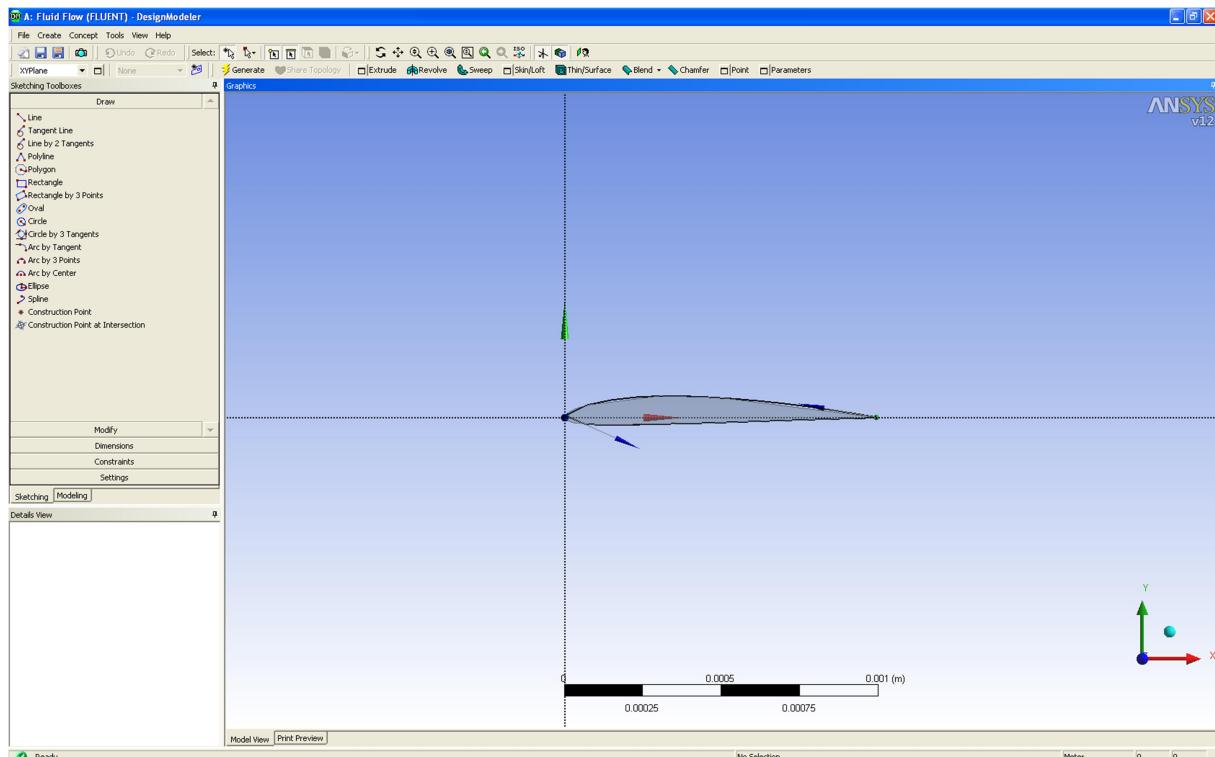
- ▶ Generate
- ▶ Vérifier à l'aide de l'échelle que la corde est bien de 1m



3.3. Dessin (Sketch)

On va maintenant dessiner le domaine de calcul autour du profil d'aile. Le Mode Sketching permet de réaliser des tracés (sketch) dans un plan.

- ▶ Passer en mode Sketching en cliquant sur Sketching au bas de la fenêtre Tree Outline
- ▶ Cliquer sur l'icône pour passer en vue frontale par rapport au plan sélectionné.



Grille et aimantation : Afin de faire apparaître une grille pour aider au dessin dans le plan XY,

- ▶ Sélectionner le sous menu Settings
- ▶ Cocher les cases Show in 2D et Snap



! Snap = aimantation

Pour adapter la grille aux dimensions de notre problème

- ▶ Sélectionner Major Grid Spacing et choisir 1 m (qui correspondra aux cases de la grille)
- ▶ Dans Minor-Steps per Major, choisir 5

Chaque case sera subdivisée en 5

Domaine fluide : pour créer un rectangle représentatif des limites du domaine fluide,

- ▶ Sélectionner l'outil rectangle



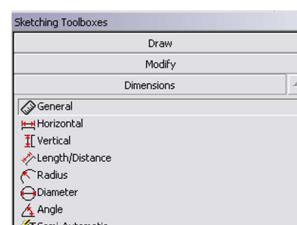
- ▶ Tracer un rectangle entre les points de coordonnées (-2, 1) et (3,-1)

Afin de bien visualiser le rectangle (dont les arrêtes se confondent sinon avec la grille)

- ▶ Décocher « Show in 2D » dans le sous-menu Grid

Paramétrage de la géométrie : On va paramétriser cette géométrie en définissant des dimensions. Cette opération permettra par la suite de pouvoir modifier facilement la taille du domaine.

- ▶ Choisir le sous menu Dimension
- ▶ Cliquer sur General



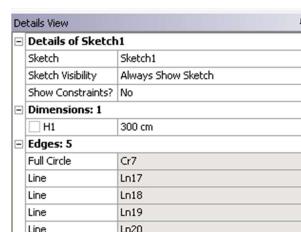
Pour affecter une dimension paramétrable à la longueur du domaine de calcul :

- ▶ Cliquer sur la ligne supérieure du rectangle
- ▶ Puis, sans relâcher la souris, déplacer le curseur vers le haut

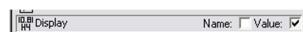
Une cotation apparaît sur le schéma, indiquant que cette dimension est notée H1 (H pour Horizontal).



- ▶ Pour modifier cette dimension, modifier la valeur 10 dans la case H1 de la fenêtre Détails View
- ▶ Observer les modifications dans la fenêtre graphique



- ⚠ Afin de faire apparaître sur le schéma la valeur et/ou le nom des dimensions, il faut cocher/décocher les cases correspondantes dans le sous menu Display



- ▶ Remettre la valeur de H1 à 5
- ▶ Recommencer la même opération afin de définir la dimension V2 (hauteur du rectangle)
- ▶ Sélectionner Horizontal pour définir la distance entre l'entrée du domaine et le bord d'attaque

Au final, on obtient une géométrie avec ses dimensions associées comme représentée ci-dessous.

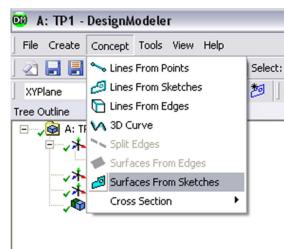


- ▶ Repasser en mode Modeling
- ▶ Cliquer sur Generate pour mettre à jour la géométrie dans le WorkBench

3.4. Créer le domaine de calcul 2d

Il faut maintenant créer une face « trouée » à partir du rectangle et du profil.

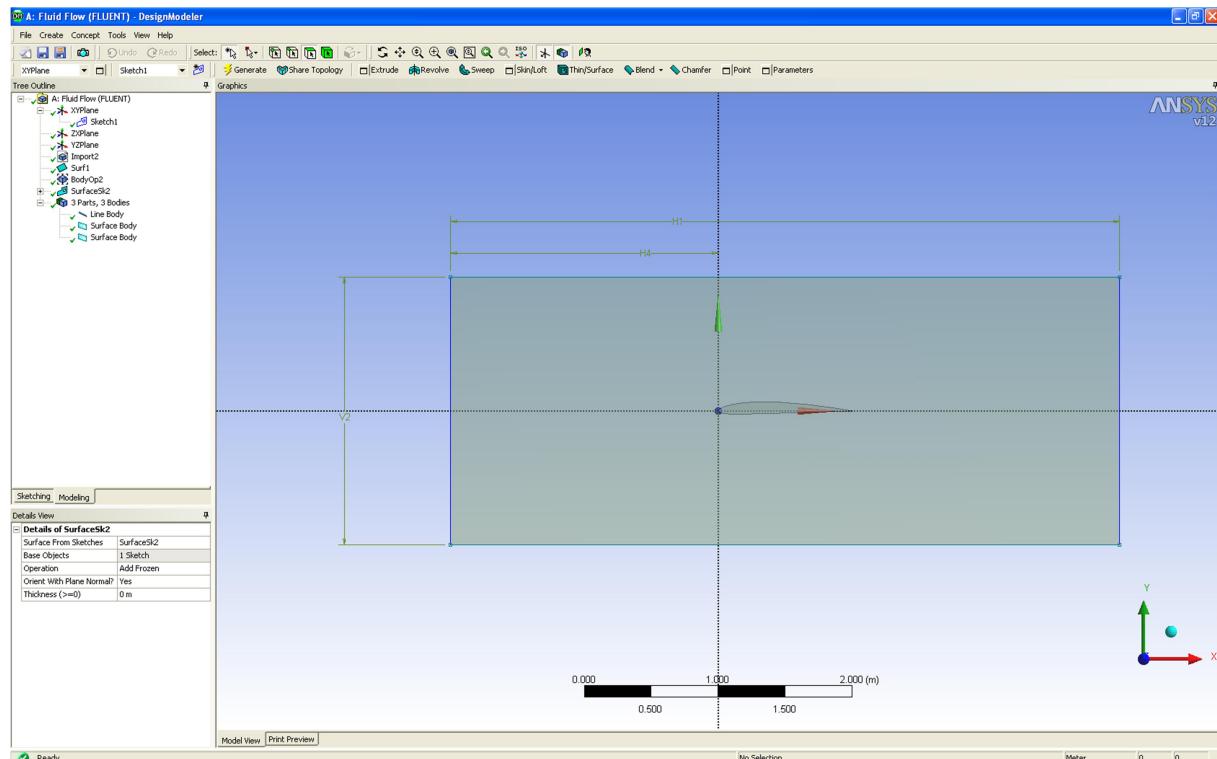
- ▶ Sélectionner l'objet « Sketch1 » dans l'arborescence, dépendant de XY Plane
- ▶ Choisir l'outil « Surfaces from Sketches » dans le menu Concept



Afin d'éviter que, par défaut, le rectangle et le profil ne soit fusionnés automatiquement :

- ▶ Dans la fenêtre Details View, Choisir comme Operation « Add Frozen »
- ▶ Cliquer sur Apply
- ▶ Cliquer sur Generate afin de mettre à jour et de créer ainsi une surface

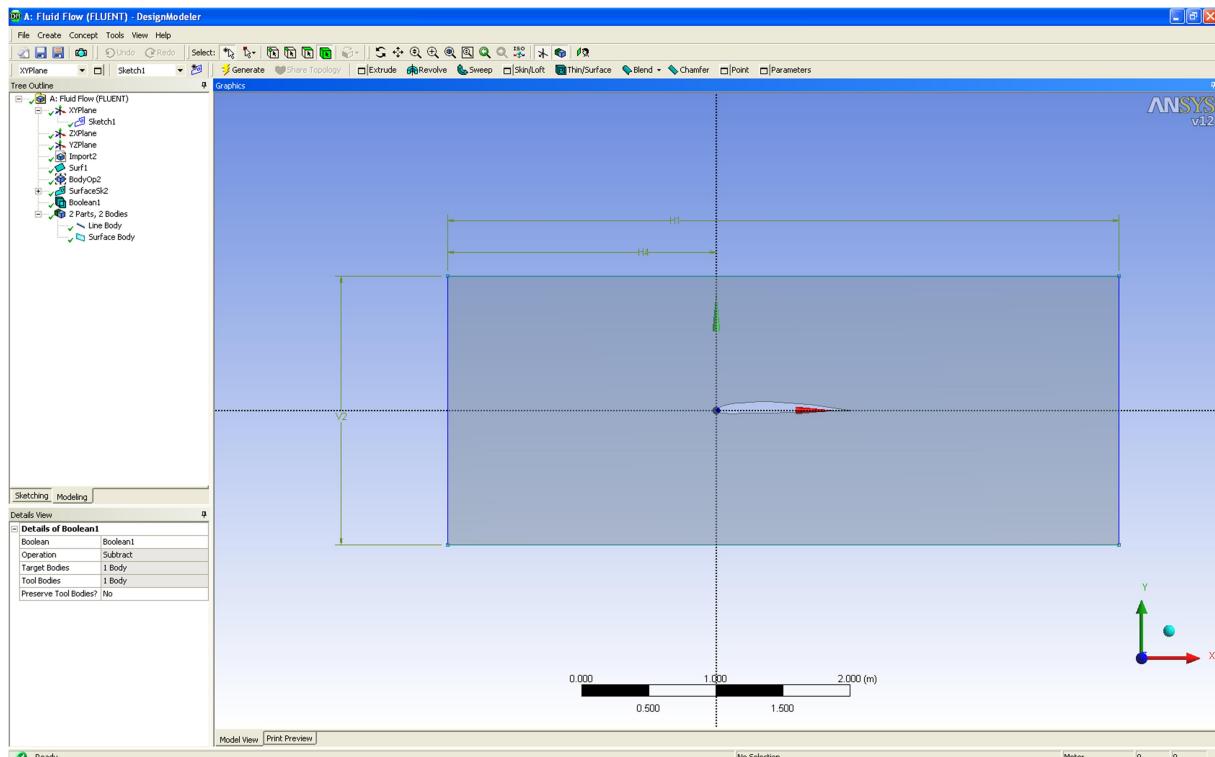
L'arborescence (fenêtre Tree Outline) indique maintenant que la géométrie contient 1 nouvel objet de type « Surface Body ».



MNMF ▶ PRISE EN MAIN ANSYS/FLUENT

On va « trouer » le rectangle en effectuant une opération booléenne entre ces deux Surface Bodies

- ▶ Create > Boolean
- ▶ Choisir comme Operation : Subtract
- ▶ Choisir comme Target Body : le rectangle
- ▶ Choisir comme Tool Bodies : le profil
- ▶ Generate



Il faut maintenant désactiver les deux arrêtes (Line Body) qui avaient été importés pour créer le profil

- ▶ Sélectionner les objets Line Body dans l'arborescence
- ▶ Clic Droit > Suppress Body

Sauvegarde et retour au WorkBench La géométrie est maintenant prête.

❶ Le symbole dans la case Geometry du WorkBench indique que cette étape est validée et que la suivante peut être démarrée.

⚠ Il est conseillé de toujours vérifier dans WorkBench que l'étape est validée avant de fermer le logiciel, au risque sinon de perdre son travail !

On peut fermer le logiciel ANSYS DesignModeler

- ▶ File > Close DesignModeler

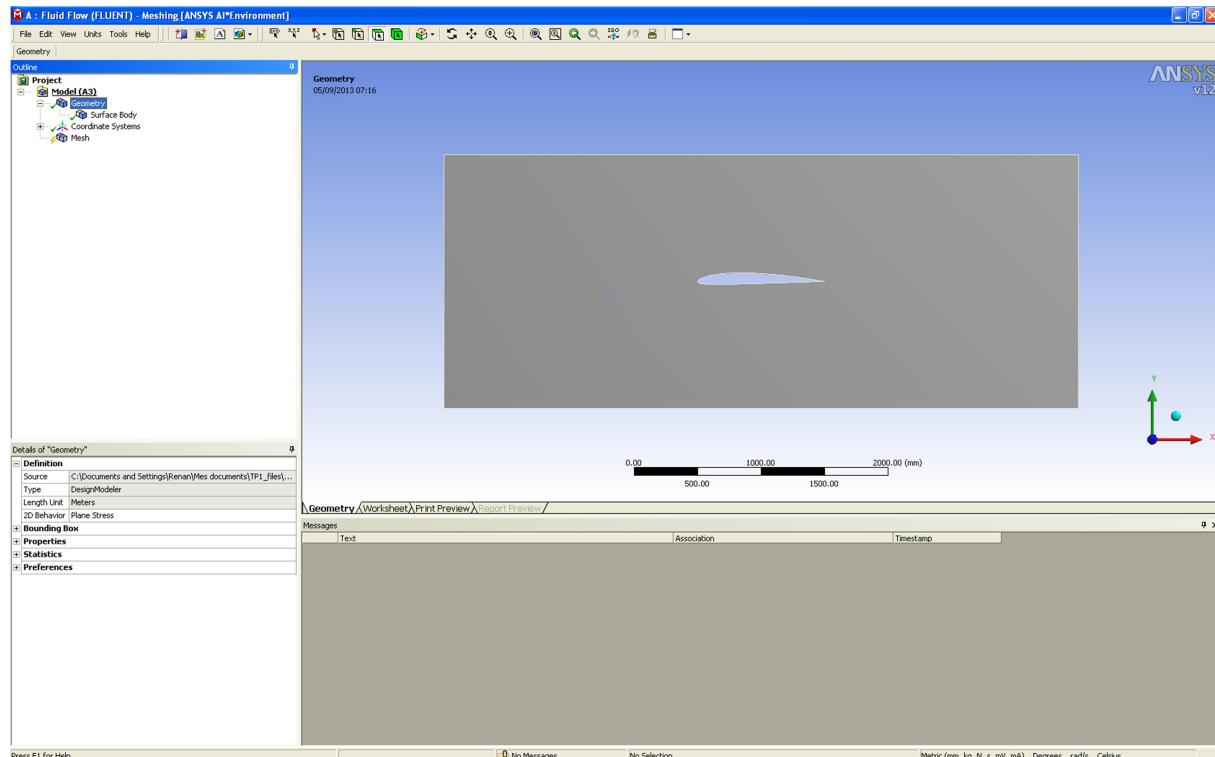
La géométrie est créée, on va passer à l'étape maillage.

A.4. Maillage du domaine fluide

4.1. Lancer le logiciel de maillage depuis le Workbench

- Dans le WorkBench, double cliquer sur la case Mesh maintenant affectée du symbole

Comme l'étape précédente est validée, cela ouvre directement le logiciel de maillage ANSYS Meshing et charge la géométrie créée lors de l'étape 2.



A l'ouverture, des options de maillages sont disponibles dans le panneau droit. On gardera ici les options par défaut.

- Cliquer sur OK
- Appuyer le bouton droit de la souris dans la fenêtre de visualisation et sélectionner Zoom To Fit

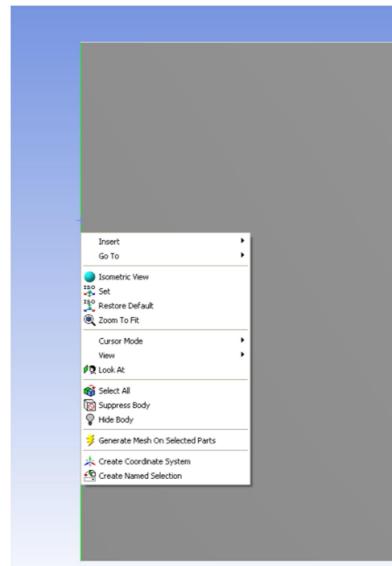
4.2. Repérage des conditions aux limites

La première étape consiste à identifier et à nommer différentes parties de la géométrie afin de :

- définir les conditions aux limites du problème (entrées, sortie etc ...),
- définir des conditions sur le maillage au niveau des différentes sélections

Pour repérer les entrées, sorties etc... en 2d, il faut sélectionner les différents edges (arrêtes) de la géométrie

- ▶ Passer en mode sélection en cliquant sur l'icône Select Mode  en haut
- ▶ Cliquer sur l'icône Edge  à côté pour sélectionner des arrêtes
- ▶ Pointer sur l'entrée du domaine et, à l'aide du bouton droit, choisir Create Named Selection

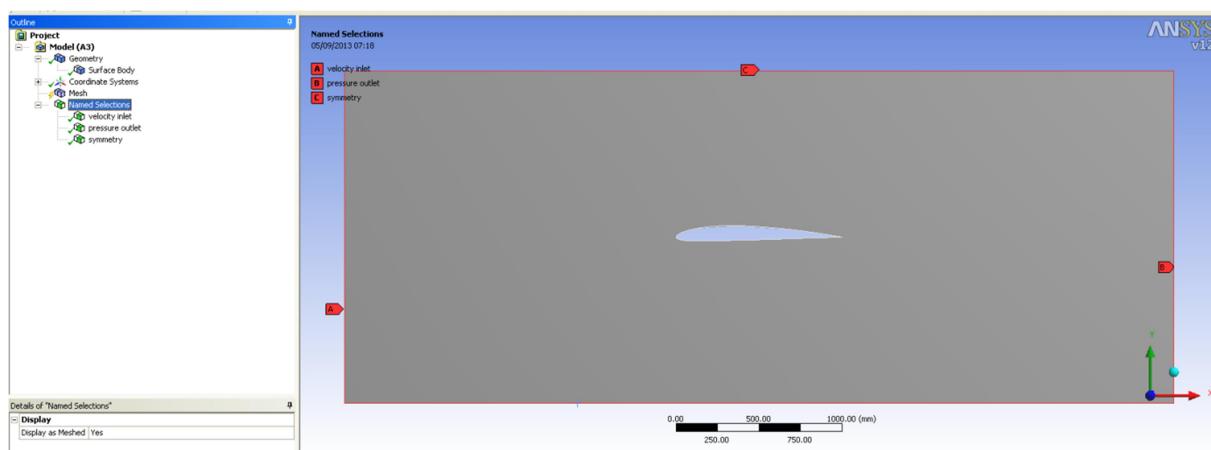


- ▶ Nommer cette sélection velocity inlet
- ▶ Recommencer l'opération avec les arrêtes décrites dans le tableau ci-dessous

Sortie	pressure outlet
Arrête supérieure du profil	wall-extrados
Arrête inférieure du profil	wall-intrados
Limites haute du domaine	Symmetry-top
Limites basse du domaine	Symmetry-bottom

- ⚠ On choisira en haut et en bas des conditions de type symétrie. Cette astuce permet de s'assurer que l'écoulement sera bien tangent aux conditions aux limites (dans la direction X)

En sélectionnant **Named Selection** dans l'arborescence à gauche, les sélections nommées apparaissent dans la fenêtre de visualisation



On va maintenant nommer la face 2d, correspondant en pratique à la zone fluide entourée par les conditions aux limites.

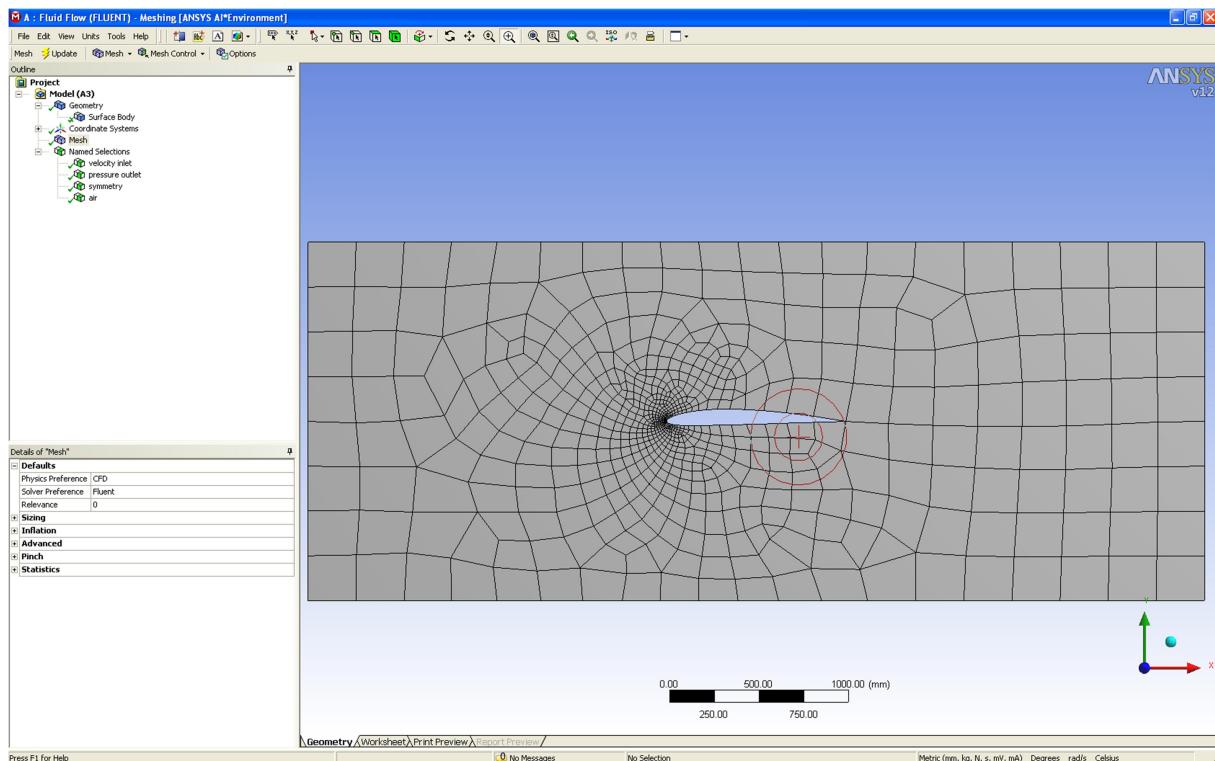
- ▶ Passer mode Sélection de faces en cliquant sur l'icône
- ▶ Sélectionner la face et la nommer « air »

! Les noms ici ne sont pas choisis au hasard. Ils correspondent aux noms des conditions aux limites dans Fluent. Cela va permettre qu'elles soient reconnues automatiquement comme des entrées, sorties etc ...

4.3. Génération du maillage

- ▶ Sélectionner Mesh dans l'arborescence (Fenêtre Outline)
- ▶ Faire un clic droit et choisir Generate Mesh

Le maillage avec les options par défaut est généré et apparaît dans la fenêtre de visualisation



On obtient un premier maillage pour lancer le premier calcul Fluent.

On verra dans la suite du TP que ce premier maillage ne permettra pas d'obtenir un résultat satisfaisant. On va néanmoins l'utiliser pour lancer un premier calcul Fluent. C'est grâce à l'analyse des premiers résultats que l'on modifiera ensuite le maillage en conséquence.

- ⚠ L'action Generate Mesh génère la maillage dans ANSYS Meshing. L'action Update fait de même, mais actualise aussi les fichiers dans le WorkBench, ce qui prend plus de temps et de ressources. En pratique, on utilisera Generate Mesh pour les essais successifs et Update pour le résultat final.

- ▶ Cliquer sur Update pour mettre à jour l'ensemble du projet avec le nouveau maillage
- ▶ Fermer le logiciel de maillage : File > Close Meshing

A.5. Mise en données et simulation

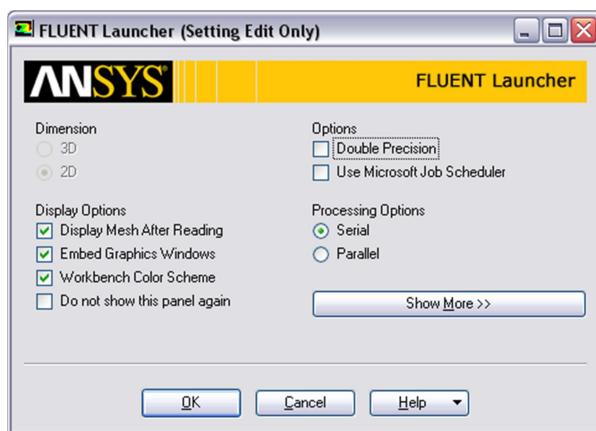
5.1. Lancer Fluent

De retour dans la fenêtre WorkBench, l'étape de maillage a été actualisée, on peut passer à la suivante qui consiste à mettre en données le problème sous Fluent.

En cas de problème, c'est-à-dire si le symbole dans la case Mesh n'est pas  , il faut recommencer l'étape précédente pour corriger le problème.

- ▶ Dans la fenêtre du Workbench, double cliquer sur la case 4 : Setup

Apparaît tout d'abord la fenêtre de lancement, qui sert à indiquer si l'on va travailler en 2d ou en 3d, en mono-processeur ou en parallèle et si besoin est, à préciser le répertoire de travail.

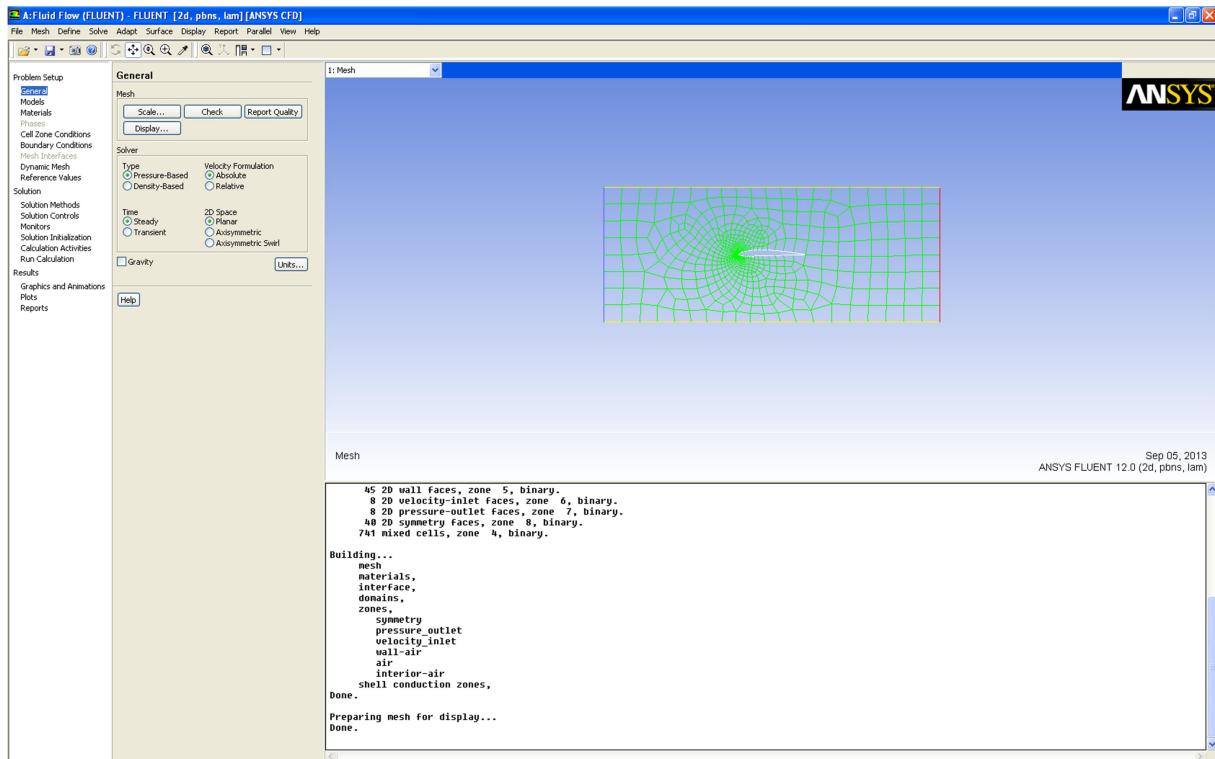


- ▶ Cliquer sur Show More >> pour voir les options supplémentaires

 Comme Fluent est lancé directement depuis le Workbench, les bonnes options de démarrage sont sélectionnées automatiquement.

- ▶ Cliquer sur Ok

5.2. Description de l'interface



Le workflow : la philosophie de l'interface Fluent est que les items (Solution Setup, Solution, Results et les sous-items associés) de l'arborescence de gauche sont à renseigner « dans l'ordre » et correspondent aux différentes étapes d'un calcul CFD.

Les menus : Plus d'options et de détails sont disponibles pour une utilisation avancée à partir des menus en haut.

Lignes de commande : Toutes les fonctions utilisables via les menus sont aussi accessibles sous forme de lignes de commande dans la case blanche en bas à droite. Ceci est utile pour créer un fichier journal et automatiser le lancement des calculs, car on peut ainsi créer des scripts et même ensuite lancer Fluent sans interface graphique. Il suffit souvent, quand un certain nombre de commandes sont disponibles de taper la première lettre des mots-clés correspondant.

Le maillage apparaît dans la fenêtre de visualisation. Différentes options sont disponibles avec la souris :

- ▶ **Bouton gauche:** déplacement dans l'espace
- ▶ **Bouton du milieu:** zoom
- ▶ **Zoom avant :** se fait en dessinant un rectangle suivant la diagonale descendante
- ▶ **Zoom arrière :** se fait en dessinant un rectangle suivant la diagonale ascendante

!

Les différentes actions de zoom etc. sont aussi disponibles dans la barre d'outils



!

Au cas où vous êtes « perdu » avec les zooms : Ctrl-A (view auto)

5.3. Chargement et vérifications du maillage

Cette opération est effectuée automatiquement car Fluent a été lancé depuis le Workbench. Le maillage apparaît dans la fenêtre de visualisation.

Vérification de la grille : La première chose à faire est toujours de vérifier l'intégrité du maillage, c'est à dire qu'il est adapté à un calcul Fluent et ne présente pas de problème géométrique

- ▶ Solution Setup > General > Check
- ▶ Lire les informations données à l'écran, en particulier sur les dimensions du domaine (Domain Extents) en X et en Y

On peut aussi trouver l'information sur le nombre de mailles :

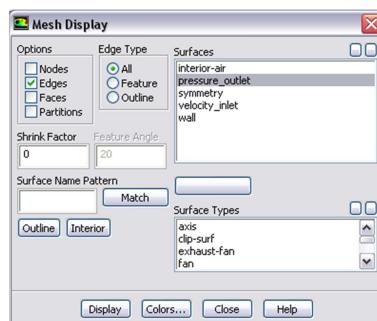
- ▶ Mesh > Info > Size
- ▶ De combien de cellules est composé le maillage chargé ?

Fluent offre quelques options pour créer des visualisations du maillage :

- ▶ Solution Setup > General > Display

Dans la fenêtre Surfaces, on voit apparaître les différentes sélections que l'on a lors du maillage. Il peut parfois être utile de bien repérer où elles se situent.

- ▶ Désélectionner toutes les surfaces, sauf pressure_outlet, cliquer sur Display
- ▶ Désélectionner toutes les Surfaces et cliquer Display



- ! Les conditions d'entrée/sorties et de mur sont des conditions sur les arrêtes du problème. Leur couleur dépend du type de condition aux limites choisies, pour permettre de bien les repérer.

La surface interior-air est une condition 2d de type intérieur, le maillage y apparaît en vert.

- ! Dans notre cas, les conditions limites sont automatiquement repérées comme des entrées, sorties etc... grâce aux noms qu'on leur a donné dans le logiciel de maillage. Si ce n'était pas le cas, on pourrait modifier leurs types dans Fluent.

5.4. Réglage des paramètres du solveur

General : Les paramètres suivants servent à imposer les différents paramètres du solveur, avant de lancer le calcul.

- ▶ Dans Solution Setup > General

Du type de solveur choisi dépendent les équations résolues :

- Density-Based → Forme compressible des équations de Navier-Stokes
- Pressure-Based → Forme incompressible des équations de Navier-Stokes

On peut spécifier ici : Steady → calcul stationnaire ou Unsteady → Calcul instationnaire

On peut aussi ici imposer la norme du vecteur gravité si l'on veut prendre en compte les effets de poids.

- ▶ Garder les paramètres par défaut

Spécification des modèles physiques : Les modèles physiques résolus sont sélectionnés à l'étape suivante

- ▶ Solution Setup > Models

C'est ici qu'il faut indiquer quels modèles doivent être résolus (turbulence, thermique, combustion, etc...).

- ▶ Sélectionner Viscous – Laminar et cliquer sur Edit pour modifier le modèle par défaut

Différents niveaux de modélisation des effets de viscosité sont disponibles ici

- Inviscid : Fluide parfait, pas de frottement visqueux
- Laminar : Ecoulement laminaire
- Différents modèles de turbulence plus ou moins précis (et donc plus ou moins rapides)

- ▶ Choisir le modèle k-epsilon standard
- ▶ Garder les options par défaut
- ▶ Cliquer sur Ok pour fermer la fenêtre

! On travaille par défaut avec un fluide newtonien.

Spécification du fluide utilisé : Dans Fluent, il faut indiquer quel fluide est en jeu et spécifier ses paramètres physiques (densité, viscosité etc...)

- ▶ Solution Setup > Materials
- ▶ Double-cliquer sur air

C'est dans ce menu que l'on peut modifier le type de fluide utilisé et/ou changer les valeurs des paramètres physiques du fluide

! Un certain nombre de gaz et de liquides sont préfinis dans la Fluent Database.

On gardera ici les valeurs par défaut de masse volumique et de viscosité pour l'air.

- ▶ Close

Cell zones conditions : On doit spécifier quel fluide est associé à quelle zone du maillage.

- ▶ Solution Setup > Cell zones conditions
- ▶ Double cliquer sur air pour ouvrir la fenêtre Fluid

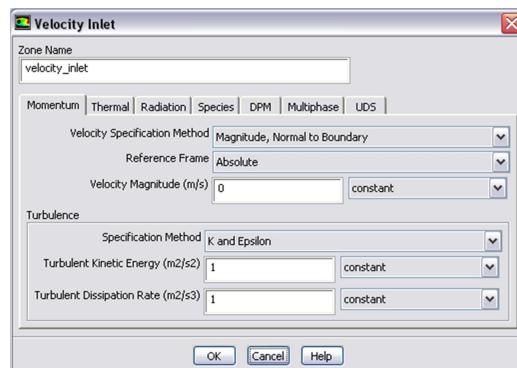


On vérifie ici que la zone que l'on a nommé air dans le logiciel de maillage est bien associé au « Material Name » air de la base de données.

- ▶ Cliquer Ok pour fermer la fenêtre

Boundary conditions (conditions aux limites) : Le type de condition a été imposé dans le logiciel de maillage. Il est possible dans ce menu de modifier les conditions aux limites (par ex transformer une entrée en une sortie etc...) et de régler les paramètres (vitesses d'entrée etc...)

- ▶ Solution Setup > Boundary conditions
- ▶ Sélectionner l'entrée (velocity_inlet) dans la liste Zone et double-cliquer



On règle ici les paramètres d'entrée, à savoir un écoulement laminaire de 40 m/s dans la direction X.

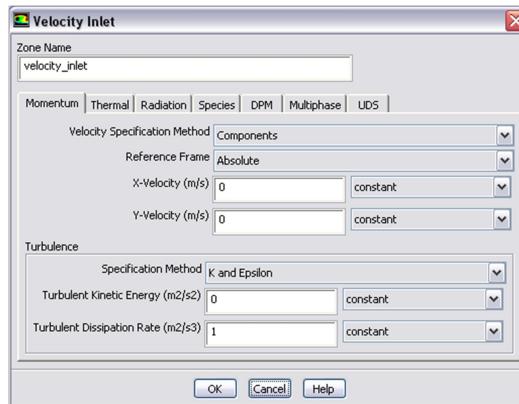
Pour spécifier la direction du vecteur vitesse à une entrée, il y a plusieurs solutions :

- La norme de la vitesse en supposant qu'elle est de direction normale à la CAL d'entrée
- La norme de la vitesse et un vecteur direction pour donner son orientation
- Les composantes suivant X,Y (et Z en 3D) du vecteur vitesse à l'entrée

- ▶ Dans le menu déroulant Velocity Specification Method, choisir Components
- ▶ Indiquer les composantes du vecteur vitesse à l'entrée dans les cases correspondantes (40 m/s en X, 0 en Y)

Il faut aussi définir le taux de turbulence à l'entrée, ici 0

- ▶ Indiquer 0 dans la case Turbulent Kinetic Energy (m²/s²)



- ▶ Cliquer sur OK

Paramètres : Pour lancer une simulation, il faudra aussi régler tous les paramètres du solveur.

- ▶ Solution > Solution Methods

Différents schémas de discrétisation et de couplage sont accessibles.

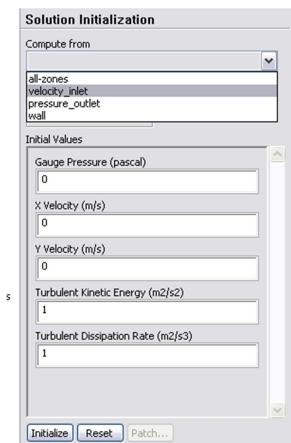
- ▶ Garder ici dans un premier temps les paramètres par défaut

5.5. Itérations et convergence

Afin de calculer une solution la plus exacte possible, le solveur de Fluent procède par itérations successives pour résoudre le système matriciel obtenu par discréétisation des équations par une méthode de volumes finis.

Initialisation et itérations : Afin que le calcul puisse démarrer, il faut un champ de vitesse initial comme point de départ des itérations. On va ici fixer un champ de vitesse égal à la vitesse d'entrée dans tout le domaine.

- ▶ Solution > Solution Initialization
- ▶ Choisir l'option Standard Initialization



- ▶ Afin de prendre la vitesse d'entrée et de la dupliquer dans tout le domaine, choisir velocity_inlet dans le menu déroulant Compute From
- ▶ Cliquer sur Initialize pour initialiser la solution (fausse !) de départ

Le calcul va maintenant pouvoir être lancé.

- ❗ Le solveur part de la solution initiale et, grâce à un algorithme itératif de résolution du système matriciel obtenu par discréétisation, va effectuer des itérations du problème.
- ❗ Si tout se passe bien, chaque itération doit modifier la solution courante pour la remplacer par une solution plus proche de la solution exacte recherchée.
- ❗ A chaque itération et pour chaque équation une erreur, nommée résidu, est calculé par rapport à une solution exacte du système.
- ❗ Un calcul diverge si les résidus augmentent au cours des itérations. Il faut alors revoir soit le maillage, soit régler les paramètres du solveur afin de garantir une meilleure convergence.

Pour suivre l'évolution des résidus au cours du calcul :

- ▶ Solution > Monitors
- ▶ Choisir Residuals et double cliquer

MNMF ▶ PRISE EN MAIN ANSYS/FLUENT

Fluent dispose par défaut d'une possibilité d'arrêter les calculs en dessous d'une certaine valeur des résidus. Cette option est très utile par exemple quand on envoie le calcul sur un serveur, et que l'on ne peut donc pas le suivre au fur et à mesure.

Dans notre cas, on travaille en local sur la machine, on peut donc arrêter soit même le calcul quand il est convergé

- ▶ Mettre les convergence criterion à None

Lancement de la simulation

- ▶ Solution > Run Calculation

C'est ici que l'on indique le nombre d'itérations souhaitées et que l'on lance le calcul proprement dit.

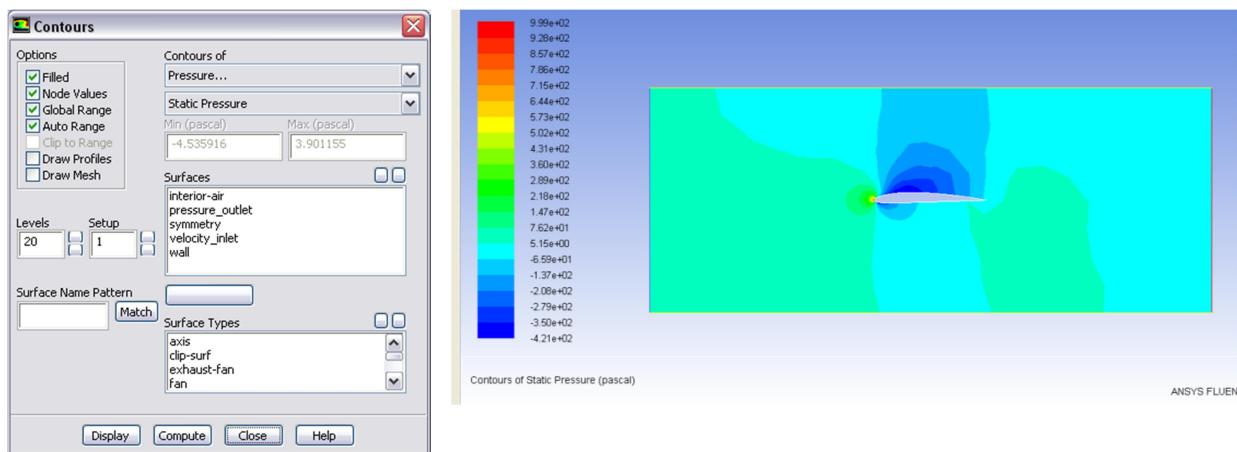
- ▶ Indiquer 100 dans la case Number of iterations
- ▶ Cliquer sur Calculate
- ▶ A la fin des itérations, le calcul vous semble-t-il bien convergé ?
- ▶ Relancer 100 itérations

! Tant qu'il n'a pas été réinitialisé, le calcul repart toujours de la solution courante et non de « zéro ».

5.6. Visualisation des résultats de calcul

- ! On peut à tout moment (quand les itérations sont stoppées) visualiser les résultats dans l'étape Results du menu de gauche.

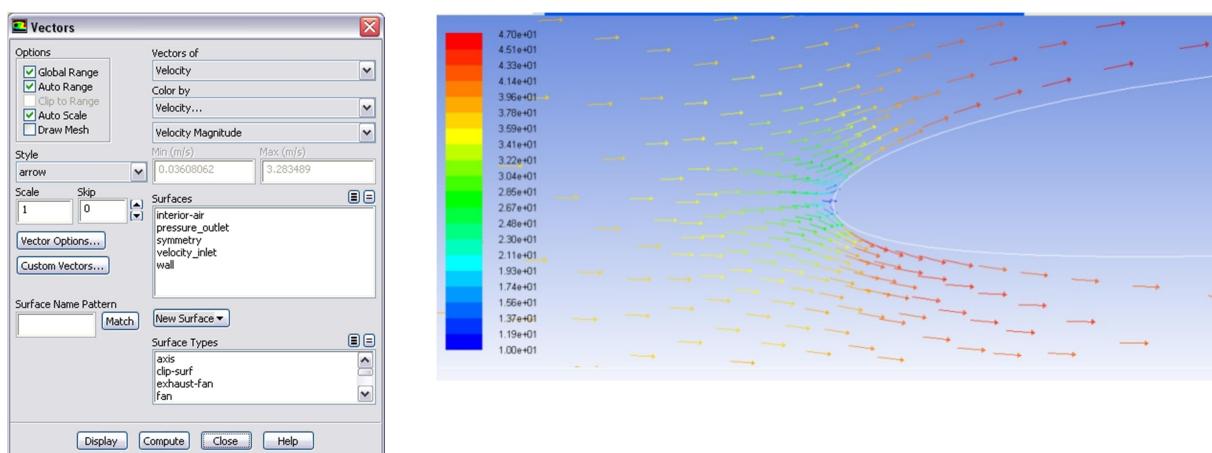
- ▶ Results > Graphics and Animations
- ▶ Double-cliquer sur Contours
- ▶ Cliquer Filled dans les options
- ▶ Faire attention que toutes les zones sont désélectionnées dans la case Surfaces
- ▶ Cliquer sur Display, puis Close



- ▶ Au vu des résultats, que penser de la taille du domaine de calcul ?

On peut aussi visualiser l'écoulement sous forme de champs vectoriels de vitesse.

- ▶ Results > Graphics and Animations > double-cliquer sur Vectors
- ▶ Toutes les zones doivent être désélectionnées dans la case Surfaces
- ▶ Cliquer sur Display, puis Close
- ▶ Faire un zoom au niveau du bord d'attaque

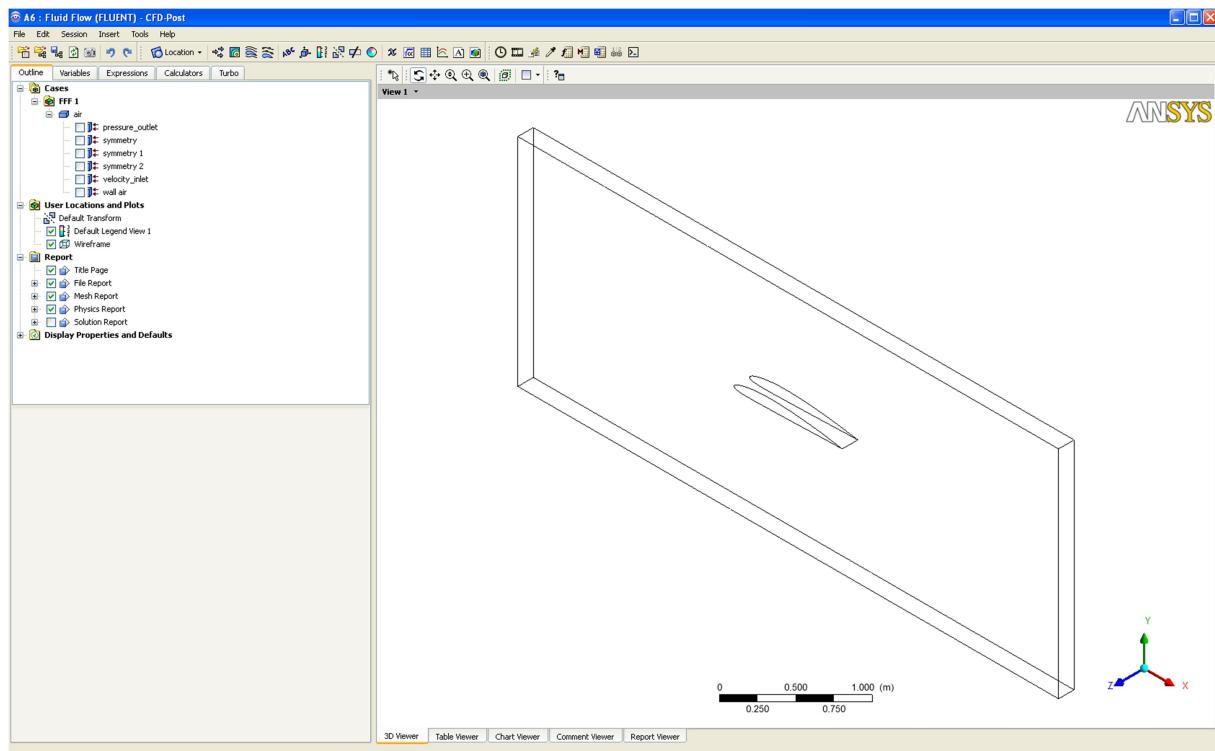


- ▶ Que penser de la résolution du maillage ?

A.6. Post-traitements

6.1. Visualiser les résultats avec CFDPost

- ▶ File > Save Project
- ▶ Fermer Fluent : File > Close Fluent
- ▶ Revenir dans la fenêtre WorkBench
- ▶ Double-cliquer dans la case Results pour lancer le logiciel de post-traitement CFDPost



! Ce logiciel ayant été développé pour des applications 3d, il crée automatiquement un volume 3d avec une épaisseur de 1 maille quand des résultats 2d sont chargés. Les deux faces supplémentaires créées s'appellent symmetry 1 et symmetry 2

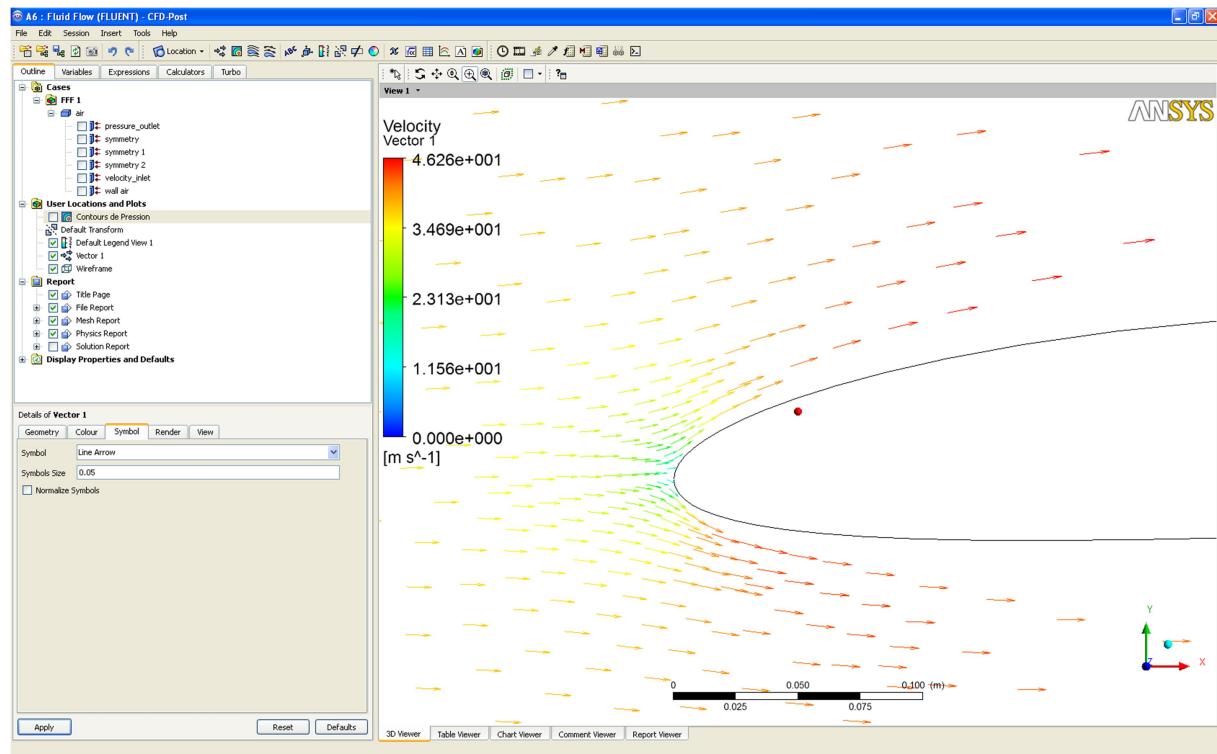
- ▶ Faire un clic droit dans la fenêtre de visualisation
- ▶ Choisir Predefined Cameras > View Towards +Z pour orienter la vue
- ▶ ... ou alors cliquer sur le vecteur Z en bleu dans la fenêtre de visualisation
- ▶ Sélectionner l'icône Contour dans la barre d'outils en haut



- ▶ Entrer Contours de Pression dans la case Name

- ▶ Cliquer OK
- ▶ Se placer dans la fenêtre Details of **Contour de Pression** en bas à gauche
- ▶ Dans Location, choisir symmetry 1
- ▶ Cliquer sur Apply

Champ de vitesse



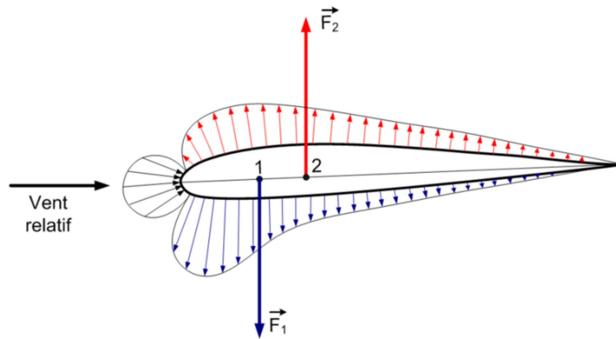
- ▶ A vous d'explorer pour afficher le champ vectoriel des vitesses de l'air

! L'onglet Symbol dans la fenêtre Details permet de modifier la taille des vecteurs

Grâce au Workbench, ces visualisations vont rester en mémoire, et pourront être régénérées automatiquement par la suite pour d'autres résultats

- ▶ File > Quit

6.2. Analyse locale



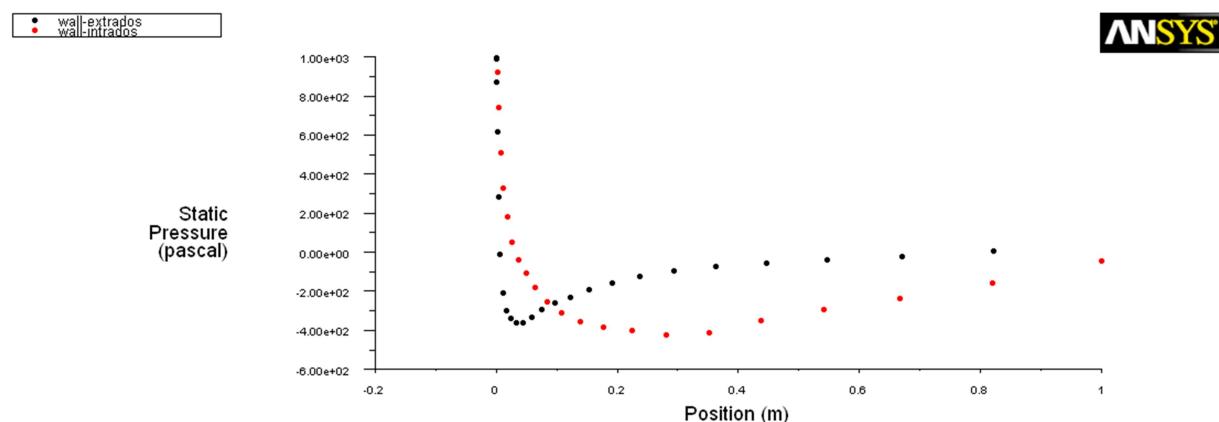
Afin d'analyser les résultats, on va tracer l'évolution de la contrainte de pression le long du profil, sur l'intrados et sur l'extrados. Pour cela,

- ▶ Relancer Fluent en cliquant sur la case Solution dans le Workbench
- ▶ Results > Plot
- ▶ Double cliquer XY Plot

! Ce menu permet de tracer des graphiques 2d des résultats sur une arrête, une surface etc ...

- ▶ Dans X Axis Function, choisir Direction Vector
- ▶ Dans Y Axis Function, choisir Pressure et Static Pressure
- ▶ Plot

On obtient un tracé de la pression le long de l'intrados et de l'extrados:



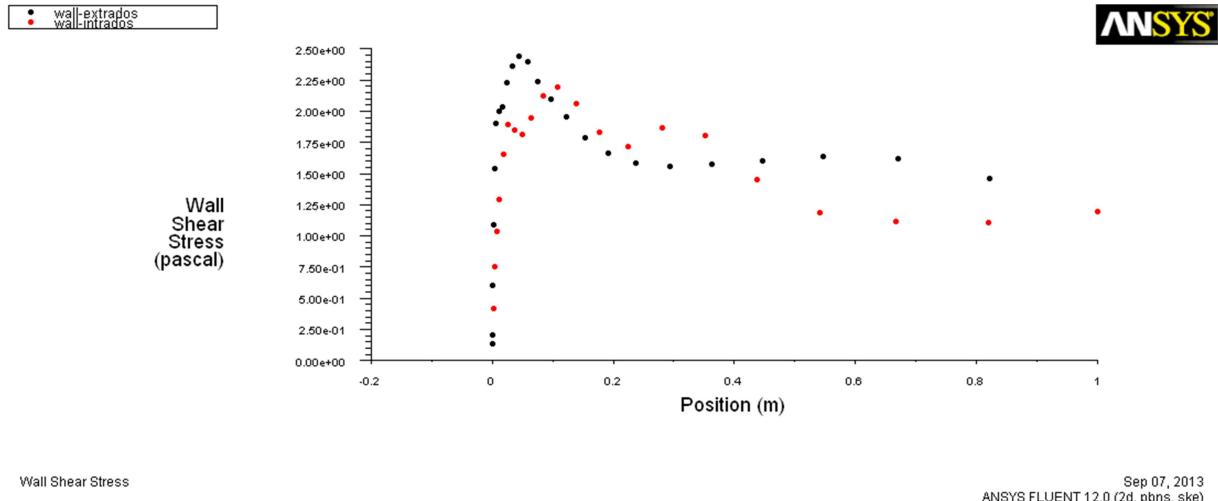
Static Pressure

Sep 07, 2013
ANSYS FLUENT 12.0 (2d, pbn, ske)

- ▶ En comparant avec le champ de pression 2d, expliquer la forme de cette courbe.
- ▶ Pourquoi observe-t-on des valeurs négatives de pression ?
- ▶ Où la pression est-elle maximum ? minimum ?

Frottement pariétal

- ▶ Rappeler la définition de la contrainte de frottement pariétale (cf. cours).
- ▶ Que représente-t-elle physiquement ?
- ▶ De manière similaire à la pression, tracer son évolution (Wall Fluxes > Wall Shear Stress)
- ▶ Expliquer et commenter !



Wall Shear Stress

 Sep 07, 2013
 ANSYS FLUENT 12.0 (2d, pbn, ske)

6.3. Calculer les coefficients aérodynamiques du profil

Définitions : La force aérodynamique est la force exercée par l'air en mouvement sur l'objet . Elle peut être projetée :

- dans la direction du vent incident (traînée, Drag en anglais)
- dans la direction normale au vent (repère orthonormé direct) Lift en anglais
- dans la direction des z ascendant (soulèvement ou appui)

Les coefficients aérodynamiques sont calculés dans chaque direction en divisant la force dans cette direction par la pression dynamique de vent incident et par la surface de référence Ces coefficients sont dans dimensions.

$$c_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho V_{ref}^2 S}$$

$$c_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho V_{ref}^2 S}$$

$$c_Z = \frac{F_Z}{\frac{1}{2} \rho V_{ref}^2 S}$$

On choisira :

- Comme vitesse de référence la vitesse de l'écoulement incident
- Comme surface de référence, comme on est ici en 2D, la longueur de corde multipliée par une profondeur

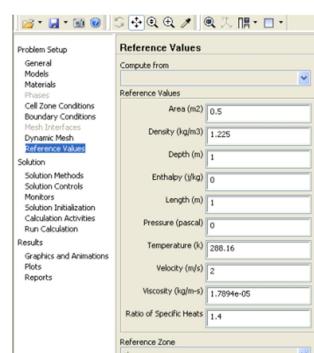
Si l'on considère un écoulement bi-dimensionnel, on choisit souvent par convention une profondeur unitaire afin d'avoir une surface de référence en m².

Renseigner la vitesse et la surface de référence :

- Solution Setup > Reference Values

C'est ici que l'on indique les valeurs de références de vitesse et de surface qui seront utilisées pour calculer les coefficient de traînée et de portance de l'objet.

- Entrer comme vitesse de référence la vitesse de l'écoulement incident
► Entrer comme surface de référence (m²) la valeur 1 (longueur de corde x profondeur unitaire)



Coefficients de traînée et de portance

Pour calculer et afficher le coefficient de traînée :

- ▶ Le calcul des forces aérodynamiques s'effectue avec : Results > Reports
- ▶ Choisir Forces dans la liste et cliquer sur Set Up ...
- ▶ On choisit ici la direction de calcul, soit dans notre cas X (direction de l'écoulement incident) pour la traînée

Dans Wall zones apparaissent les conditions de type Wall pour lesquels on peut calculer les forces exercées par le fluide.

- ▶ Sélectionner l'intrados et l'extrados
- ▶ Cliquer sur Print pour afficher les résultats dans la fenêtre de commande

! Apparaît dans la console Fluent un tableau qui, pour chaque Wall Zone sélectionnée donne, dans la direction donnée par le Force vector :

- ▶ La norme des forces de pression (normale aux parois)
- ▶ la norme des forces de frottements visqueux (contraintes de cisaillement, tangentielles aux parois)
- ▶ La norme de la force totale dans la direction indiquée, donc Fx ici dans la case Force Vector
- ▶ Le coefficient lié à la pression
- ▶ Le coefficient lié aux frottements
- ▶ Le coefficient total (C_x , C_y ou C_z) dans la direction considérée par le Force Vector

Forces		Forces (n)		Viscous		Total	
Zone wall		Pressure (1.1505753 -0.10740507 0)		Viscous (0.0062160641 0.00060104672 0)		Total (1.1567913 -0.10680402 0)	
Net		(1.1505753 -0.10740507 0)		(0.0062160641 0.00060104672 0)		(1.1567913 -0.10680402 0)	
Forces - Direction Vector (1 0 0)		Forces (n)		Coefficients		Total	
Zone wall		Pressure 1.1505753	Viscous 0.0062160641	Total 1.1567913	Coefficients 0.93924513 0.005074038	Total 0.94431946	
Net		1.1505753	0.0062160641	1.1567913	0.93924513 0.005074038	0.94431946	

- ▶ Quelle est la valeur calculée du coefficient de traînée de l'objet
- ▶ Refaire la démarche pour calculer la portance (en N) et le coefficient de portance



Une simulation CFD en aérodynamique externe ne pourra être validée que si les éléments suivants ont été vérifiées :

Le nombre d'itérations et les critères d'arrêt doivent garantir que le calcul a bien convergé : est-ce le cas ici ?

L'influence de la taille du domaine fluide autour de l'objet doit avoir été étudiée : le domaine doit être assez grand pour que les conditions aux limites n'influent pas sur les champs de pression et de vitesse. Est-ce le cas ici ?

Le maillage doit être assez fin pour que la physique soit bien résolue, en particulier au niveau de la couche limite au voisinage des parois de l'objet. Est-ce que le cas ici ?

Pour valider ces points, la seule solution est de recommencer les calculs en modifiant les paramètres et comparer les résultats, ce que l'on va apprendre à faire en utilisant les fonctionnalités de l'ANSYS Workbench.

INTRODUCTION A LA CFD

B. OPTIMISATIONS DU 1^{ER} CAS

B.1. Objectifs

⚠ Le 1^{er} calcul réalisé présente plusieurs défauts majeurs en termes de maillage : Le domaine de calcul est trop petit, le maillage n'est pas assez fin et la couche limite n'est pas du tout résolue

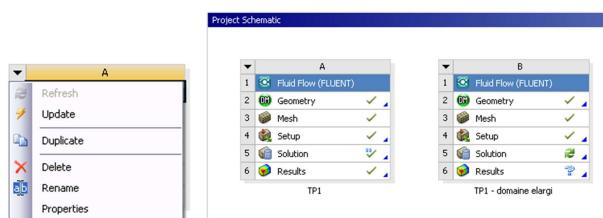
Un « bon maillage » en CFD présente les caractéristiques suivantes :

- ▷ un domaine de calcul assez large pour éviter d'influence des conditions aux limites sur la résultat ;
- ▷ un maillage fin au voisinage de l'objet (là où les phénomènes importants vont se produire) ;
- ▷ un maillage plus grossier loin de l'objet, où l'écoulement extérieur ne varie pas ou peu, afin d'économiser du temps de calcul ;
- ▷ une transition « douce » entre les zones raffinées et non raffinées pour éviter les problèmes d'erreur numérique lors de la résolution ;
- ▷ une bonne résolution au niveau de la couche limite ;
- ▷ et enfin, un nombre pas trop important de mailles pour ne pas alourdir les temps de calcul .

On va voir les outils qui permettent d'optimiser le maillage et donc le temps de calcul et la précision des résultats obtenus

1.1. Dupliquer le cas de calcul

- ▶ Dans la case à côté de la cellule A du système d'analyse, faire un clic droit
- ▶ Sélectionner Duplicate
- ▶ Double cliquer sur Copy of TP1 en bas
- ▶ Renommer en TP1 - domaine élargi
- ▶ Sauvegarder le projet File > Save



Cette opération permet de créer un nouveau workflow et de dupliquer l'ensemble des fichiers pour relancer une nouvelle simulation à partir de la précédente

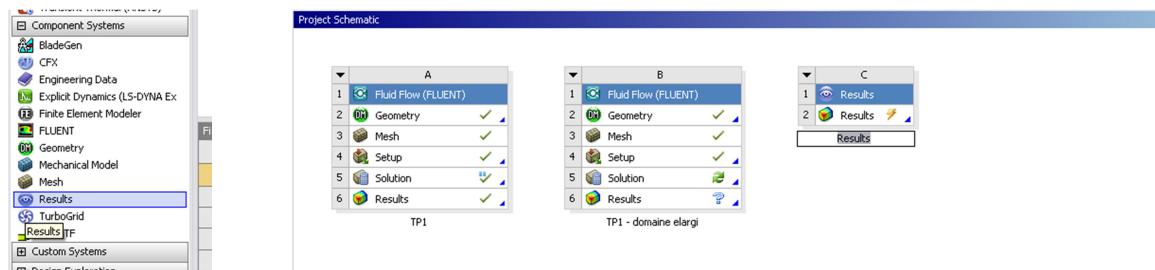
- ▶ Double cliquer sur la case 2 | Geometry du système dupliqué pour relancer DM
- ▶ agrandir le domaine de calcul à l'aide des dimensions de manière à avoir un domaine de 15 m de longueur, 8m de hauteur et le bord d'attaque à 3m de l'entrée
- ▶ Générer un nouveau maillage en dessous
- ▶ Relancer Fluent et le calcul jusqu'à convergence

! Accepter quand les logiciels vous indiquent que les données ont changé

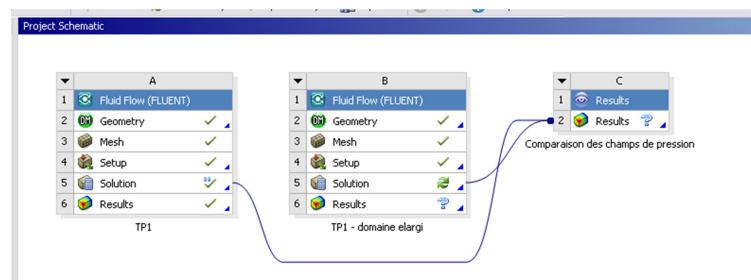
1.2. Comparer visuellement deux résultats sous WorkBench

On va maintenant utiliser une fonctionnalité intéressante du Workbench pour comparer directement les résultats des deux calculs.

- ▶ Dans le menu de gauche, dérouler la partie Component Systems en cliquant sur le symbole +
- ▶ Sélectionner Results
- ▶ Faire glisser dans la fenêtre centrale à droite des systèmes A et B



- ▶ Renommer Results en « Comparaison des champs de pression »
- ▶ Sauver le projet : File > Save
- ▶ Cliquer sur la case 5 Solution dans le système A
- ▶ Maintenir le bouton de la souris enfoncé, faire glisser cette case vers la case Results du système C
- ▶ Relâcher la souris, une ligne a été créée
- ▶ Répéter l'opération avec la case 5 Solution du système B



- ▶ Double cliquer sur la case 2 results du Tableau C pour lancer CFDPost
- ▶ Passer en vue +Z et faire un AutoFit View dans chacune des deux sous fenêtres
- ▶ Pour visualiser les champs de pression Créer un contour
- ▶ Le nommer et préciser ses caractéristiques (Locations : symmetry 1, variable : Pressure)
- ▶ Cliquer Apply
- ▶ Décrocher WireFrame dans l'onglet Outline, sous-menu User Locations and Plots dans la fenêtre en haut à gauche
- ▶ Analyser les résultats
- ▶ Pourquoi est-il important d'avoir élargi le domaine ?
- ▶ Visualiser les champs de vecteurs vitesse. Même question

B.2. Optimisation du maillage

2.1. Advanced size functions

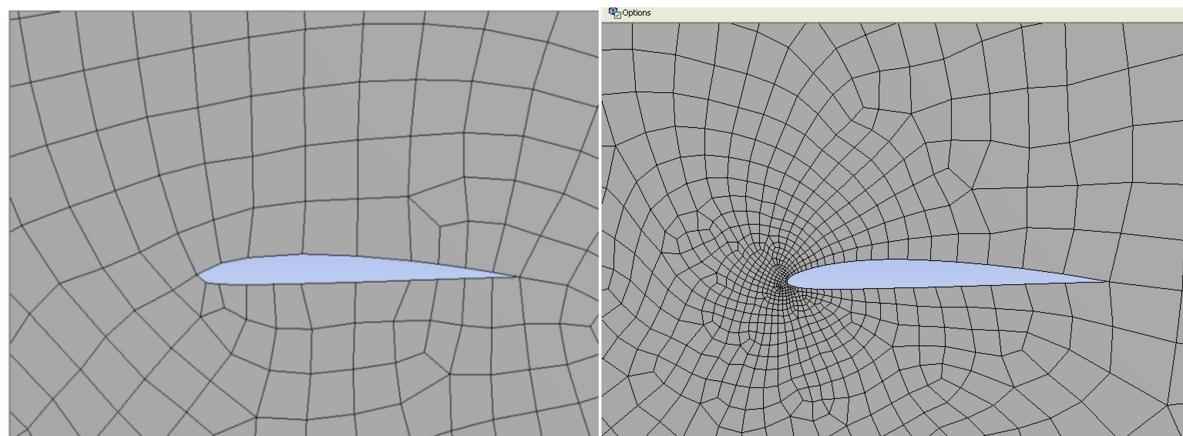
L'objectif en CFD est d'avoir un maillage

- ▶ fin au voisinage de l'objet. Ceci permet de bien représenter les variations de l'écoulement dans ces zones
- ▶ le plus large possible au loin de l'objet. Si le domaine est assez grand, l'écoulement reste constant. Ceci permet d'économiser du temps de calcul
- ▶ qui varie progressivement entre les mailles fines et les mailles larges au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'objet. ceci permet d'éviter les erreurs numériques.

 Dans Ansys Meshing, on utilise pour cela les « Advanced Size Functions »

- ▶ Sélectionner Mesh dans l'arborescence
- ▶ Dans la fenêtre Details of « Mesh », dérouler le sous menu Sizing en cliquant sur le 
- ▶ Dérouler l'onglet Sizing
- ▶ Dans la 1ere case Use Advanced Size Functions, sélectionner  On : Curvature

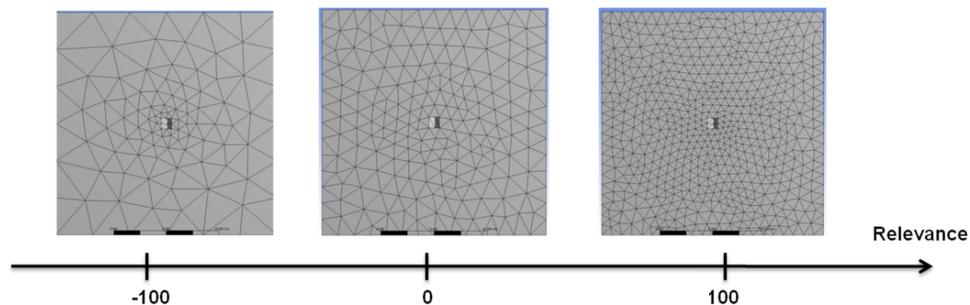
Cela signifie que le raffinement au voisinage de l'objet sera basé sur la courbure, ce qui permettra d'avoir une bonne résolution de l'arrondi au niveau du bord d'attaque sans avoir à mailler finement partout ailleurs (et donc économiser ainsi du temps de calcul).



2.2. « Relevance » globale

Relevance : Ce paramètre permet de contrôler la finesse du maillage pour l'ensemble du domaine. Il varie entre -100 (maillage très grossier) et +100 (maillage fin)

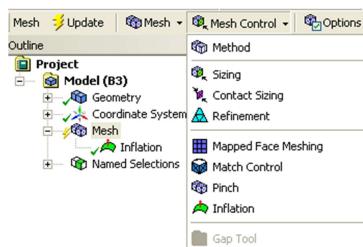
- ▶ Mettre le paramètre Relevance à -100
- ▶ Générer le maillage
- ▶ Modifier la valeur en l'augmentant progressivement en générant à chaque fois le maillage
- ▶ Constater l'influence de ce paramètre



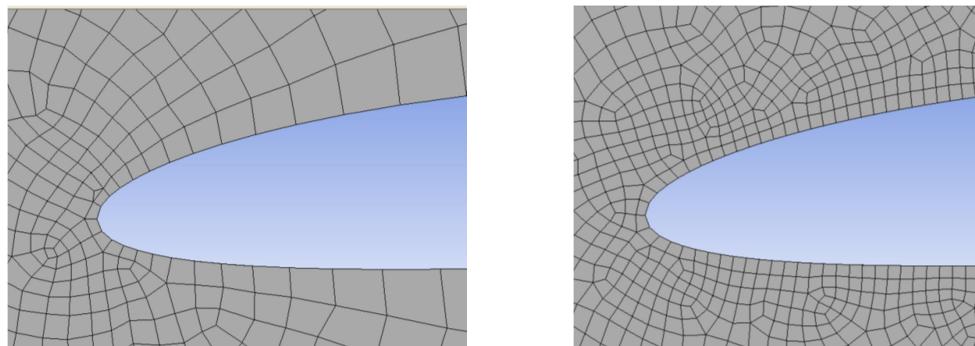
- ▶ Update le maillage avec le paramètre de relevance à 60 par exemple

2.3. Précision sur les parois

On peut imposer une taille de mailles sur la paroi de l'objet. Cette taille restera constante même en faisant varier le paramètre de Relevance.



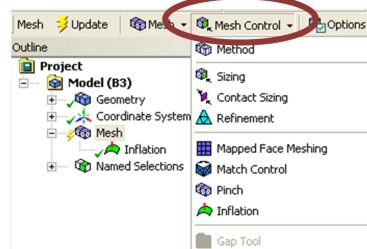
- ▶ Sélectionner Mesh dans l'arborescence
- ▶ Mesh Control > Sizing
- ▶ Pour Geometry, sélectionner les arrêtes supérieures et inférieures du profil d'aile
- ▶ Comme élément Size, rentrer 5e-03 (ou 0,005 avec une virgule et non un point !)
- ▶ Update



B.3. Maillage en couche limite

3.1. Outil Inflation

Afin d'affiner la précision des résultats au niveau de la couche limite en proche paroi de l'objet, on utilise l'outil Inflation qui crée des couches de fines mailles dans la direction normale à une paroi.



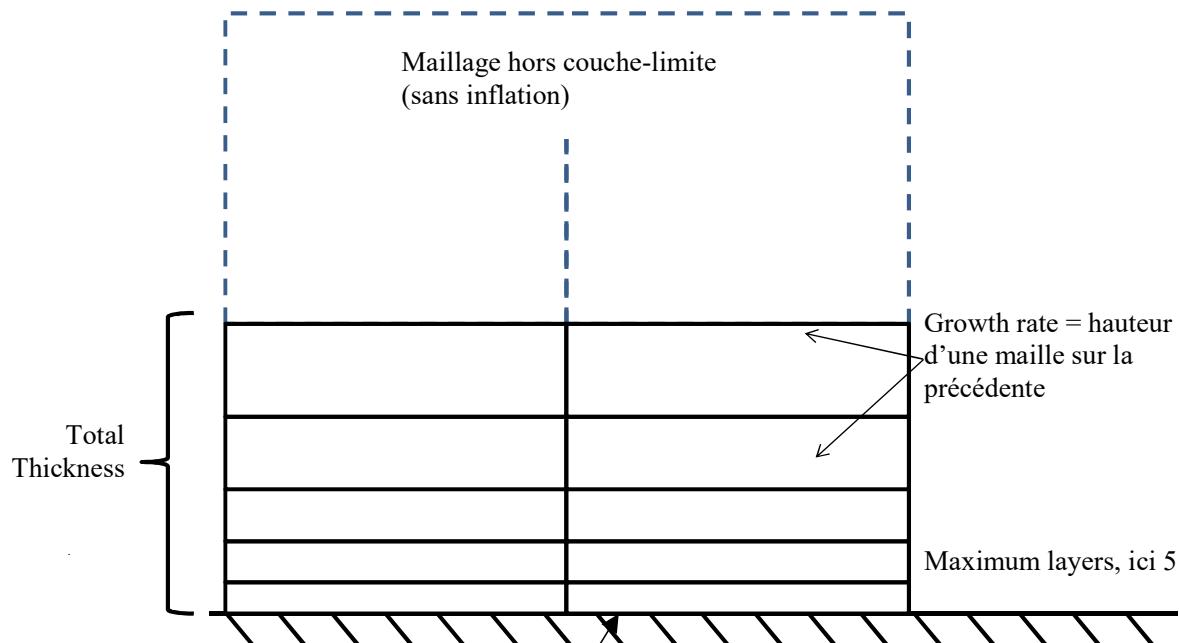
- ▶ Sélectionner Mesh dans l'arborescence
- ▶ Mesh Control > Inflation
- ▶ Pour Geometry, sélectionner le domaine de calcul
- ▶ Pour Boundary, sélectionner les arrêtes du profil

! On veut que la première maille proche paroi soit assez fine pour que la précision soit assez bonne et qu'il n'y ait pas de transition trop rapide entre une maille très fine et les mailles plus grosses

Pour cela, on génère des couches (layers) de maille de plus en plus hautes, avec un certain taux d'accroissement (Growth rate). On peut préciser au choix pour Inflation Option :

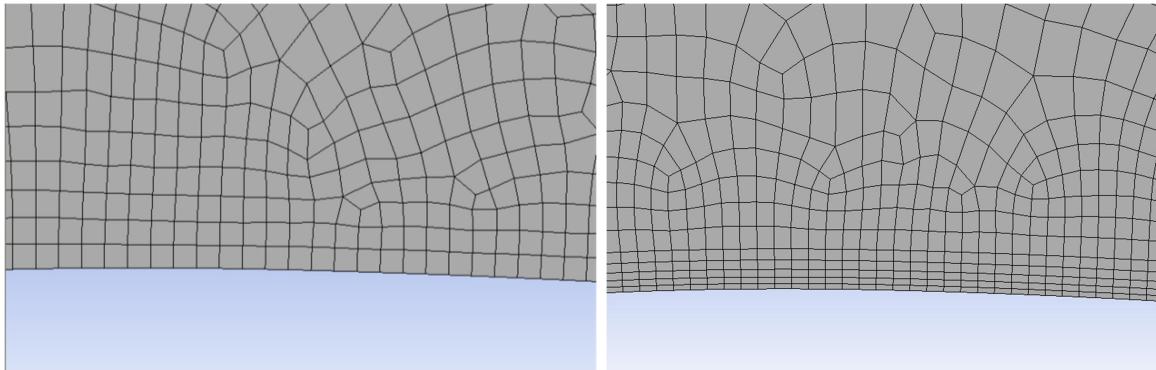
First layer Thickness : La hauteur de la première maille , le taux d'accroissement et le nombre de couches

Total thickness : Le taux d'accroissement, le nombre de couches et la hauteur totale maximum



MNMF ▶ OPTIMISATIONS DU 1ER CAS

- ▶ Choisir **First layer Thickness** pour la case **Inflation Option**
- ▶ Choisir ici une hauteur de première maille de 1 mm, 10 couches de mailles et un facteur d'acroissement de 1,2.
- ▶ Update



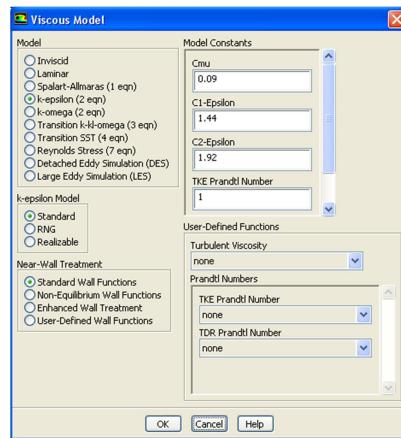
⚠ Ansys Meshing attend des virgules et non des points pour les décimaux.

On peut aussi rentrer les valeurs sous la forme **1e-3** ou encore **1 mm**

- ▶ Relancer le calcul avec un maillage raffiné en couche limite
- ▶ Comparer les résultats, en termes de visualisations et de coefficients aérodynamiques

3.2. Vérification de la précision en couche limite

Afin de calculer la couche limite turbulente, les codes de CFD utilisent des lois de paroi associées aux modèles de turbulence (Near Wall Treatment)



Selon le modèle choisi, la taille des mailles à la paroi doit être plus ou moins grande afin de garantir la validité du modèle. Afin de vérifier, on utilise le paramètre $Y+$, qui représente une distance adimensionnée à la paroi, dans le cadre de la théorie sur les couches limites turbulentes.

- ! En pratique, dans chaque cellule de paroi est calculée la valeur de $Y+$, qui est d'autant plus importante que la hauteur de la cellule est importante.

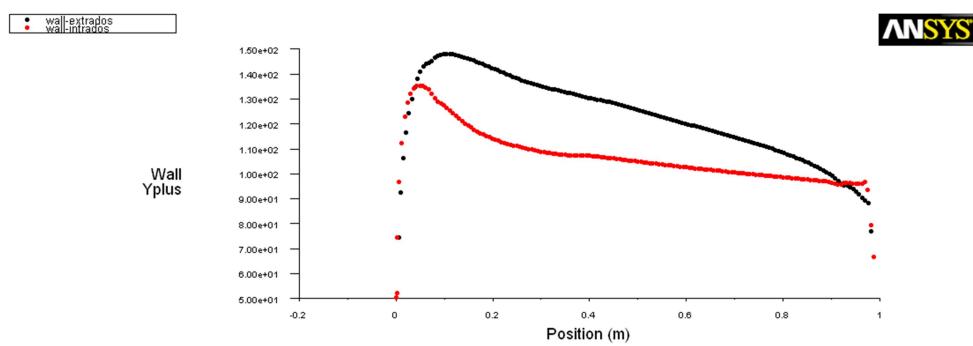
A Si les valeurs des $Y+$ associées à la première cellule proche paroi sont trop grandes, il faudra raffiner le maillage en proche paroi (en modifiant les paramètres de Inflation dans Ansys Meshing par exemple) et relancer le calcul.

Tracé de $Y+$

- Grâce à XY plot, tracer les valeurs de $Y+$ sur l'intrados et l'extrados

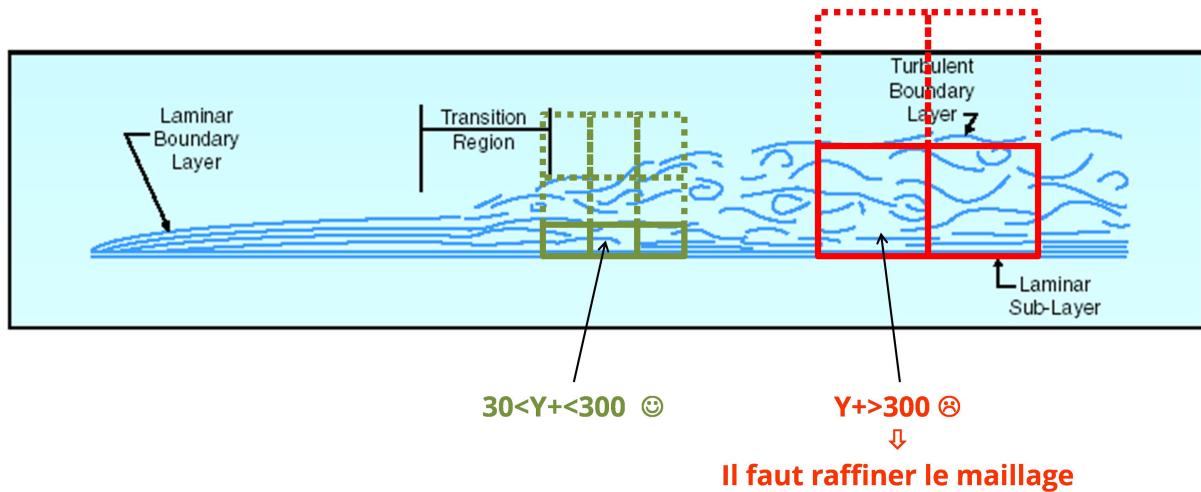
- ! Pour cela, dans la catégorie Turbulence, sélectionner la variable Wall YPlus (la dernière)

- Quelles sont les valeurs mini et maxi obtenues ?



Valeurs limites

- ! Pour le modèle « Standard Wall Functions » utilisé, la valeur de $Y+$ doit être comprise entre 30 et 300.



Si la valeur de ce paramètre $Y+$ est trop grande, cela signifie que la première cellule proche paroi a une hauteur trop importante et il faudra alors raffiner le maillage dans la couche limite.

B.4. Vérifications nécessaires

4.1. Vérification du maillage

Après avoir fait converger le nouveau cas de calcul, il faut toujours vérifier :

- ▶ la taille du domaine (les conditions aux limites ne perturbent pas l'écoulement calculé)
- ▶ le maillage de la couche limite (valeurs de Y+)
- ▶ la précision globale du maillage (un maillage plus fin ne modifie pas les résultats)

- ▶ Relancer un calcul avec un maillage plus fin (relevance plus importante)

4.2. Conservation de la masse

Il convient en particulier de vérifier le bilan de masse entre les entrées et les sorties du domaine.

- ▶ Results > Reports > Fluxes
- ▶ Dans le liste Boundaries, sélectionner celles-ci correspondent aux entrées et sortie du domaine
- ▶ Cliquer sur Compute et vérifier le bilan dans la case Net Results

- ❗ On accepte en générale un écart d'au maximum 1 % sur le bilan lié à des erreurs numériques. Si l'écart est trop important, il faut modifier le maillage ou les paramètres pour obtenir une meilleure convergence.

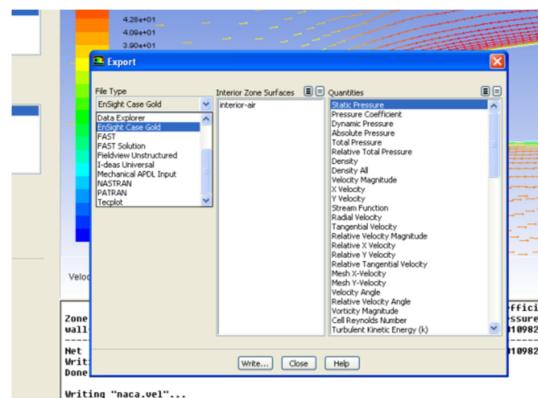
B.5. Post-traitements avec Paraview

Paraview est une application multi-plateforme (c'est à dire fonctionnant aussi bien sous Linux/Unix que sous Windows ou Mac OS X) pour la visualisation de données en 2 et 3 dimensions. Il est distribué sous forme de logiciel libre, c'est-à-dire totalement gratuit. Il permet de visualiser les données issues de Fluent, mais aussi d'un grand nombre d'autres logiciels de calculs dans différents domaines (structure, thermique, imagerie médicale,...)

Téléchargement et installation : <http://paraview.org/paraview/resources/software.php>

5.1. Lire les résultats Fluent sous paraview

- ▶ Dans Fluent : File > Export > Solution Data ...



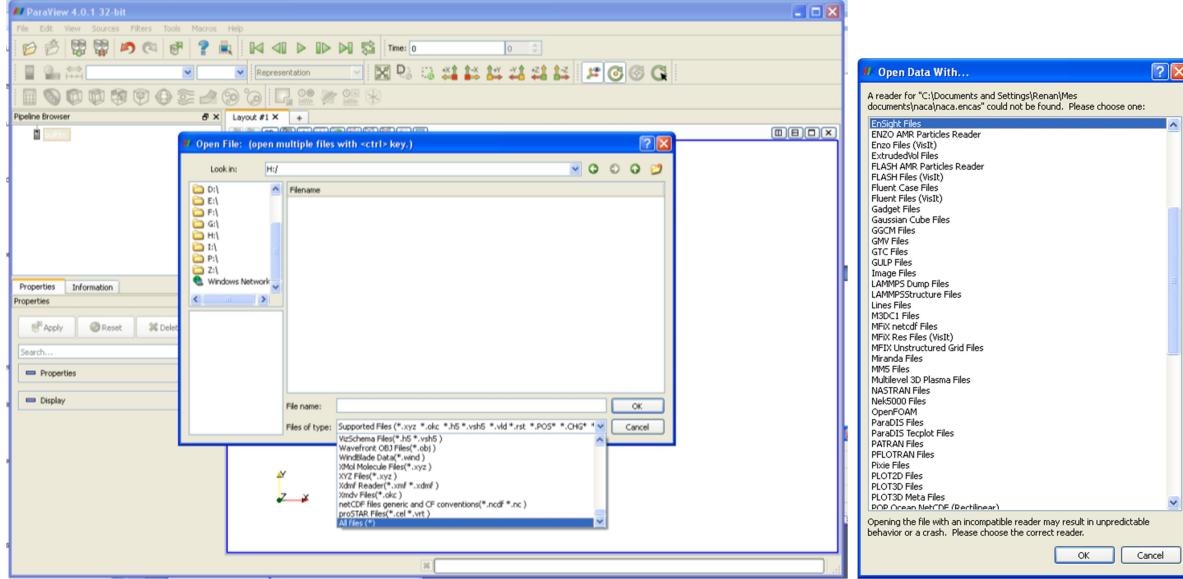
- ▶ Sélectionner EnSight Case Gold
- ▶ Dans la colonne Quantities, sélectionner Static Pressure
- ▶ Write ...
- ▶ Sélectionner le répertoire dans lequel seront sauvegardés les fichiers

EnSight Case Gold exporte quatre types de fichiers, qui sont tous nécessaires pour Paraview

- ▶ Un fichier géométrie (.geo) qui contient la géométrie et le maillage
- ▶ Un fichier vitesse (velocity) (.vel) qui contient les 3 composantes des vecteurs vitesse
- ▶ Un fichier scalaire (.scl1, .scl2 etc.) pour chaque variable sélectionnée
- ▶ Un fichier EnSight Case (.encas) qui contient les informations relatives aux autres fichiers.

Ouvrir les résultats sous paraview

- ▶ File > Open
- ▶ Dans le menu File of Type, sélectionner All files (*)



- ▶ Se rendre dans le répertoire où ont été sauvés les fichiers .encas etc...
- ▶ Sélectionner la fichier avec l'extension .encas
- ▶ Dans la fenêtre Open Data With ... , sélectionner EnSight Files
- ▶ OK
- ▶ Cliquer sur la case Apply en vert pour valider le chargement des données

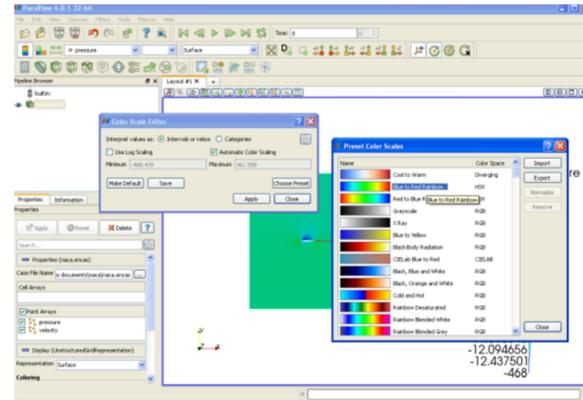
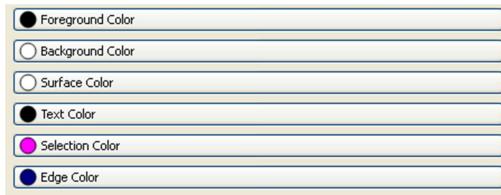
On voit apparaître le champs de pression dans la fenêtre de visualisation

! **Remarque :** Un problème a été plusieurs fois été constaté sous Windows, quand on affiche un champ avec de grandes variations assez localisées spatialement, des bugs d'affichage peuvent apparaître. Dans ce cas, les solutions trouvées ont été de modifier le paramètre Opacity, ou, au pire, de relancer paraview.

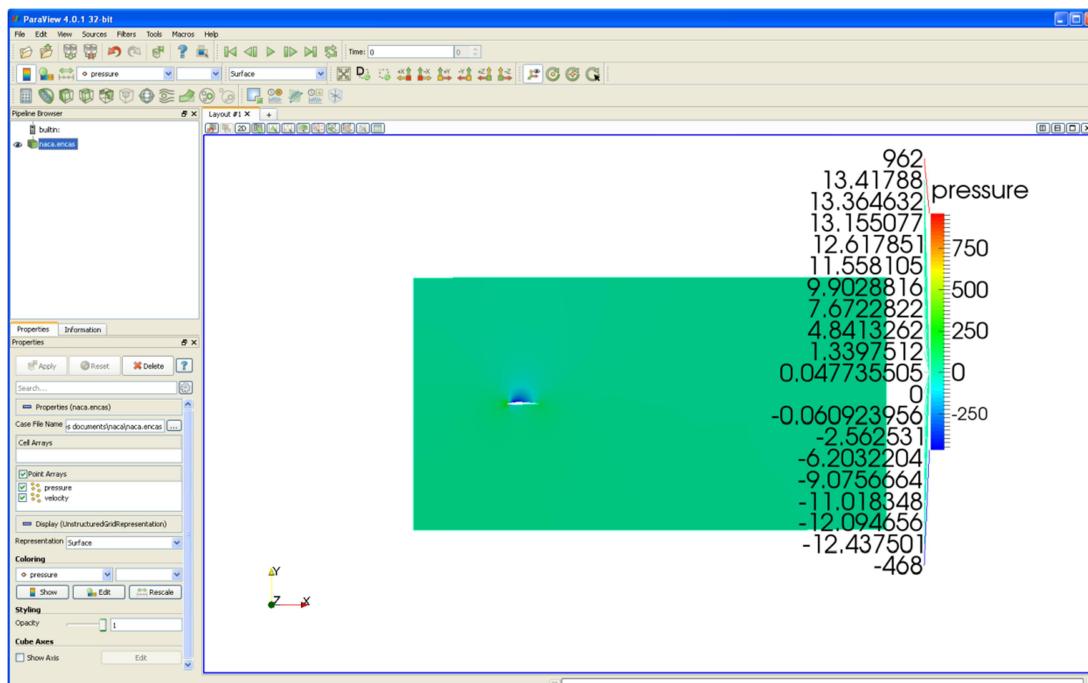
5.2. Réglages

Modifier les réglages par défaut

- ▶ Edit > Settings ...
- ▶ Choisir Color dans la colonne de gauche
- ▶ Régler les couleurs par défaut comme ci-dessous
- ▶ Cliquer Apply puis OK



- ▶ Faire apparaître l'échelle de couleurs en cliquant sur l'icône (en haut, à gauche)
- ▶ Cliquer sur l'icône juste à côté pour modifier le jeu de couleurs
- ▶ Dans la fenêtre Color Scale Editor, Cliquer sur l'icône avec un cœur (Favoris)
- ▶ Choisir le jeu de couleurs « Blue to red rainbow »
- ▶ Cliquer Save as Default afin de faire de ce jeu de couleurs celui par défaut
- ▶ Fermer la fenêtre latérale



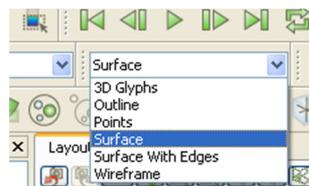
5.3. Visualisations avec paraview

Principe généraux: Paraview est basé sur une arborescence (pipeline), accessible dans la partie Pipeline Brower à gauche.

Filtres: Aux données chargées vont être appliquées des filtres, créant ainsi une arborescence.

Attention : Il faudra prendre garde à quel élément est appliqué quel filtre pour éviter les erreurs

Visualiser le maillage



- ▶ Tester les visualisations en Wireframe et Surface with Edges sur l'objet ExtractBlock1 de l'arborescence

Champs de vitesse

- ▶ Sélectionner le premier item de l'arborescence en encas
- ▶ Décocher l'œil à sa gauche
- ▶ Soit cliquer sur l'icône Glyph soit passer par le menu Filters > Alphabetical > Glyph
- ▶ Cliquer la case Apply en vert dans les « Properties » de Glyph1



On obtient une visualisation du champ de vitesse assez peu lisible. On va régler les paramètres des vecteurs.

- ▶ Pour Glyph Type, choisir 2D Glyph
- ▶ Plus bas, cocher la case Edit de la ligne Set Scale Factor
- ▶ Régler ce facteur d'échelle pour avoir une visualisation lisible

Par défaut, pour des raisons de lisibilité et de rapidité d'exécution, paraview ne trace pas les vecteurs vitesse en tous les points du maillage

- ▶ Modifier la valeur du paramètre Maximum Number of Points pour voir son influence

Sauvegarder une image

- ▶ File > Save Screenshot ...

Sauvegarder la configuration

- ▶ File > Save State ...
- ▶ Sauvegarder avec l'extension .pvsm (paraview state model)
- ▶ Quitter paraview
- ▶ Le relancer
- ▶ File > Load State
- ▶ Choisir le même ou un nouveau fichier .encas

On retrouve alors tous les filtres créés, et on peut les appliquer à un autre jeu de résultats

Afficher deux fenêtres sous paraview

- ▶ Créer une seconde fenêtre de visualisation à droite de la première



- ▶ Create view , choisir 3d view
- ▶ Faire un clic droit dans la fenêtre de droite et sélectionner Link Camera ...
- ▶ Cliquer ensuite dans la fenêtre de visualisation de gauche pour « lier » les deux vues
- ▶ Dans la fenêtre de gauche, faire apparaître le champs de pression (item .encas) en cliquant sur le petit œil pour le rendre actif
- ▶ Masquer le Glyph en cliquant sur le petit œil pour le rendre inactif
- ▶ Cliquer sur la fenêtre de droite

! Elle est bordurée en bleue pour montrer que c'est la fenêtre active

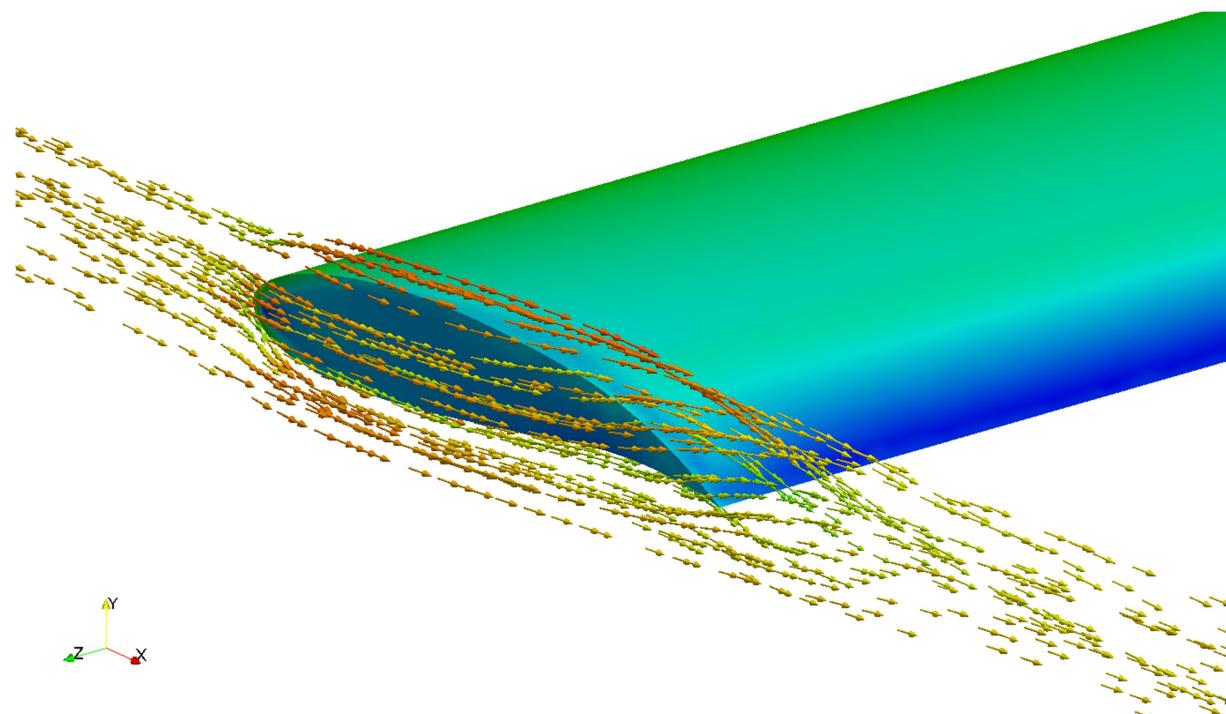
- ▶ Masquer le champs de pression et faire apparaître le champs de vecteurs vitesses

Sauvegarder une image : quand plusieurs fenêtres existent on peut sauvegarder comme image soit une seul fenêtre, soit l'ensemble

- ▶ File > Save Screenshot
- ▶ Décocher Save only selected view et sauver l'image

INTRODUCTION A LA CFD

C. SIMULATION 3D



C.1. Géométries 3d sous ANSYS DesignModeler

ANSYS DesignModeler : L'objectif du logiciel DesignModeler (noté DM) est de préparer une géométrie pour le maillage. Cette géométrie peut être :

- créée à partir de zéro dans DM
- importée depuis un fichier externe et « préparée » dans DM

- ❗ Même si la géométrie a été créée depuis un autre logiciel de CAO, il sera toujours nécessaire de la lire dans ANSYS DM afin de la « préparer » au maillage
- ❗ Les opérations décrites ici sont aussi valables, avec les mêmes outils, pour la création d'un maillage pour une analyse de type structure ou thermique avec les outils ANSYS correspondants.

ANSYS Meshing Ce logiciel lit une géométrie créée depuis DM et génère un fichier maillage qui sera ensuite lu en entrée du solveur Fluent. Il existe plusieurs stratégies pour mailler un domaine fluide en 3d **et des critères à respecter**, qui seront en partie explorées dans le cadre de ce TP.

- ▶ Lancer ANSYS Workbench
- ▶ Créer un répertoire TP3d sur le disque
- ▶ Sauvegarder le projet sous le nom TP3d dans le répertoire créé
- ▶ Dans Component Systems, sélectionner Geometry
- ▶ Faire glisser dans la fenêtre Project Schematics
- ▶ Renommer le système en Tests
- ▶ Double cliquer sur la case 2 | Geometry pour ouvrir DM
- ▶ On travaillera en mètres

1.1. Bodies et parts

- **Body** : un bloc géométrique 3d qui peut être de type :
- **Solid Body (corps solide)**: le bloc a une surface et un volume
- **Surface Body (corps surfacique)** : Le bloc a une surface mais pas de volume
- **Line Body (corps linéique)** : composé uniquement d'arrêtes, par de surface, ni de volume
- **Part** : Les **corps** peuvent être regroupés dans des « parts »

⚠ Les différentes parts sont toujours maillées séparément !

Conséquence pour le maillage

- ▲ Si des bodies adjacents sont dans des parts séparées, les maillages ne correspondront pas au niveau des jonctions.
- ▲ Si plusieurs bodies (Multiples bodies) sont dans une même part, les faces adjacentes seront communes. Il n'y aura pas de discontinuité dans le maillage.

1.2. Exemple simple pour la gestion des bodies et parts

Combinaison de bodies

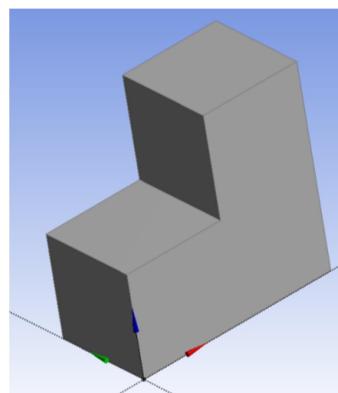
Par défaut, DM rajoutera toute nouvelle géométrie créée dans une part existante et fusionnera les « bodies ». Ceci permet de créer des géométries complexes à partir de forme simples.

- ▶ Sélectionner le plan XY
- ▶ Create > Primitives > Box
- ▶ Créer un box de 1mx1mx1m à partir de l'origine (valeurs par défaut)
- ▶ La nommer Corps1
- ▶ Generate
- ▶ Bien sélectionner le plan XY à nouveau
- ▶ Créer un nouveau 'body' de type box avec les dimensions et le positionnement indiqués sur la figure ci-dessous

Details View	
Details of Box4	
Box	Box4
Base Plane	XYPlane
Operation	Add Material
Box Type	From One Point and Diagonal
Point 1 Definition	Coordinates
<input type="checkbox"/> FD3, Point 1 X Coordinate	1 m
<input type="checkbox"/> FD4, Point 1 Y Coordinate	0 m
<input checked="" type="checkbox"/> FD5, Point 1 Z Coordinate	0
Diagonal Definition	Components
<input type="checkbox"/> FD6, Diagonal X Component	1 m
<input type="checkbox"/> FD7, Diagonal Y Component	1 m
<input type="checkbox"/> FD8, Diagonal Z Component	2 m
As Thin/Surface?	No

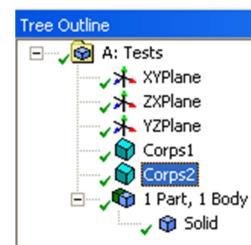
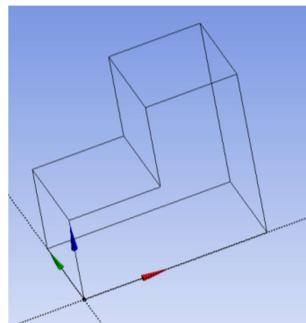
- ▶ Generate
- ▶ La renommer en 'Corps2'

On obtient un solide unique résultant de la fusion des deux

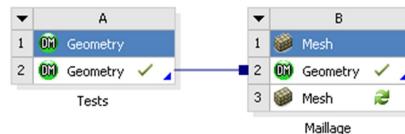


- ▶ View > Wireframe permet de ne voir que les arrêtes.

On s'assure ainsi qu'il n'a pas de séparation entre les deux corps solides. On vérifie dans l'arborescence que les 2 corps solides ont été fusionnés en un seul dans la même part.



- ▶ File > Save Project
- ▶ Fermer DM et revenir dans la fenêtre Workbench
- ▶ Dans Component Systems, sélectionner Mesh et faire glisser dans la fenêtre Project Schematics à droite du système Tests
- ▶ Renommer le nouveau système en 'Maillage'
- ▶ Transférer la géométrie vers le logiciel de maillage en faisant glisser la case Geometry du système A vers la case Geometry du système B



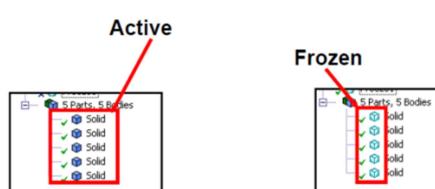
- ▶ Ouvrir le logiciel de maillage en double cliquant sur la case 3 | Mesh du système B
- ▶ Constater la géométrie transmise
- ▶ Générer un maillage avec les options par défaut
- ▶ Passer en vue « Wireframe »
- ▶ Revenir en vue « Shaded Exterior and Edges »
- ▶ Faire une copie d'écran du maillage obtenu et sauvegarder l'image pour pouvoir comparer plus tard.
- ▶ Fermer le logiciel de maillage et revenir dans le Workbench

! Le maillage est fait d'un seul bloc. On ne pourra par exemple avoir un maillage plus fin dans le petit cube et un plus gros dans le parallélépipède.

Active/ Frozen : Si on préfère que les deux blocs soient séparés, on peut éviter qu'ils ne soient fusionnés automatiquement en utilisant l'option **Frozen**.

- ❑ Si un body est dans l'état '**Active**', il sera fusionné automatiquement avec ses voisins actifs
- ❑ Si un body est dans l'état '**Frozen**', il ne sera pas pris en compte lors des opérations suivantes

On peut voir l'état d'un body dans l'arborescence.



- ▶ Rouvrir la géométrie

MNMF ▶ SIMULATION 3D

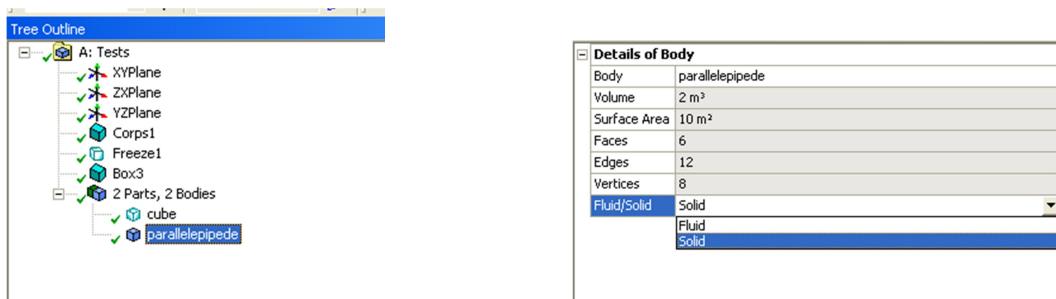
- ▶ Revenir en vue 'Shaded exterior and Edges'
- ▶ Sélectionner le body 'Corps2' dans l'arborescence
- ▶ Clic-droit et delete
- ▶ Sélectionner le Corps1
- ▶ Tools > Freeze
- ▶ Generate

Le body 'Corps1' apparaît maintenant en transparence. Il est en état 'Frozen', ce qui signifie que les corps créés ensuite ne seront pas fusionnés automatiquement avec lui

- ▶ Recréer maintenant comme précédemment le Corps2

On obtient deux corps solides complètement indépendants, chacun dans sa 'part' ! On remarque que l'un est de type Frozen et que l'autre est actif.

- ▶ Renommer les corps dans les parts comme indiqué sur la figure ci-dessous
- ▶ Pour chacun des deux, indiquer que ce sont des blocs de type Fluid en modifiant la sélection Fluid/Solid dans leurs fenêtres Details respectives



- ▶ Fermer DM, rafraîchir le projet et relancer le logiciel de maillage
- ▶ Sélectionner Mesh dans l'arborescence
- ▶ Clic-droit > Update
- ▶ Quelle différence avec avant ?
- ▶ Faire une copie d'écran du maillage obtenu
- ▶ Dans l'arborescence, déplier Connections en cliquant sur le +
- ▶ Sélectionner Contact Region et observer

! Du fait que les corps étaient dans deux parts différentes, la géométrie exportée est composée de deux blocs séparés, reliés entre eux par une surface de contact qui ne leur est pas commune.

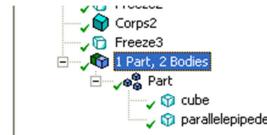
- ▶ Fermer le logiciel de maillage, revenir dans le Workbench et relancer DM pour modifier la géométrie

Multibodies part : On souhaite obtenir deux corps distincts, mais non fusionnés, avec une surface commune qui sera « fictive » au niveau du maillage. Pour cela, il faut réunir les deux corps solides dans une même part.

MNMF ▶ SIMULATION 3D

- ▶ Passer le solide Corps2 en état Freeze
- ▶ En maintenant la touche Ctrl enfoncee, sélectionner 'cube' et 'parallelepiped'
- ▶ Tools > Form New part
- ▶ Generate

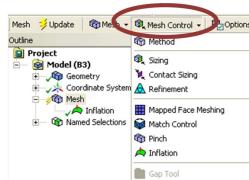
Les deux blocs ont été rassemblés dans une même part.



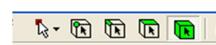
On parle alors de Multibodies part. L'ensemble sera maillé comme une seule entité composée de deux blocs distincts.

- ▶ Fermer DM, rafraîchir le projet et lancer le logiciel de maillage
- ▶ Quelles différences avec avant ?
- ▶ Passer en vue 'WireFrame' pour constater qu'il n'y a plus de surface de contact entre les deux solides
- ▶ Sélectionner Mesh dans l'arborescence
- ▶ Dans la fenêtre Details, changer Physics Preference en 'CFD'

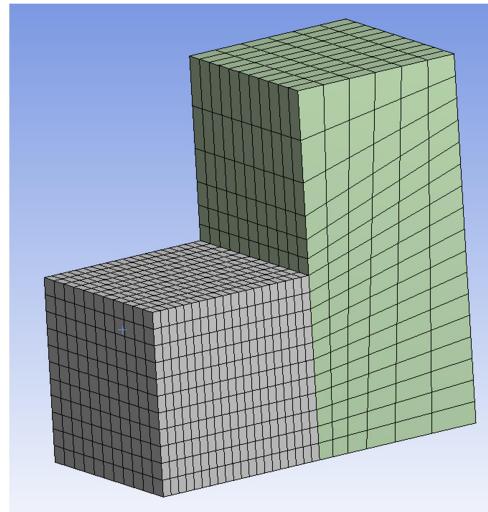
On va maintenant créer un maillage plus fin dans le petit cube afin de vérifier que la conformité est assurée au niveau de l'interface entre les deux blocs.



- ▶ Sélectionner Mesh dans l'arborescence
- ▶ Mesh Control > Sizing
- ▶ S'assurer de bien être en mode sélection de bodies



- ▶ La case Geometry dans la fenêtre de détails est en jaune. Une entrée est attendue
- ▶ Cliquer dans cette case
- ▶ Sélectionner le bloc cube
- ▶ Cliquer Apply
- ▶ Appliquer une taille de maille (Element Size) de 0,05 dans cette zone
- ▶ Générer le maillage

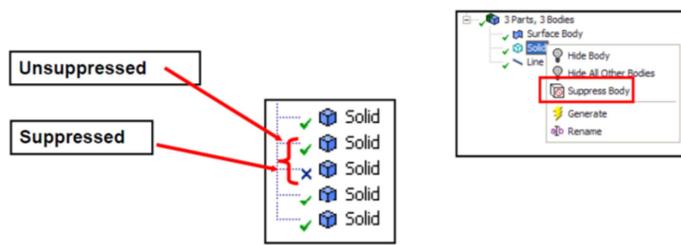


- ▶ Observer le résultat en vue 'Wireframe'
- ▶ Quitter ANSYS Meshing

! Les parts et les bodies sont très utiles pour décomposer un domaine en plusieurs zones pour faciliter le maillage par zones.

Etat 'Suppressed'

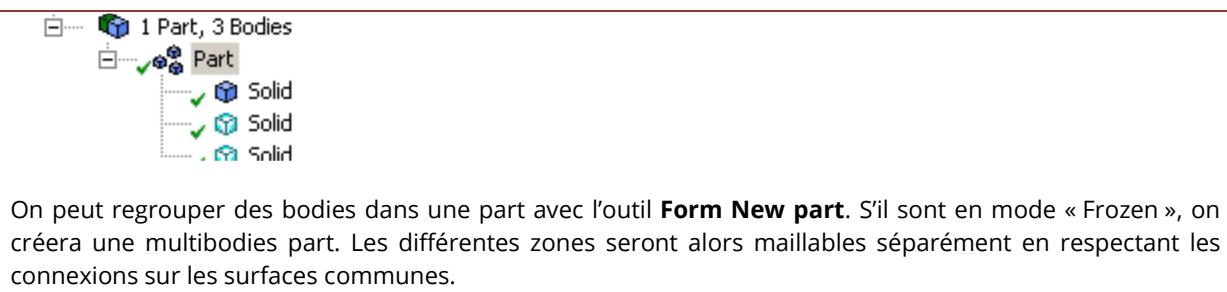
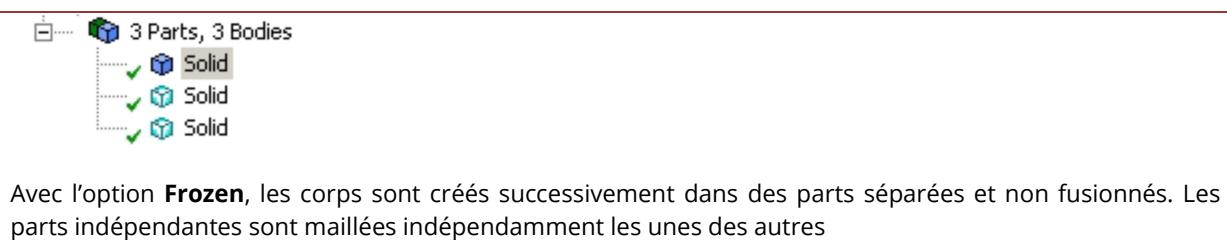
A Quand un body est dans l'état '**Suppressed**' (Supprimé), il n'est pas complètement effacé mais n'apparaît pas dans la visualisation, n'est pas exporté pour le maillage , apparaît avec un « X » dans l'arborescence.



- ▶ Relancer DM avec la géométrie depuis le Workbench
- ▶ Dans DM, mettre le solid 'parallelepiped' en état 'Suppressed '
- ▶ Quitter DM, rafraîchir le projet et relancer le logiciel de maillage
- ▶ Constater la différence

! Il est souvent utile d'utiliser des bodies pour la construction et de les passer en état 'Suppressed' avant l'export.

1.3. Résumé/ Bilan sur bodies et parts



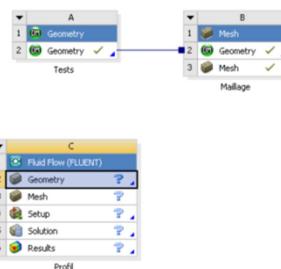
C.2. Importer une CAO

Dans cette partie, on va :

- ▶ Importer une géométrie créée par un autre logiciel de CAO
- ▶ Créer un domaine fluide environnant 3d
- ▶ Exporter vers le logiciel de maillage uniquement le domaine fluide

2.1. Importation de la pièce

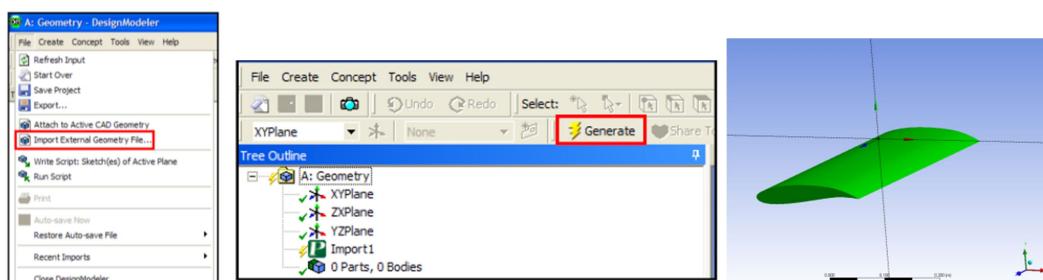
- ▶ Créer un système d'analyse Fluid Flow (FLUENT) et le nommer 'Aile 3D' par exemple



- ▶ Double cliquer sur la case 2 | Geometry pour ouvrir ANSYS DM
- ▶ Choisir l'unité de travail en m "meter"

Pour importer le fichier au format IGS de l'aile 3d téléchargeable à l'adresse <http://y-plus.fr/NACA6713.igs>

- ▶ File> Import External Geometry File ...
- ▶ Sélectionner le fichier NACA6713.igs et Ouvrir.
- ▶ Base Plane : XYPlane
- ▶ Mettre l'option Simplify Geometry à Yes
- ▶ Generate

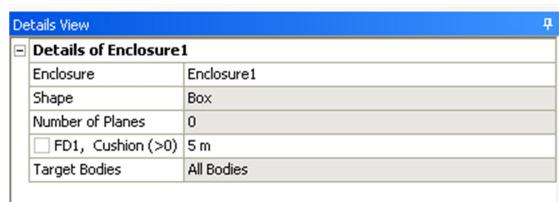


- ▶ Mettre la géométrie à la bonne échelle (corde 2,08 m) grâce à un 'Scale' avec un facteur 100

2.2. Crédation du domaine de calcul fluide environnant

Pour créer un domaine ‘troué’ autour d’un objet 3d, Ansys DM dispose de l’outil Enclosure. Il faut spécifier la distance minimale entre l’objet et le bord du domaine.

- ▶ Tools > Enclosure
- ▶ Remplir la fenêtre Details View avec les données de la figure ci-dessous
- ▶ Generate



- ❗ Une fois l’enclosure généré, on note qu’il y a maintenant 2 bodies dans l’arborescence, un en état frozen (enclosure) et un actif (la forme importée)
- ❗ Dans les versions plus récentes que la v12, on peut spécifier des distances différentes en X, Y et Z

Dimensionner le domaine : On va utiliser l’outil Slice pour découper le domaine de calcul au niveau de la jonction aile/fuselage, c'est-à-dire le plan XY

- ❗ Dans DM, on ne peut utiliser l’outil Slide que si tous les corps solides sont en état ‘Frozen’

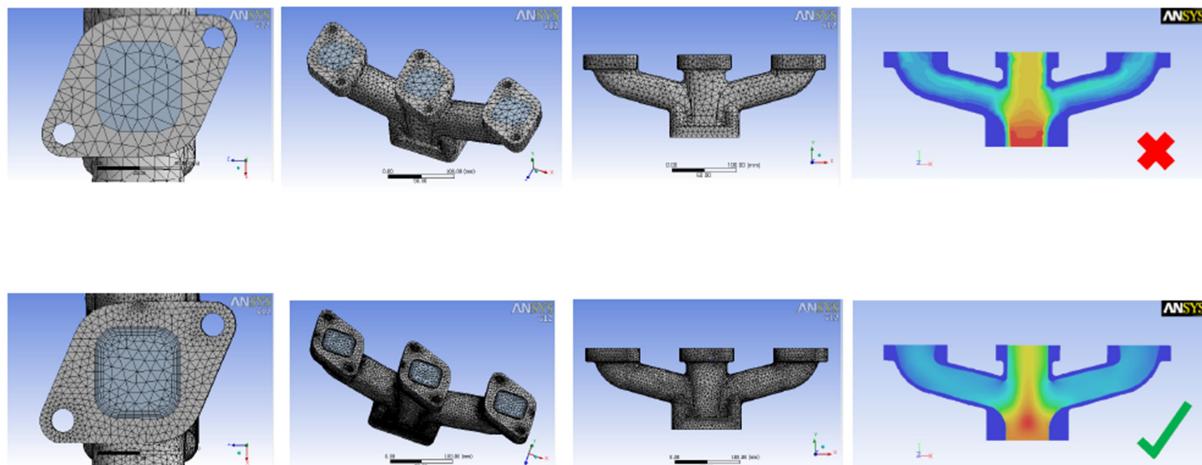
- ▶ Freezer tous les corps
- ▶ Create > Slice
- ▶ Sélectionner le plan XYPlane dans l’arborescence
- ▶ Dans la case base Plane, cliquer Apply
- ▶ Dans la case Slice Target, sélectionner Selected Bodies
- ▶ Sélectionner le domaine fluide et Apply (il devient bleu)
- ▶ Generate pour créer la coupe
- ▶ Vérifier le résultat dans la fenêtre de visualisation

Exporter uniquement la partie fluide : Le corps solide représentatif de l’aile ne sera pas exporté pour le maillage. Seule la partie fluide nous intéresse en CFD !

- ▶ Dans l’arborescence, sélectionner le solide correspondant au profil importé
- ▶ Faire un clic droit et “Suppress Body”
- ▶ Faire de même pour le petit bloc créé par la coupe
- ▶ Vérifier visuellement qu’il ne reste qu’un volume creusé délimité par le plan XY
- ▶ Fermer ANSYS DesignModeler
- ▶ Rafraîchir et sauvegarder le projet dans le Workbench.

C.3. Maillage 3d avec ANSYS Meshing

Pourquoi faire un bon maillage ? La figure suivante montre, sur une pièce de forme complexe, l'influence du maillage sur les résultats de simulation



source : Ansys Training Manual

On notera que plusieurs aspects sont importants au niveau du choix de la taille des cellules:

- ▶ Avoir une taille de mailles assez fines pour bien reproduire les gradients dans l'écoulement
- ▶ Avoir des mailles avec des formes correctes et pas de variations trop brusques des tailles
- ▶ Avoir une résolution assez précise dans la zone de couche limite pour bien reproduire les frottements visqueux et les éventuels décollements

3.1. En pratique

- ▶ Lancer Ansys Meshing
- ▶ Vérifier que le domaine importé est bien le domaine d'air « creusé » par la forme de l'objet étudié
- ▶ Vérifier que le domaine est bien de type fluide

Physics Preferences

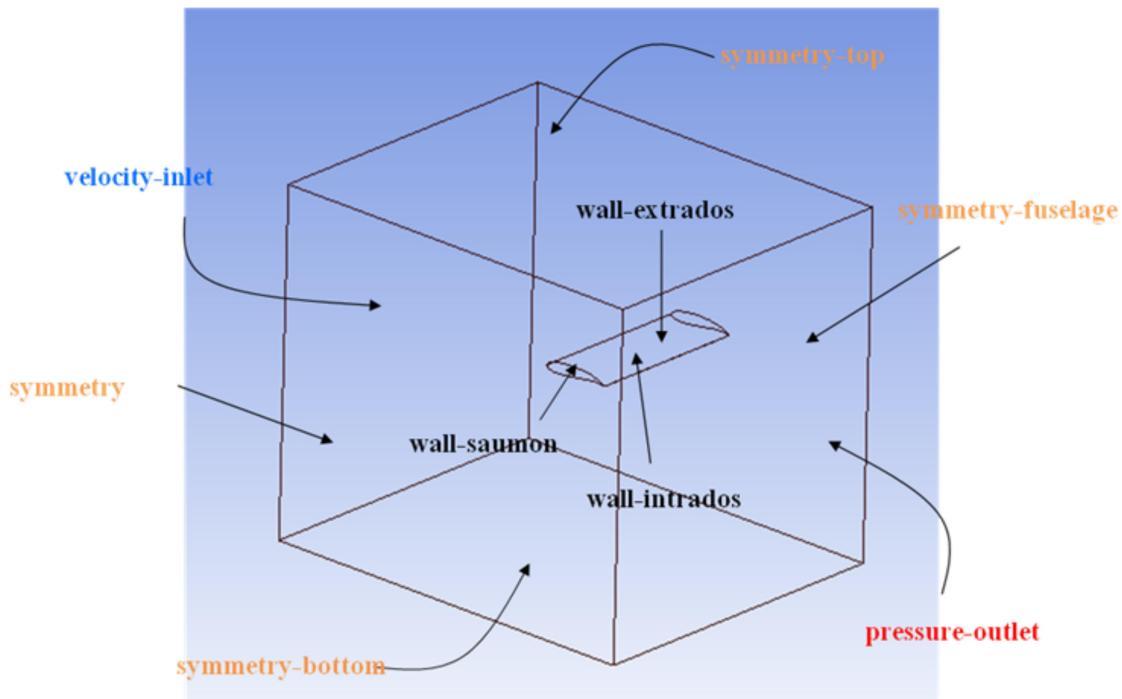
- ▶ Vérifier que ce paramètre est bien CFD

Solver Preference

- ▶ Vérifier que Fluent est bien sélectionné
- ▶ Générer un maillage volumique avec les options par défaut

3.2. Repérage des conditions aux limites

- Affecter des Named Selections aux différentes faces comme sur la figure ci-dessous



- Toutes les conditions aux limites non précisées en bordure de domaine seront automatiquement de type wall dans Fluent

- Passer en mode sélection Body
- Créer une Named selection 'air' pour l'ensemble du domaine intérieur

3.3. Caractéristiques d'un maillage 3d

Forme des mailles

Pour des géométries simples, un maillage de type quad/hex (pavés rectangles) produira une bonne solution avec moins de mailles qu'un maillage comparable de type tri/tet. (pyramides)

Pour des géométries complexes, les maillages de type quad/hex ne présentent pas d'avantages au niveau numérique, et utiliser un maillage type tri/tet est moins difficile.

Finesse du maillage

- Le maillage doit être assez fin pour capturer la physique de l'écoulement
- Mais plus le nombre de mailles augmente, plus le temps de calcul augmente !
- En 3D, de combien augmente le temps de calcul si je divise par deux la taille des côtés des mailles ?
- En pratique, on cherche un compromis
- Pour connaître la bonne finesse globale (relevance), on recommence le calcul avec des mailles de plus en plus fines pour atteindre la non dépendance des résultats au maillage

Variations de la taille des mailles

- On souhaite un maillage fin là où l'écoulement présente des variations (proche de l'objet)
- on n'a pas besoin d'un maillage fin là où l'écoulement varie peu ou pas (loin de l'objet)
- On utilise les « Advanced Size Functions » pour avoir une variation progressive

3.4. Optimisations du maillage

Maillage raffiné sur la surface de l'aile

- ▶ En procédant comme en 2d, affecter une taille de mailles de 75 mm sur les parois solides de l'aile

- ! Pour sélectionner plus facilement les 5 faces composant le profil 3d, bien se mettre en mode sélection de faces et passer en Box Select pour sélectionner à l'aide d'un rectangle tracé à la souris



Raffinement global du maillage

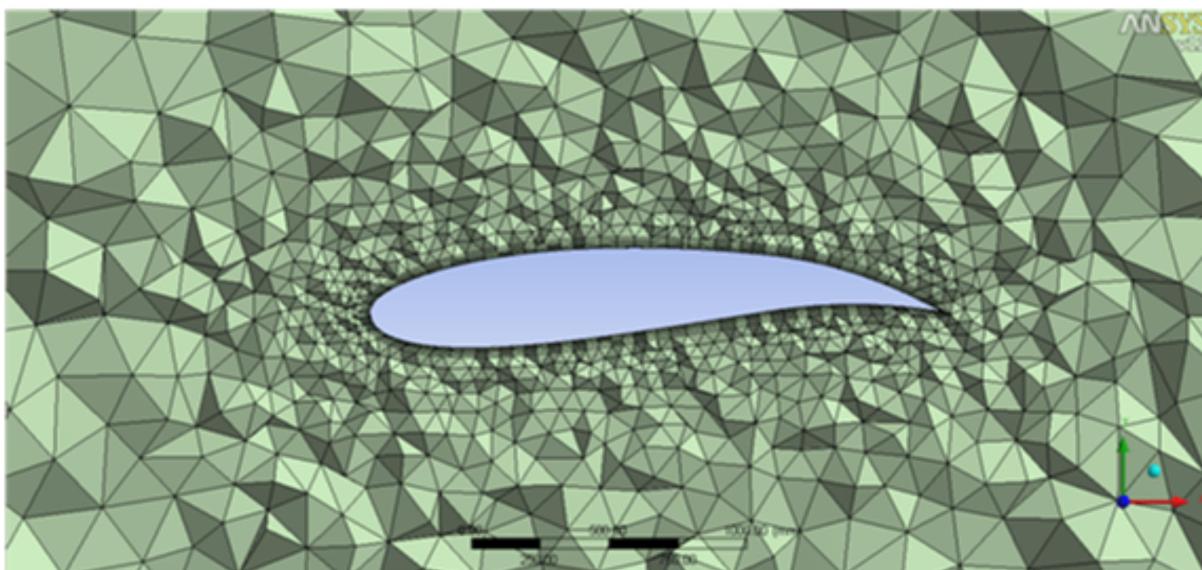
- ▶ Mettre la Relevance à -20

Sizing (raffinement local)

- ▶ Sélectionner Mesh dans l'arborescence
- ▶ Dans la fenêtre Details of « Mesh », dérouler le sous menu Sizing en cliquant sur le
- ▶ Dérouler l'onglet Sizing et dans la case Use Advanced Size Functions, sélectionner

Maillage en couche limite

- ▶ Grâce à l'outil Inflation, créer 5 couches de mailles au voisinage des parois de l'aile, avec une épaisseur de 2,5 mm pour la première couche et un facteur d'expansion de 1,2.

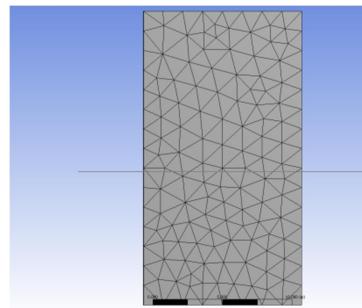


3.5. Visualiser l'intérieur du maillage volumique

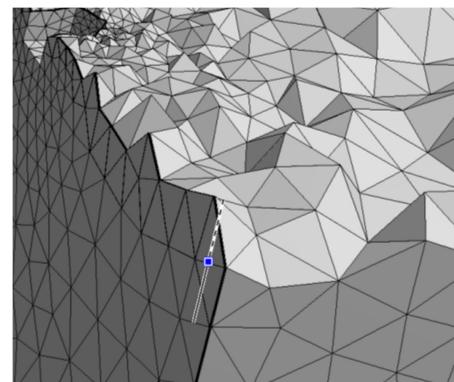
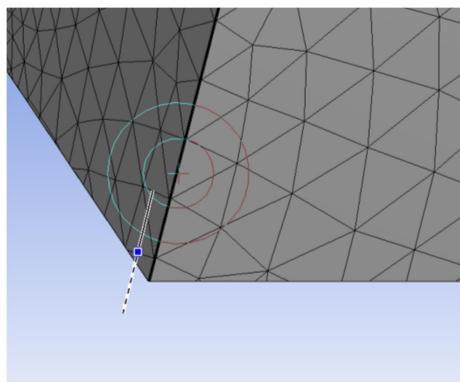
- ▶ Cliquer sur le vecteur souhaité pour directement orienter le modèle suivant la direction voulue
- ▶ Clic-droit dans la fenêtre de visualisation et Zoom To Fit
- ▶ Cliquer sur l'icône New Section Plane



- ▶ Créer un plan de coupe à la souris en traçant une ligne coupant le domaine



- ▶ Faire tourner le modèle pour « voir à l'intérieur »
- ▶ Pour activer/désactiver les deux côtés, cliquer sur les barres pleines ou pointillés de part et d'autre du carré
- ▶ Déplacer le carré pour modifier la position du plan de coupe



! Les plans de coupes sont gérés en bas à gauche dans la fenêtre Section planes

- ▶ Pour désactiver un plan de coupe, il suffit de le décocher en bas à gauche
- ▶ Activer/désactiver l'icône pour voir les cellules entières ou coupées par le plan

3.6. Qualité d'un maillage

Afin de ne pas présenter de problème numérique dans le solveur, un maillage doit respecter certains **critères de qualités** sur la forme et la disposition des cellules. Les cellules ne doivent pas être trop distordus, ou trop étirées et la variation de taille d'une cellule à ses voisines ne doit pas être importante pour ne pas générer une erreur purement numérique lors du calcul.



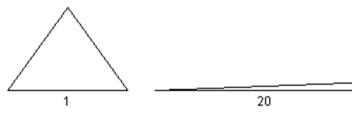
Un maillage de mauvaise qualité peut faire diverger les calculs !

- ! Le sous-menu Mesh Metrics dans la fenêtre de détails du maillage permet d'inspecter la qualité du maillage en faisant apparaître des statistiques sur différents critères détaillés ci-dessous.

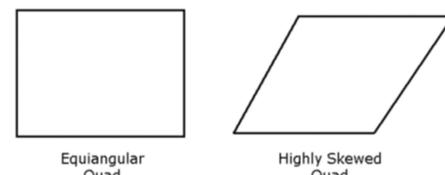
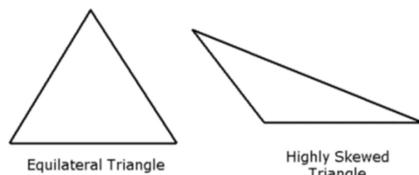
Quelques définitions



- Aspect Ratio :** critère qui compare la plus petite et la plus grande dimension d'une maille. Si une maille est très étirée, son aspect ratio sera grand.



- Skewness :** critère qui compare les plus petits et les plus grands angles d'une maille. Si une maille est très oblique, son skewness sera grand.



- ! La valeur du skewness varie d'une valeur 0 (très bon) si tous les angles sont égaux (triangle équilatéral ou parallélépipède) à une valeur maximum de 1 (très mauvais)



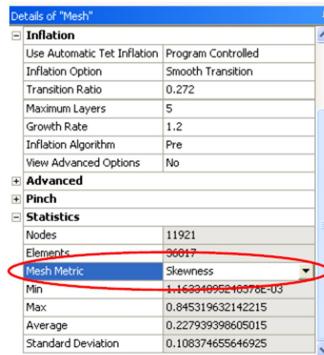
Un skewness maximum trop important (typiquement à partir d'environ 0,95) fera diverger les calculs dans Fluent



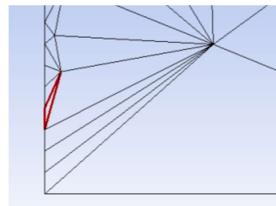
Il suffit d'une seule mauvaise maille (en termes de skewness ou d'aspect ratio) pour faire diverger un calcul, c'est donc la valeur maximale qu'il faut regarder.

On peut vérifier la qualité d'un maillage en vérifiant les valeurs maxi des critères expliqués ci-dessus

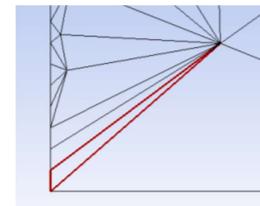
- ▶ Dérouler le sous menu Statistics
- ▶ Vérifier les valeurs minimales et maximales de l'aspect ratio des cellules dans le maillage
- ▶ Idem pour le skewness



Comment améliorer le maillage ? Il faut modifier les contraintes globales et locales de tailles sur les cellules pour éviter de créer des cellules trop étirées ou avec un skewness trop important. Un exemple est montré ci-dessous. Il faudrait dans ce cas harmoniser mieux les tailles des éléments en bas et à gauche pour améliorer la qualité de ce maillage.



Cellule avec un skewness proche de 1

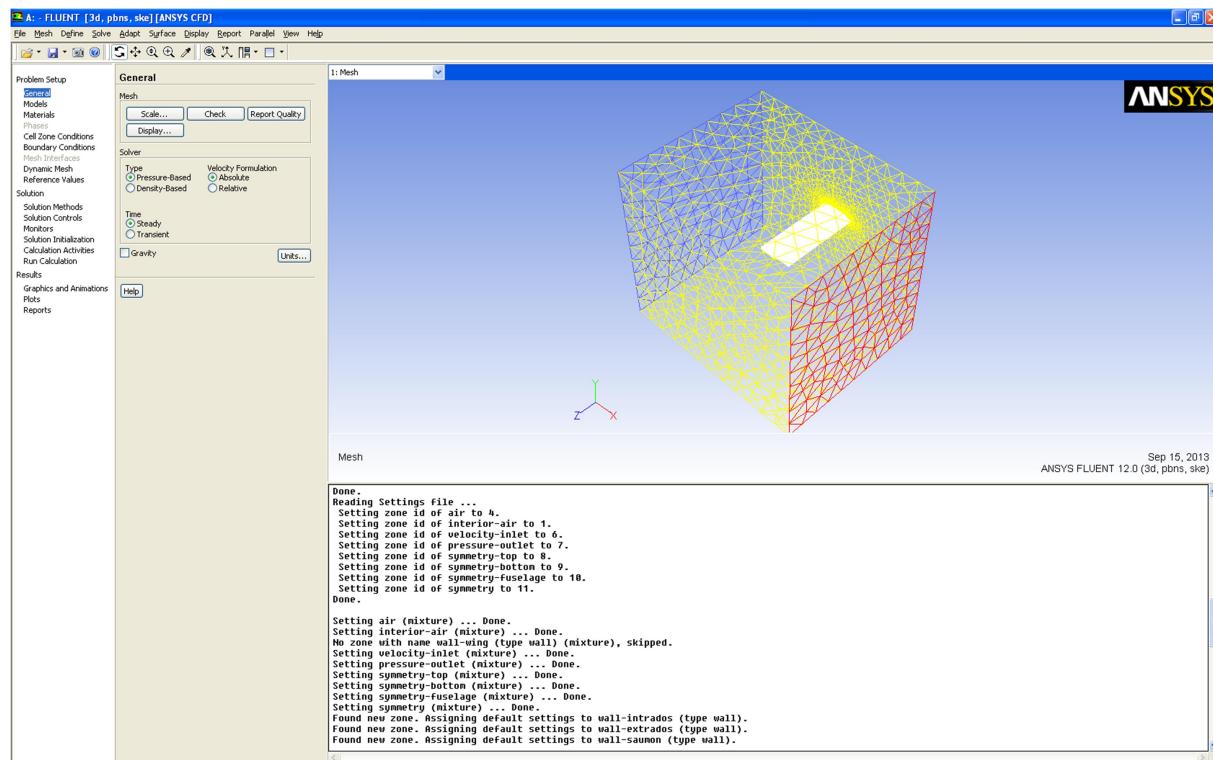


Cellule avec un aspect ratio trop important

- ▶ Vérifier la qualité du maillage avant de fermer le logiciel de maillage
- ▶ Optimiser si les valeurs de skewness ou d'aspect ratio sont trop importantes

C.4. Simulation 3d

- ▶ Lancer Fluent en cliquant dans la case 4 | Setup dans le Workbench
- ▶ Visualiser le maillage et repérer les différentes conditions aux limites



Utiliser l'aide en ligne

L'aide en ligne de Fluent est très bien faite et contient dans la majorité des cas les réponses aux questions que l'on peut se poser ! Elle est accessible depuis l'interface globale Fluent.

- ▶ Help > User's Guide Content

! Pour des points plus spécifiques, on peut accéder directement à la rubrique concernée en cliquant sur le bouton Help dans les sous-menus.

- ▶ Dans l'aide, cliquer sur **Return to Home** en haut à droite
- ▶ Cliquer sur Getting Started Guide et naviguer jusqu'à la rubrique 2.2 : Planning your CFD Analysis
- ▶ Lire et noter les différents points importants à considérer pour une simulation CFD

4.1. Vérification et optimisation du maillage 3d sous Fluent

Vérifier le maillage

- ▶ Solution Setup > General > Scale

! Scale permet de vérifier les dimensions du domaine. Si le domaine a été créé en mm par exemple, ce menu permet de remettre les bonnes unités.

- ▶ Solution Setup > General > Check

! Check permet de vérifier le maillage, s'il ne présente pas de problème géométrique

- ▶ Lire les informations données dans la fenêtre de commande
- ▶ Solution Setup > General > Report Quality

! Cette fonction permet d'afficher les valeurs maximale des critères de qualité du maillage décrits ci-dessus. En particulier Cell skewness et Aspect ratio

- ▶ Noter la valeur de skewness maximum

En cas de problème, c'est-à-dire si un critère est trop important pour le solveur, un message d'erreur est affiché. Il faudra alors recommencer le maillage.

! Ne pas se soucier ici du warning

Optimisation du maillage : Il existe quelques options pour optimiser le maillage depuis Fluent :

- ▶ Mesh > Smooth/Swap

Ce menu permet de modifier localement l'arrangement des cellules afin d'optimiser le skewness

- ▶ Cliquer sur Smooth
- ▶ Cliquer sur Swap jusqu'à ce que le Number Swapped soit égal à 0
- ▶ Close

Optimiser la numérotation des cellules

- ▶ Mesh > Reorder Domain ...

Cette fonction permet de réordonner la numérotation des cellules afin d'optimiser les temps de calculs dans Fluent.

4.2. Mise en données du calcul

Modèles et solveur

- ▶ Choisir un solveur Pressure-based
- ▶ Travailler en stationnaire
- ▶ Activer le modèle de turbulence k- ε

Fluide

- ▶ Vérifier que l'on travaille bien avec de l'air et vérifier les valeurs de ses propriétés physiques

Conditions aux limites

- ▶ Affecter en entrée une vitesse de 40 m/s
- ▶ Affecter en entrée une intensité de turbulence de 2% associé à une échelle de longueur de 1m

Suivi des résidus

- ▶ Désactiver l'arrêt automatique des calculs en dessous d'une certaine valeur des résidus

Initialisation

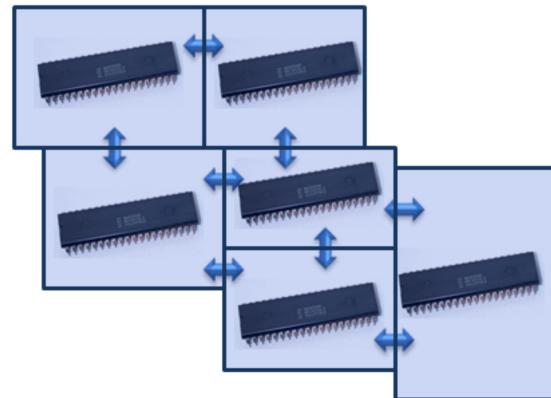
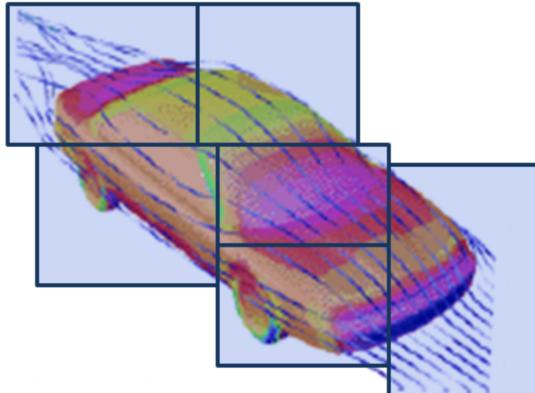
- ▶ Initialiser le calcul avec les conditions d'entrée

Test

- ▶ Lancer une itération pour vérifier qu'il n'y a pas de problème
- ▶ Sauver le projet et quitter Fluent

4.3. Principes du calcul parallèle

Lancer Fluent en parallèle : Si le travail est fait sur une machine multicore ou sur un cluster de PC en réseau, il est possible de lancer Fluent sur plusieurs processeurs. Chaque processeur s'occupera alors d'une partie du domaine.



Si vous travaillez sur un ordinateur multicore :

- ▶ Sauver le projet
- ▶ Fermer Fluent
- ▶ Le relancer en cliquant sur la case case 5 | Solution dans le Workbench



- ▶ Cocher Parallel
- ▶ Indiquer le nombre de processeurs
- ▶ Cliquer OK

4.4. Suivi de grandeurs au cours des itérations (Monitors)

On peut si on le souhaite suivre l'évolution d'une grandeur calculée au cours des itérations. On va par exemple ici tracer « en direct » l'évolution du coefficient de traînée calculé au cours de la simulation.

- ▶ Rappeler la définition du coefficient de traînée dans le cas d'un profil d'aile
- ▶ Quelles valeurs doit on indiquer à Fluent pour calculer le coefficient de traînée ?

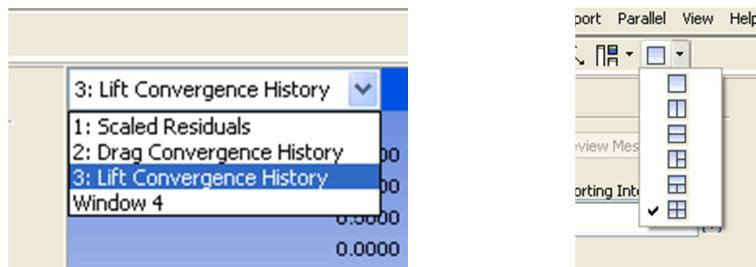
Pour cela, calculons tout d'abord la valeur de la surface de référence en prenant la surface projetée selon l'axe normal à l'écoulement incident.

- ▶ Results > Report
- ▶ Double clic sur Projected Areas
- ▶ Choisir l'axe souhaité dans Projection Direction
- ▶ Sélectionner la surface correspondant à l'objet dans la liste des Surfaces
- ▶ Cliquer sur Compute et noter la valeur qui apparaît dans la case Area
- ▶ Reporter cette valeur ainsi que celle de la vitesse incidente dans les valeurs de références

On active maintenant un 'Monitor' pour suivre l'évolution de ce coefficient au cours des itérations

- ▶ Solution > Monitors
- ▶ Double cliquer sur Drag
- ▶ Sélectionner la surface correspondant à l'objet dans la liste des Wall Zones
- ▶ Cocher la case Plot pour suivre graphiquement l'évolution
- ▶ Cliquer Print to Console si vous souhaitez que la valeur soit écrite dans la fenêtre de commande au cours des itérations
- ▶ Cliquer OK
- ▶ Faire le même travail pour afficher l'évolution du coefficient de portance

Au cours du calcul, on peut suivre soit les résidus, soit la valeur du coefficient de traînée et basculer de l'un à l'autre grâce au menu de sélection au dessus du graphe. On peut aussi afficher plusieurs graphes en même temps



- ▶ Lancer 500 itérations en suivant l'évolution des coefficients de traînée et de portance
- ▶ Le calcul est-il convergé ?

4.5. Visualiser l'écoulement dans Fluent

Il est possible de visualiser les résultats directement dans Fluent, ce qui permet de mieux suivre les calculs. Pour des images pour un rapport, on préférera un logiciel de post-traitement comme paraview.

- ! Les calculs doivent être arrêtés pour faire les post-traitements suivants.

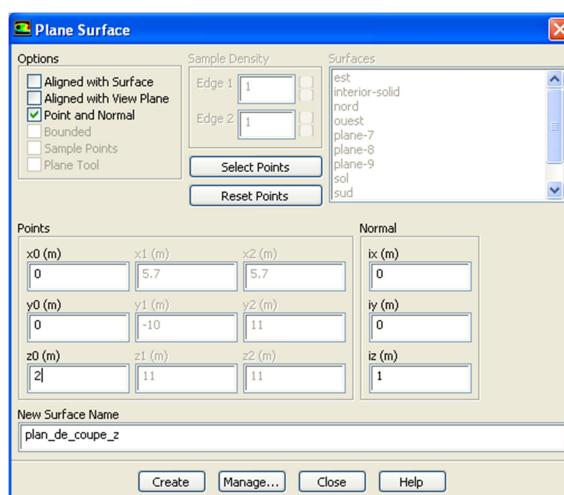
Contour sur une surface : Pour afficher le champ de pression sur la surface de l'objet

- ▶ Resultats > Graphics and Animations > Contours
- ▶ Cocher Filled
- ▶ Choisir la (ou les) surface(s) considérée(s) dans la liste (décocher toutes les autres)
- ▶ Display

Plan de coupe : On peut créer des plans de coupe dans le domaine sur lesquels ont pourra afficher les contours ou les vecteurs.

- ▶ Surface > Plane

On peut définir un plan soit par 3 points, soit par un point et un vecteur normal. La deuxième solution est souvent utilisée. Par exemple, pour un plan de coupe à Z=2m, on remplira la fenêtre comme ci-dessous.



- ▶ Cliquer sur Create pour créer le plan de coupe

Utiliser un plan de coupe : Quand le plan de coupe a été créé, il apparaît dans les surfaces utilisables dans les menus de type Graphics (Mesn, Contours, Vectors). Par exemple, pour afficher les vecteurs vitesses dans le plan de coupe :

- ▶ Results > Graphics and Animations > Vectors
- ▶ Sélectionner le plan de coupe dans la liste des surfaces

On peut colorer les vecteurs par le champ de pression par exemple :

- ▶ Choisir Pressure ... et Static Pressure dans les menus de sélection Color by

MNMF ▶ SIMULATION 3D

On peut rajouter tout ou partie du maillage

- ▶ Cocher la case Draw Mesh

! Pour les Edges : All dessine toutes les mailles, Feature dessine uniquement les contours des faces

- ▶ Display pour fermer la fenêtre, puis Display pour fermer l'autre
- ▶ Observer

Quelques vérifications : Pour vérifier que la taille du domaine est assez importante, on va visualiser la pression et la vitesse sur les bords du domaine

- ▶ A l'aide contours, visualiser la pression et la vitesse sur les bords du domaine
- ▶ Le domaine est-il assez grand ?

Pour vérifier si les résultats ont l'air d'avoir un sens physique

- ▶ Visualiser le champ de pression dans un plan de coupe à mi-envergure

On doit retrouver des résultats similaires à du 2d

Animation d'un plan de coupe

- ▶ Tester les options du sous-menu Results > Graphics and Animations ... Animations > Sweep Surface

Lignes de courant

- ▶ Tester les options du sous-menu Results > Graphics and Animations > Pathlines

4.6. Raffiner la couche limite dans Fluent

Afin de vérifier si la couche limite est assez bien résolue, par rapport au modèle de turbulence de paroi utilisé, on vérifie les valeurs mini et maxi du paramètre $Y+$ dans les premières mailles proche paroi.

- ▶ Tracer sur un graphique 2d l'ensemble des valeurs de $Y+$

Chaque point correspond à une maille de paroi, et on peut sur ce graphique, directement lire les valeurs maxi et mini.

⚠ On rappelle qu'avec la loi de paroi utilisée, le paramètre $Y+$, représentatif de la hauteur des cellules de paroi, doit être compris entre 30 et 300. Si ce n'est pas le cas, il faut raffiner la couche limite, c'est-à-dire refaire le maillage avec des mailles de paroi moins hautes.

La première solution consiste à retourner dans Meshing et modifier les paramètres de l'Inflation. Afin d'éviter de refaire le maillage et toutes les itérations, Fluent dispose d'outils intégrés pour adapter le maillage.

- ▶ Ouvrir le menu Adapt > Yplus/Ystar
- ▶ Cliquer Compute. Quelle est la valeur max de $Y+$?

Dans ce menu, on renseigne la valeur max souhaitée

- ▶ Mettre ici une valeur max de 300
- ▶ Adapt ...
- ▶ Ok to adapt the grid : Yes
- ▶ Visualiser le nouveau maillage proche paroi

La première épaisseur de cellule a été divisée en cellules plus fines.

- ▶ Relancer les itérations

On constate que les résidus connaissent une brusque hausse, due aux modifications du maillage, puis redescendent jusqu'à convergence.

- ▶ Une fois le calcul convergé, déterminer les valeurs max et min de $Y+$

4.7. Vérification de la conservation de la masse

Afin de s'assurer que le calcul a un sens physique, il convient en particulier de vérifier le bilan de masse entre les entrées et les sorties du domaine.

- ▶ Results > Reports
- ▶ Fluxes
- ▶ Dans le liste Boundaries, sélectionner celles-ci correspondent aux entrées et sortie du domaine
- ▶ Cliquer sur Compute et vérifier le bilan dans la case Net Results

! On accepte en générale un écart d'au maximum 1 % sur le bilan lié à des erreurs numériques. Si l'écart est trop important, il faut modifier le maillage ou les paramètres pour obtenir une meilleure convergence.

C.5. CFDPost

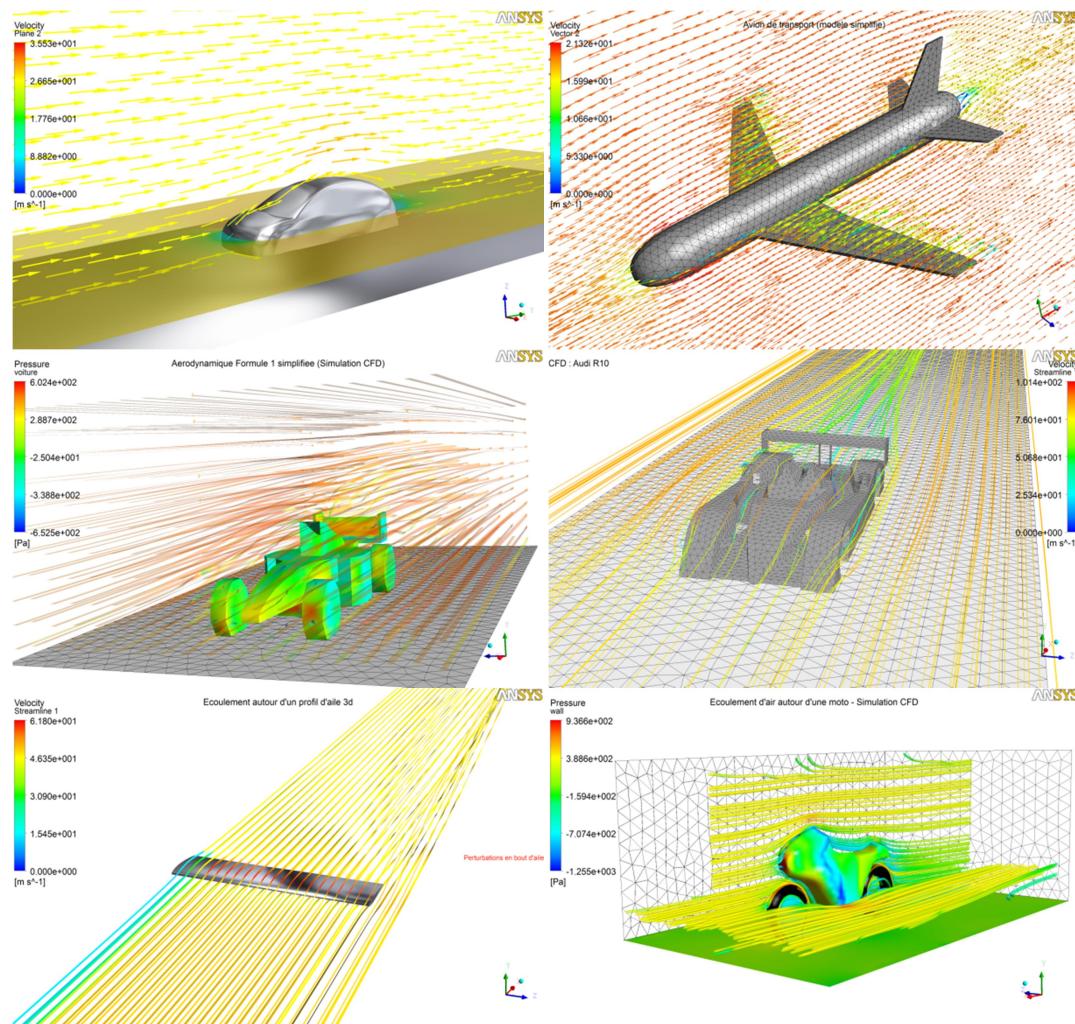
Une fois vérifié que :

- ▶ Le maillage respecte les critères de qualité
- ▶ Les résultats ne dépendent pas de la finesse du maillage
- ▶ La taille du domaine extérieur est suffisante
- ▶ Les calculs sont bien convergés

On peut post-traiter les résultats.

- ▶ Vérifier tout les points cités ci-dessus
- ▶ Fermer Fluent
- ▶ Lancer CFDPost

Quelques exemples des possibilités sont proposés ci-dessous :



En pratique, on conseillera plutôt d'utiliser **paraview** pour ce type de visualisations

C.6. 3d avec paraview

6.1. Visualisations avec paraview

- ▶ Sauvegarder les résultats Fluent au format Ensight Case Gold
- ▶ Sélectionner la pression (statique), l'énergie cinétique turbulente, le taux de dissipation turbulente et la contrainte de frottement pariétale (wall shear stress)
- ▶ Lancer paraview et charger les résultats

Visualiser l'objet

- ▶ Filters > Extract Block
- ▶ Sélectionner dans la liste les éléments correspondant à la paroi de l'objet
- ▶ Apply

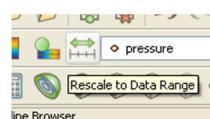
! Les filtres récemment utilisés sont accessibles via Filters > Recent

Visualiser le maillage d'une surface

- ▶ Sélectionner ExtractBlock1 dans l'arborescence
- ▶ Passer en représentation Solid Color et Surface with Edges
- ▶ Colorer la surface par le champ de pression
- ▶ Repasser en vue pressure et Surface
- ▶ Activer l'affichage de l'échelle de couleur

Pour que les min et max de pression soient ceux obtenus sur cette surface et non sur l'ensemble du domaine

- ▶ Cliquer sur l'icône Rescale to Data Range à côté



Faire un plan de coupe

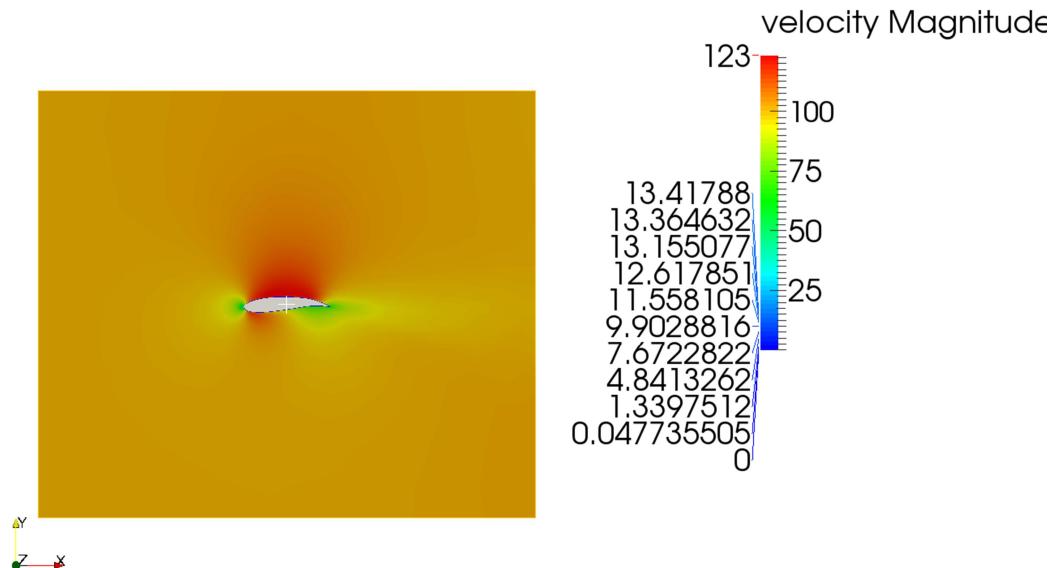
- ▶ Sélectionner l'item .encas dans l'arborescence
- ▶ Soit Filters > Alphabetical > Slice, soit l'icône 

Afin de positionner et d'orienter le plan de coupe, plusieurs possibilités :

1. dans la fenêtre de visualisation, déplacer le plan et orienter la flèche ;
2. utiliser dans la fenêtre Properties les plans prédéfinis X Normal, Y Normal et ZNormal ;
3. préciser les coordonnées de l'origine et les composantes du vecteur normal au plan voulu.

MNMF ▶ SIMULATION 3D

- ▶ Définir un plan avec pour normale Z, à mi-envergure
- ▶ Une fois le plan défini, cliquer sur Apply
- ▶ Cliquer sur l'icône pour orienter la vue
- ▶ Afficher la norme de vitesse (Velocity Magnitude) et l'échelle de couleur associée

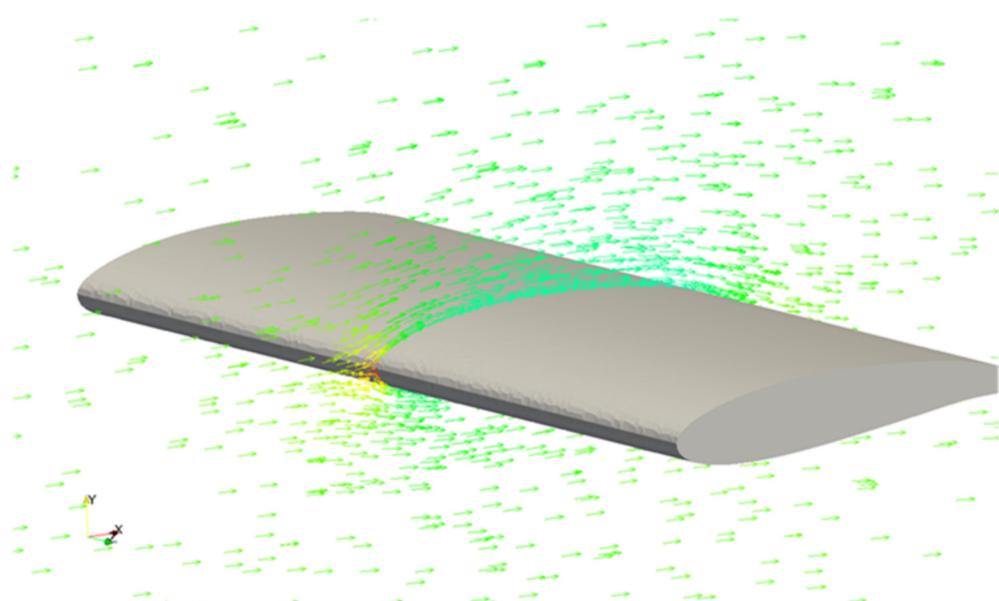


Une fois le plan de coupe crééé, on peut y appliquer tous les types de filtres et d'affichages déjà vus.

- ▶ Afficher le champ d'énergie cinétique turbulente dans le plan de coupe

Afficher le champ de vitesse dans le plan de coupe

- ▶ Sélectionner Slice1 dans l'arborescence
- ▶ Utiliser le filtre Glyph comme vu précédemment
- ▶ appliquer un filtre Glyph à l'item .encas (et non à Slice1) pour voir la différence



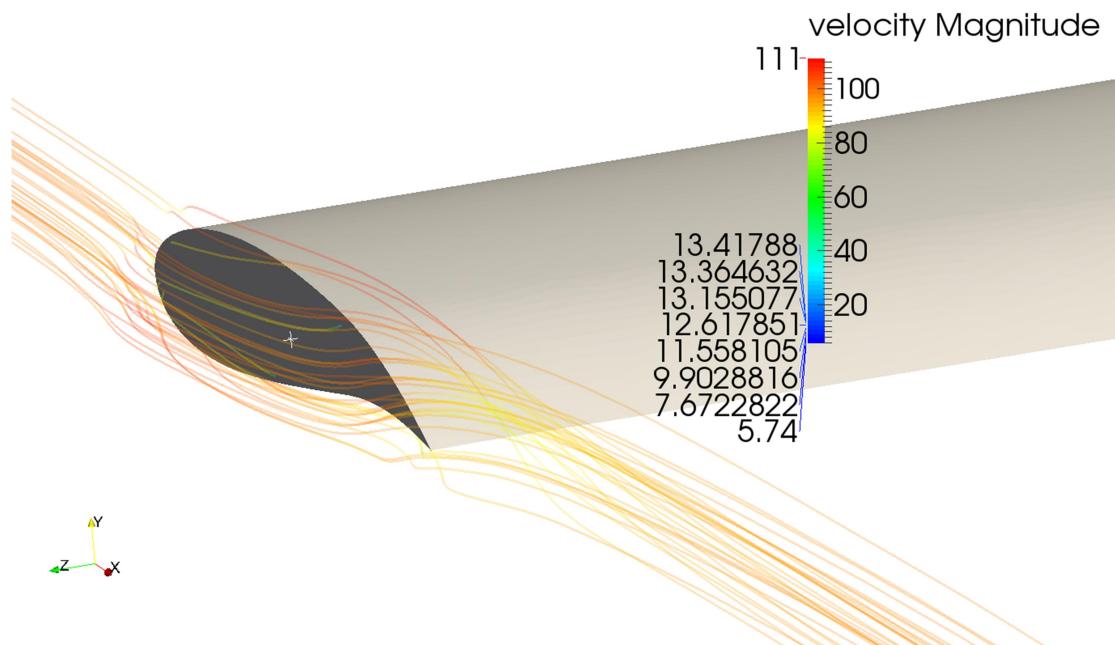
Créer des lignes de courant : Les lignes de courants d'un écoulement sont les courbes dont la tangente en tout point est le vecteur vitesse.

- ▶ Sélectionner l'item .encas dans l'arborescence
- ▶ Soit Filters > Alphabetical > StreamTracer, soit l'icône

Deux possibilités :

1) soit tracer toutes les lignes de courant passant dans un rayon donné autour d'un point donné,

- ▶ On repère que le point est par défaut situé au niveau du saumon
- ▶ Diminuer le rayon et le nombre de lignes tracées
- ▶ Apply
- ▶ Colorer les lignes de courant par la norme de la vitesse
- ▶ Appliquer une opacité de 0.5
- ▶ Cliquer sur l'icône pour afficher plus d'options d'affichage
- ▶ Appliquer une épaisseur (LineWidth) de 3
- ▶ Afficher l'échelle de couleur pour la vitesse



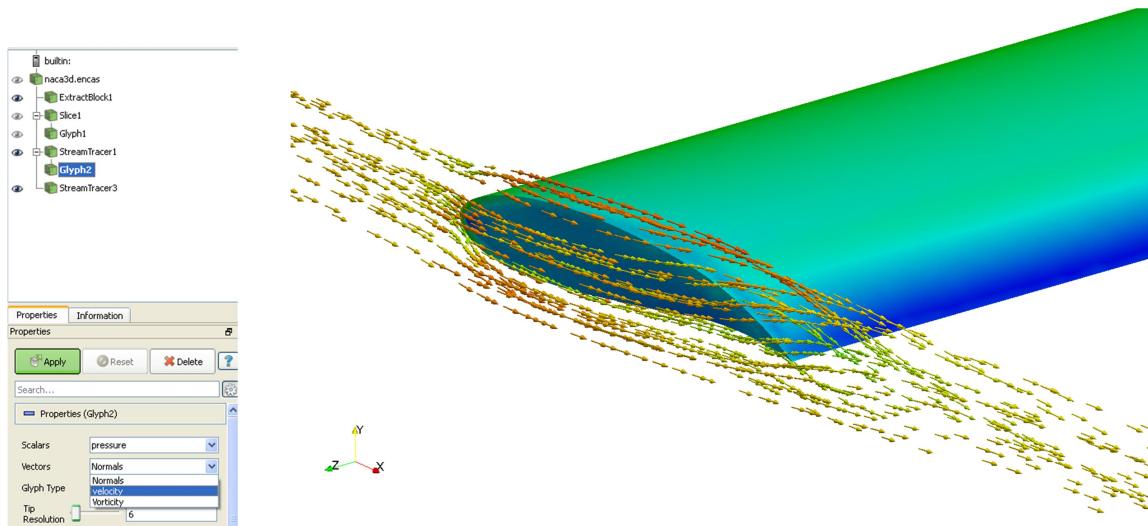
2) soit tracer toutes les lignes de courant passant par une droite donnée

- ▶ Appliquer un nouveau filtre StreamTracer à l'item .encas
- ▶ Dans la partie Seeds de la fenêtre Properties de StreamTracer1, modifier Seed Type en High Resolution Line Source
- ▶ Bouger le segment et ses extrémités dans la fenêtre de visualisation
- ▶ Cliquer Apply pour voir le résultat
- ▶ Explorer les options de définition de cette ligne
- ▶ Positionner la ligne suivant l'axe Y à mi-envergure
- ▶ Appliquer les options d'affichage comme précédemment

MNMF ▶ SIMULATION 3D

Afficher les vecteurs le long des lignes de courant

- ▶ Appliquer un filtre Glyph à StreamTracer1
- ▶ Choisir pour vectors l'option velocity
- ▶ Adapter les option d'affichage des vecteurs
- ▶ Masquer les lignes de courant pour ne voir que les vecteurs



Exercice : Créer une visualisation comme ci-dessous avec paraview

