

# Simulation des Grandes Echelles (SGE) d'un écoulement turbulent dans un canal de section droite carrée

*Large Eddy Simulation (LES) of turbulent square channel flow*

Prof. AZZI Abbès

[www.abbesazzi.com](http://www.abbesazzi.com)

Logiciel utilisé: Fluent de ANSYS

## Spécifications du problème

Cette application concerne un écoulement turbulent dans un canal de section droite carré similaire à celle étudiée par Gavrilakis (1992).

*S. Gavrilakis, Numerical simulation of low Reynolds number turbulent flow through a straight square duct, J. Fluid Mech. 244 (1992) 101–112*

La particularité de l'écoulement dans un canal à section droite carrée réside dans l'apparition d'un écoulement secondaire impossible à capter par les modèles *RANS* basés sur le principe de la viscosité turbulente (isotropie). La *LES*, au vu de son formalisme, est capable de reproduire ce type d'écoulement.

Les paramètres de la simulation sont comme suit:

- *Nombre de Reynolds basé sur la vitesse débitante (bulk velocity) :*

$$Re_m = \rho \cdot U_b \cdot D_h / \mu = 6000$$

$\rho$ : masse volumique de l'air

$U_b$ : vitesse moyenne à l'entrée du canal (à calculer ?)

$D_h$  : Diamètre hydraulique qui correspond ici à l'arête du carré (0.1m)

$\mu$  : Viscosité dynamique de l'air

- *La longueur du canal sera égale à 14 fois l'arête du carré.*

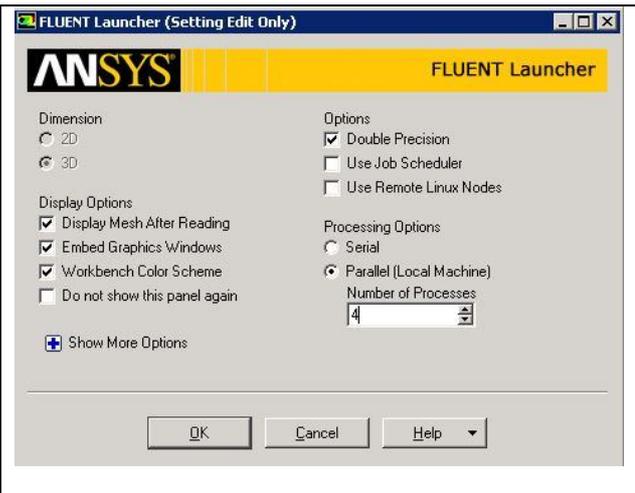
**La grille de calcul :**

Utiliser ICEM (ou Gambit) pour générer une grille de calcul structurée ( $160 \times 50 \times 50$ ) et raffinée près des parois solides pour un canal  $14H \times H \times H$ , où  $H$  vaut  $0.1 \text{ m}$ .

Nommer les trois faces : Inlet, Outlet et wall

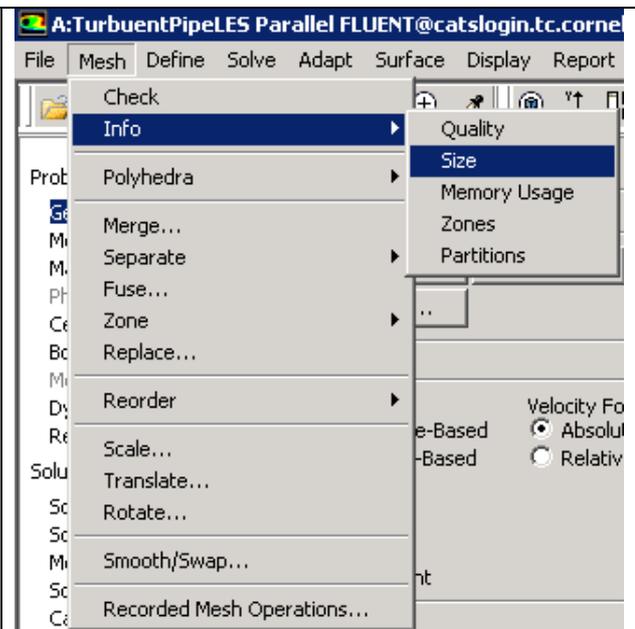
## Le pré-processing

Lancer Fluent et choisir les options suivantes :

<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Double precision</i></li><li>• <i>Processing Options : "Parallel (Local Machine)".</i> Suivant le nombre de <i>core</i> dont vous disposez, par exemple choisissez 3 si vous avez un quad-core.</li><li>• En dépliant le menu 'Show More Options', choisissez votre répertoire de travail.</li></ul>	
---	---

Valider en cliquant sur **OK**.

Sur la colonne à gauche, on procède de haut vers le bas:

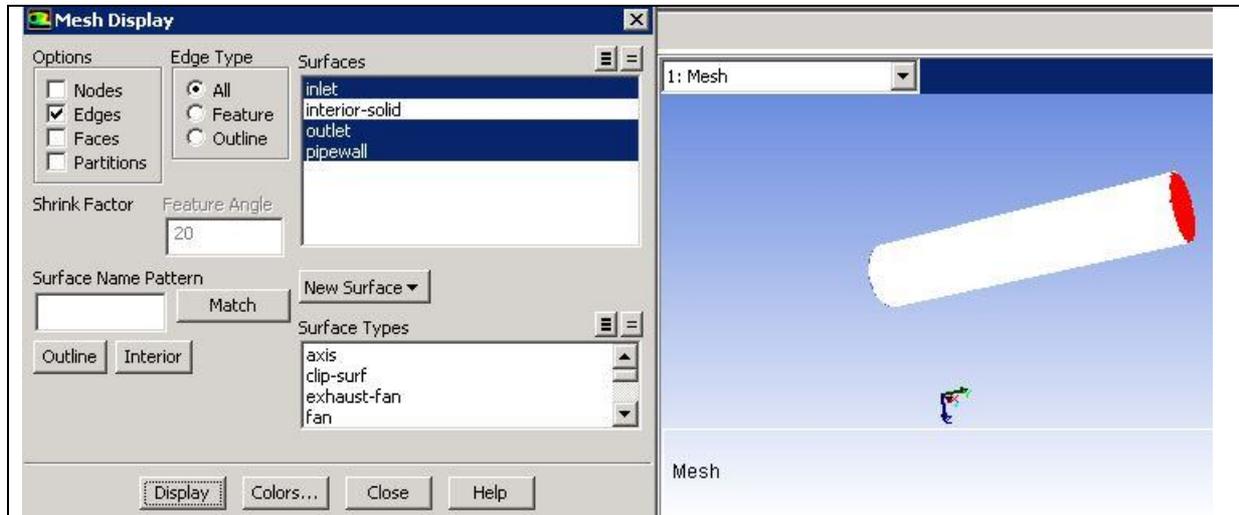
<ul style="list-style-type: none"><li>• Importer la grille de calcul</li><li>• Vérifier la grille : <b>Mesh &gt; Check</b> (vérifier que le plus petit volume est bien positif et que les dimensions sont en accord avec ce qu'on veut)</li><li>• <b>Mesh &gt; Info &gt; Size</b>,</li></ul>	
--	--

On devrait voir s'afficher un panneau ressemblant à ceci:

### Mesh Size

Level	Cells	Faces	Nodes	Partitions
0	843380	1978811	332780	4

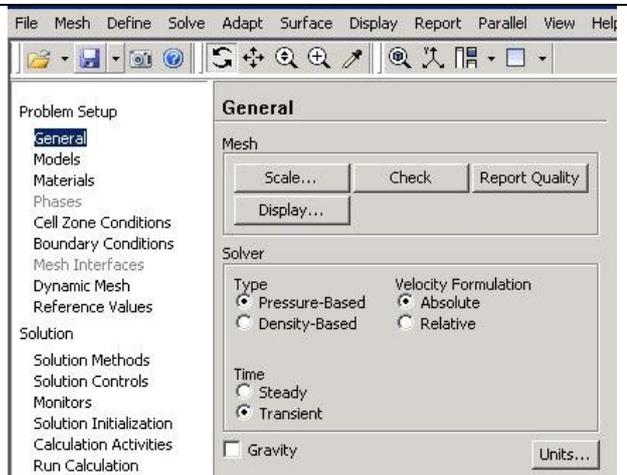
1 cell zone, 4 face zones.



**General > Mesh > Display.** Vérifier qu'on a bien les trois surfaces (Inlet, Outlet et wall) et le domaine intérieur comme indiqué ci-dessous.

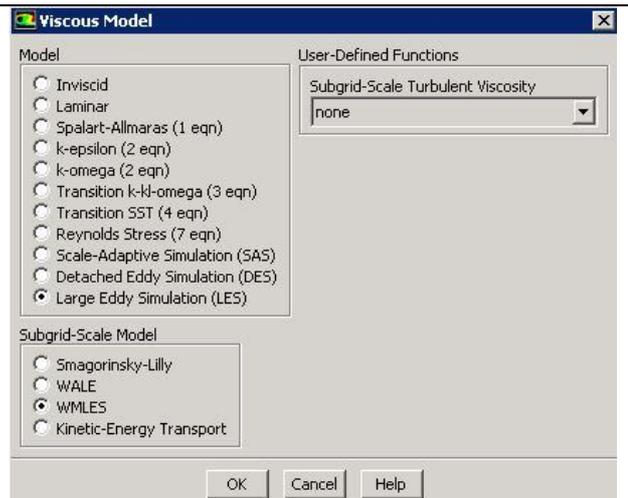
### Définition des propriétés du solveur

- **Problem Setup > General > Solver/Type > Pressure-Based**
- **Problem Setup > General > Solver/Time > Transient**

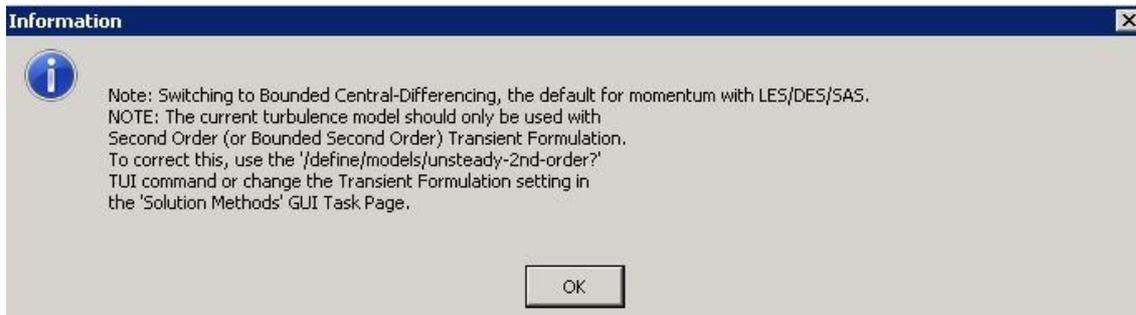


*Problem Setup > Models > Viscous - Laminar > Edit...*

- Dans *Model* sélectionner *Large Eddy Simulation*
- Dans *Subgrid-Scale Model* sélectionner *WMLES*



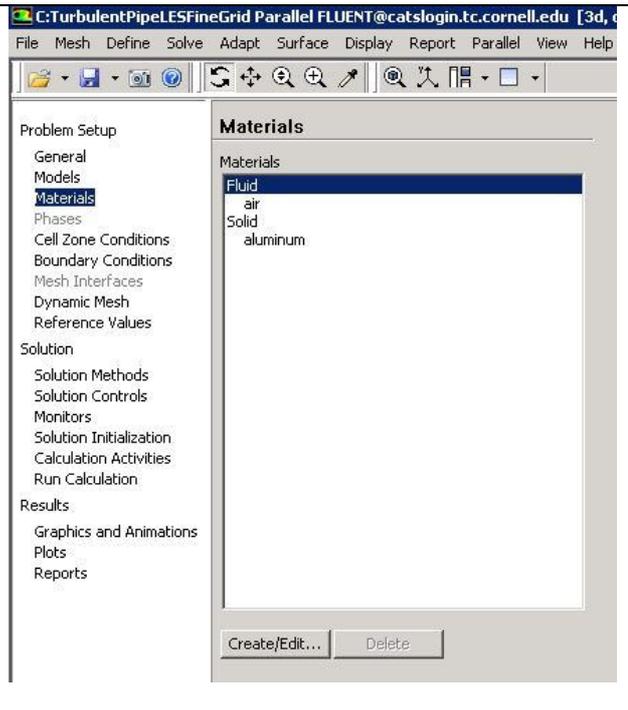
En validant par **OK**, vous verrez apparaître un panneau d'information qu'il faudra aussi valider par **OK**. (Le logiciel bascule automatiquement pour des schémas de second ordre pour l'espace et le temps)



- Dans *Problem Setup > Models > Energy* choisir *Off*

*Définition des propriétés du fluide:*

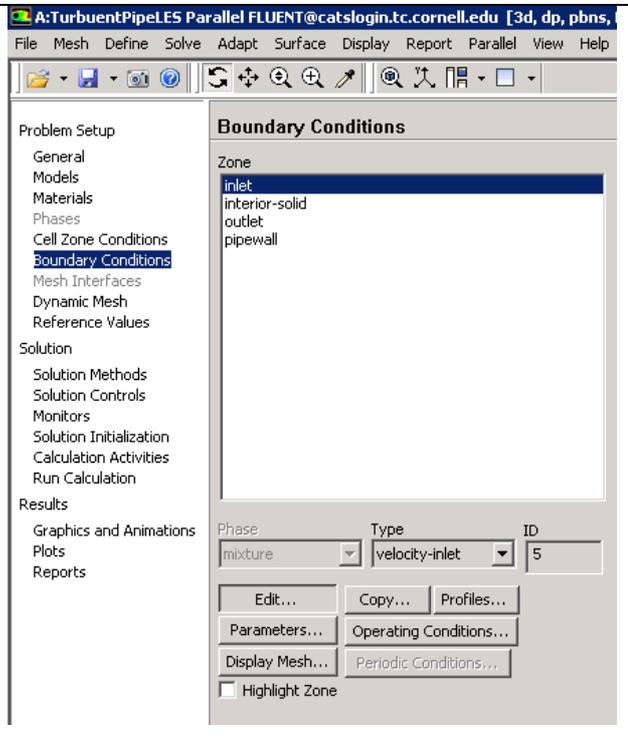
**Problem Setup > Materials > Fluid > :**  
choisir l'air comme fluide.



*Définition des conditions aux limites*

L'entrée du canal: Inlet Boundary Condition

**Problem Setup > Boundary Conditions > inlet > Edit...**



**Specification Method : Magnitude, Normal to Boundary**

**Velocity Magnitude :** introduire la valeur de la vitesse que vous avez calculez précédemment (m/s)

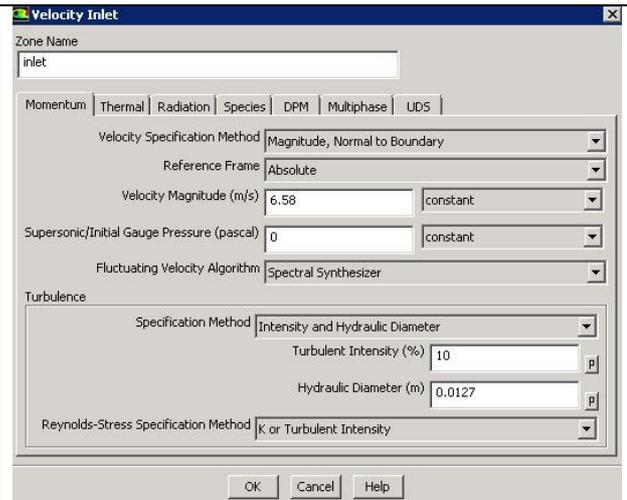
**Fluctuation Velocity Algorithm : Spectral Synthesizer**

**Turbulence Specification Method : Intensity and Hydraulic Diameter**

**Turbulent Intensity (%) :** 10 %

**Hydraulic Diameter (m):** 0.1 m.

**Reynolds-Stress Specification Method : K or Turbulent Intensity**

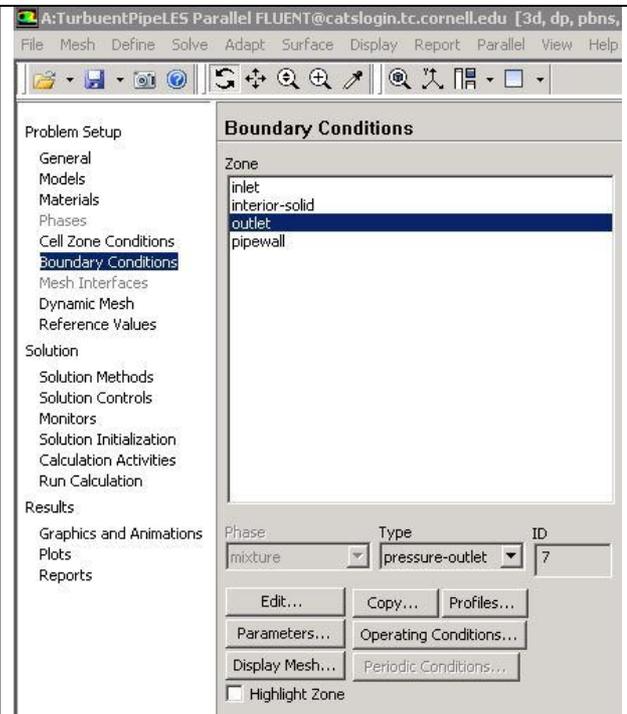


Validez en cliquant sur **OK**,

Condition de sortie de l'écoulement: Outlet Boundary Condition

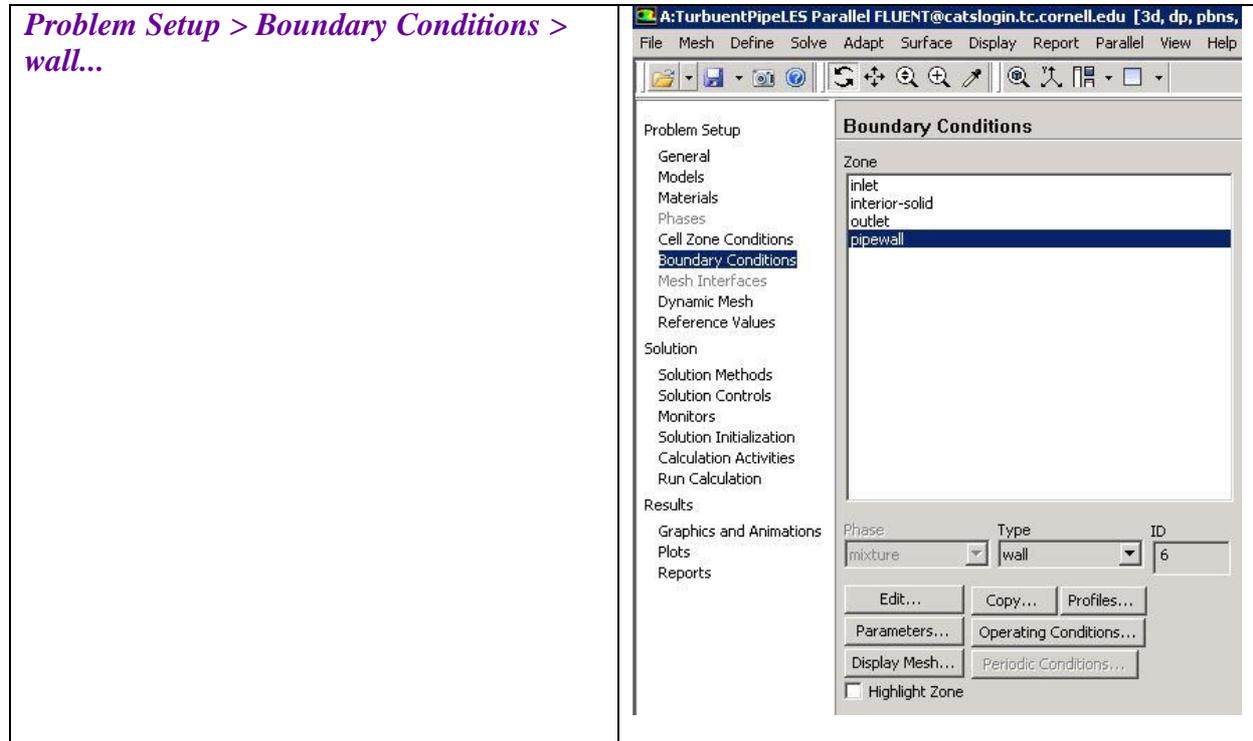
**Problem Setup > Boundary Conditions > outlet > Edit...**

**Type:** pressure-outlet.



Validez en cliquant sur **OK**,

Condition de paroi solide: Pipe Wall Boundary Condition



Validez en cliquant sur **OK**,

Définir les valeurs de référence

*Problem Setup > Reference Values*: choisir *Compute from* as *inlet*.

Validez en cliquant sur *Save*

Et sauvegarder votre projet: *File > Save Project*



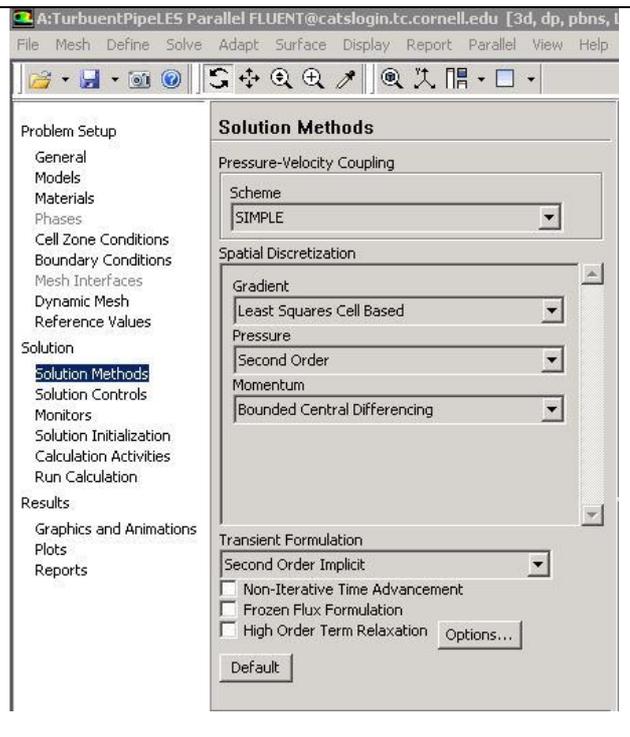
## Solution numérique

### Solution Methods

*Solution Methods > Momentum  
> Bounded Central Differencing*

*Solution Methods > Pressure > Second  
order*

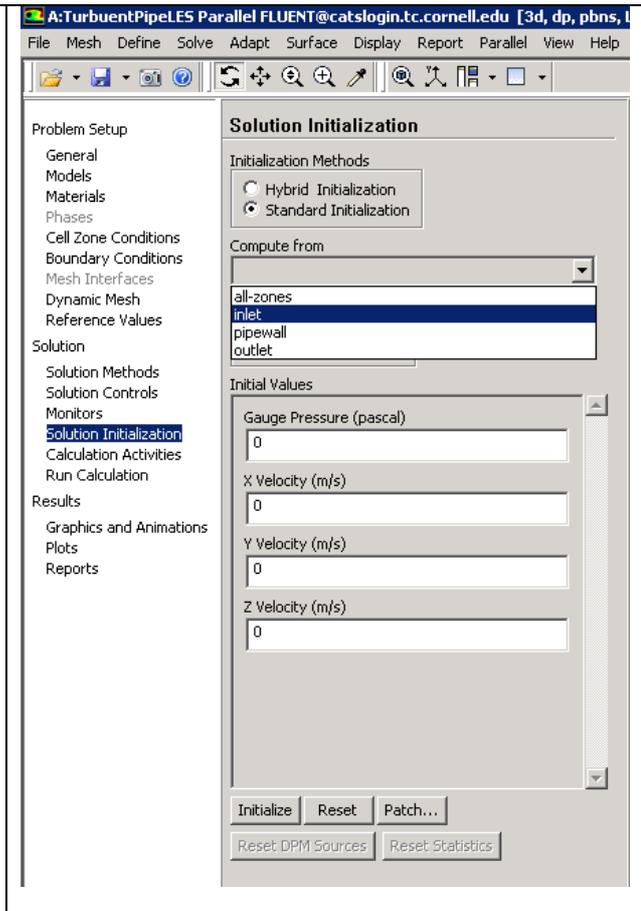
*Solution Methods > Transient Formulation  
> Second Order Implicit*



Initialisation:

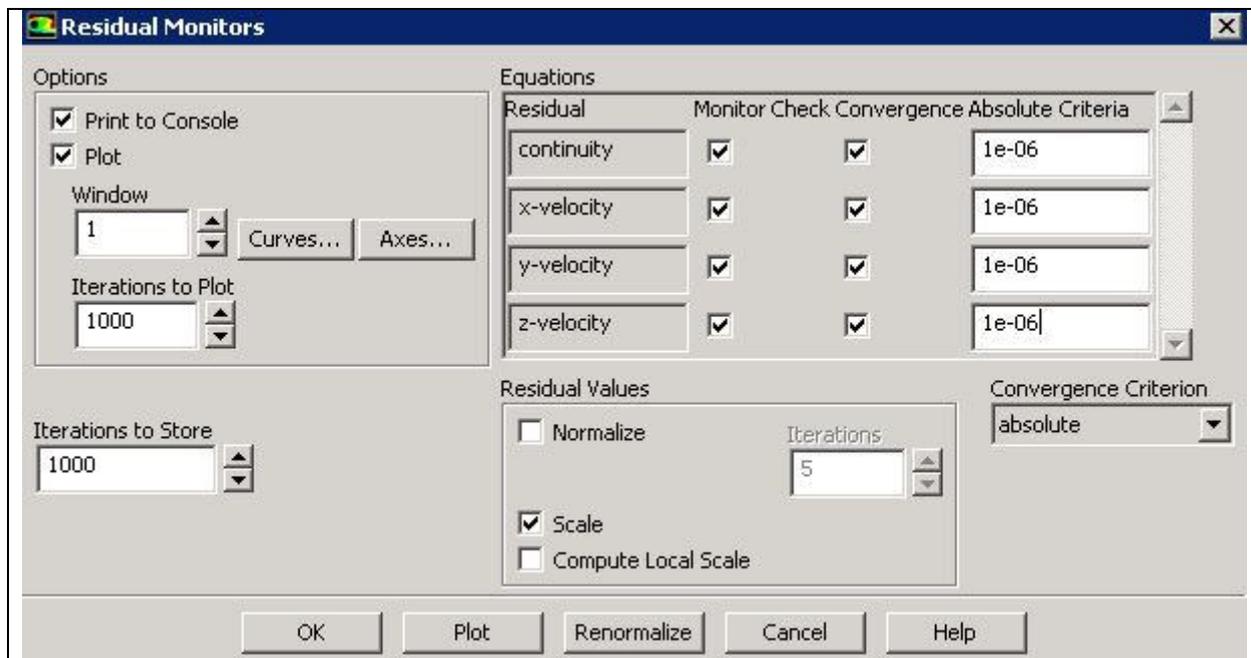
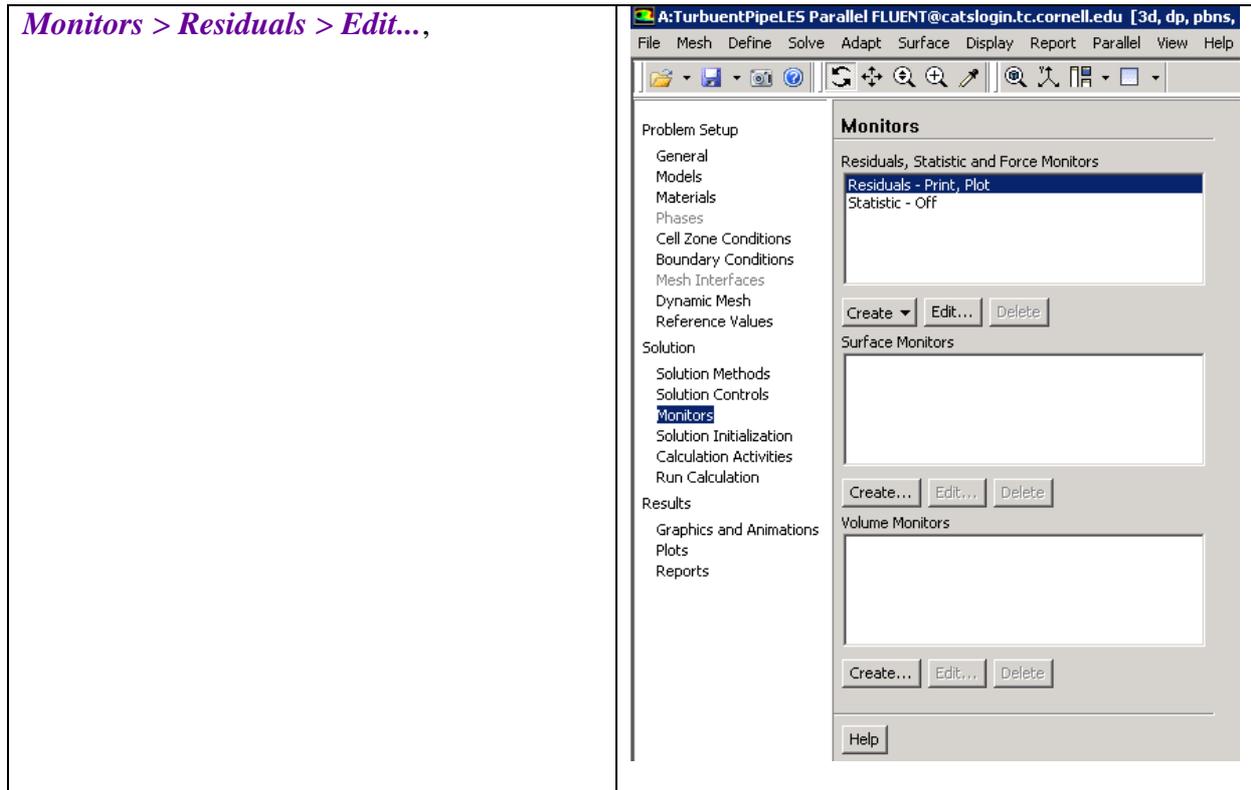
**Solution Initialization > Compute from > inlet**

Cliquez sur **initialize** pour lancer l'initialisation.



Définir les critères de convergence

Monitors > Residuals > Edit...



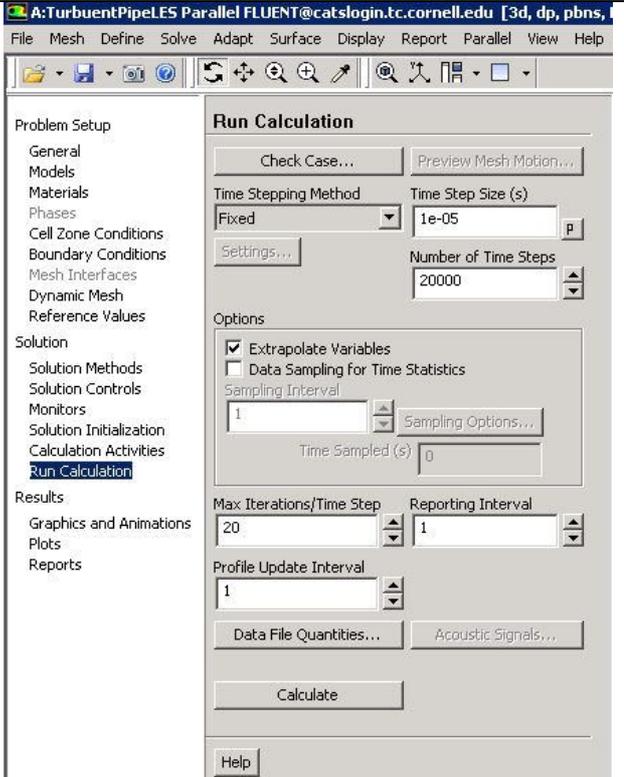
Changez les valeurs du critère de convergence '*Convergence Criterion*' pour toutes les équations *continuity*, *x-velocity*, *y-velocity* et *z-velocity*, à 1e-6.

Validez en cliquant sur **OK**,

### Lancement du calcul

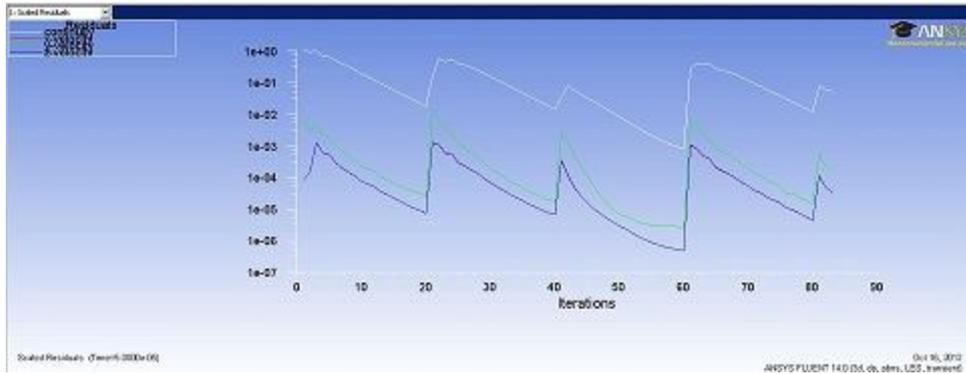
Nous aurons à faire le calcul en deux étapes. On commence par exécuter un premier calcul qui va faire évoluer la solution de l'état initial jusqu'à l'état statistiquement stationnaire. Ensuite, nous exécutons un deuxième calcul pour collecter les statistiques. Eventuellement, nous pouvons exécuter un troisième calcul, si nécessaire, en sauvegardant les solutions instantanées pour créer une animation.

Premier calcul : stationarisation

<p><b>Run Calculation &gt; Time Step Size(s):</b> 1e-05</p> <p><b>Run Calculation &gt; Number of Time Steps:</b> 10000.</p> <p><b>Run Calculation &gt; Extrapolate Variables:</b> cocher</p> <p><b>Run Calculation &gt; Max Iterations/Time Step:</b> 20</p>	
--	---

Lancer le calcul en cliquant sur **Calculate**

D'après la configuration que nous avons choisie, le calcul effectuera 20 boucles internes pour chacun des 10000 pas de temps demandés. Il est clair que le calcul prendra beaucoup de temps pour terminer l'exécution. C'est le prix à payer pour faire une simulation des grandes échelles. La disposition d'un cluster à plusieurs nœuds (High Performance Computing, HPC) est plus que souhaitée.



Deuxième calcul : collecte des statistiques

Une fois le premier calcul terminé, on récupère le fichier \*.dat contenant la solution stationnaire qui est supposée être statistiquement convergente. Pour rappel, avec 10000 pas de temps de  $1e-05$ , l'écoulement est passé de  $t=0$  sec à  $t=0.1$  sec. Dans cette deuxième étape, nous allons continuer de  $t=0.1$  à  $0.15$  sec. Ceci sera réalisé par 5000 pas de temps de  $1e-05$ .

**Run Calculation > Time Step Size(s):**  $1e-05$

**Run Calculation > Number of Time Steps:** 5000.

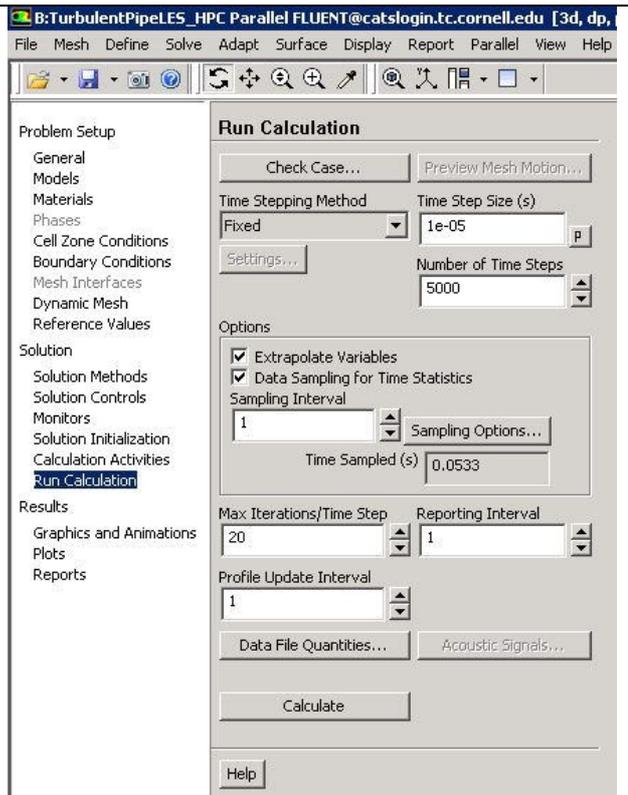
**Run Calculation > Extrapolate Variables:** cocher

**Run Calculation > Max Iterations/Time Step:** 20

En plus du changement ci-dessous, il faut demander au code de faire les statistiques.

**Data Sampling for Time Statistics:** cocher

En face de **Time Sampled (s)** s'affichera le temps Durant lequel les statistiques seront calculées (pour cet exemple: 0.05 sec)



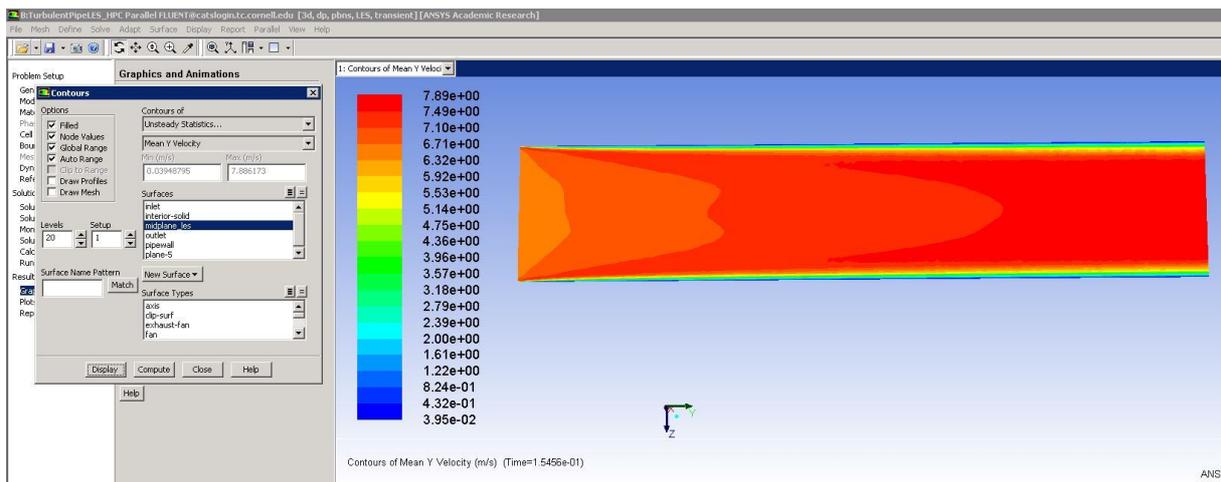
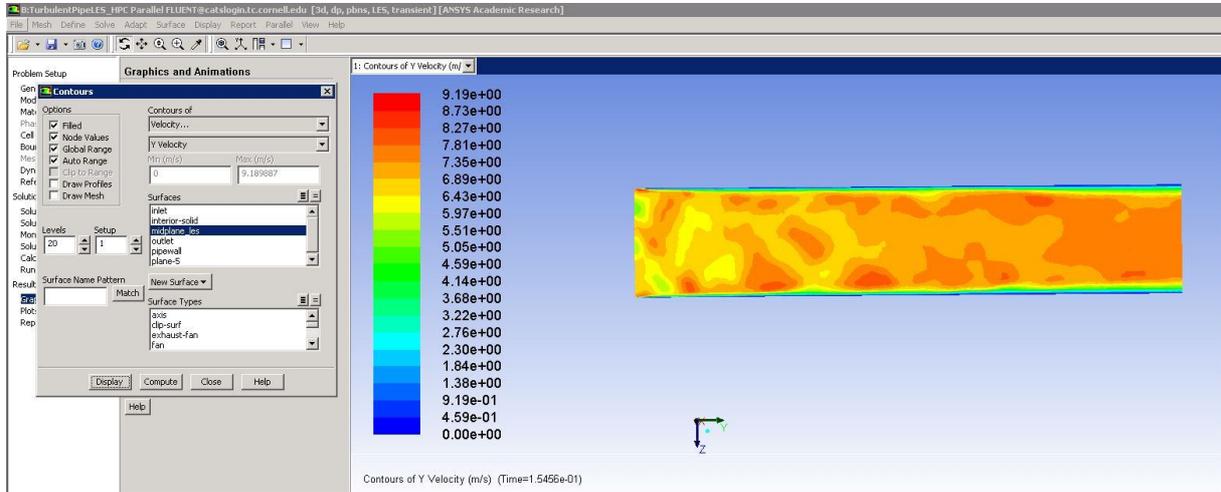
Sauvegarder le projet, comme précédemment, et lancer l'exécution.

Troisième calcul : animation

## Post-processing

Pour visualiser les résultats, on utilisera l'outil ANSYS-CFX-Post

Contour plots of Axial Velocity instantaneous and averaged



XY plot of Axial Velocity

