

**Université de Tlemcen**  
**Faculté de Technologie**  
**Département de Génie Mécanique**

**Matière: CFD et logiciels**

**Parcours: M2-Energétique**

**Présenté par: Mme. KHALDI S.**

# Exemple3: Convection forcée sur une plaque plane

**Exemple3: Convection forcée  
sur une plaque plane**

# Exemple3: Convection forcée sur une plaque plane

## 1) Spécifications du problème

On considère un écoulement forcé d'un liquide sur une plaque plane à une température constante de **413K**. La surface de la plaque = **1m<sup>2</sup>**

Le profil de vitesse du liquide est uniforme au point  $x = 0$ . La température du liquide à l'entrée est **353K**. La supposition d'écoulement incompressible devient invalide à cause des gradient important de températures entre le fluide et la surface chaude. À cause de cela, nous le traiterons comme un écoulement compressible (gaz parfait). On donne les propriétés thermo-physique du liquide:

$$U = 1\text{m/s}$$

$$\mu = 6,667 \cdot 10^{-7} \text{ kg/m}$$



$$\lambda = 9,4505 \cdot 10^{-4} \text{ W/m K}$$

$$C_p = 1006,43 \text{ J/kg K}$$

$$T_1 = 353 \text{ K}$$

$$P_1 = 101325 \text{ Pa}$$

$$Pr = 0,71$$

Liquide   
U inlet 



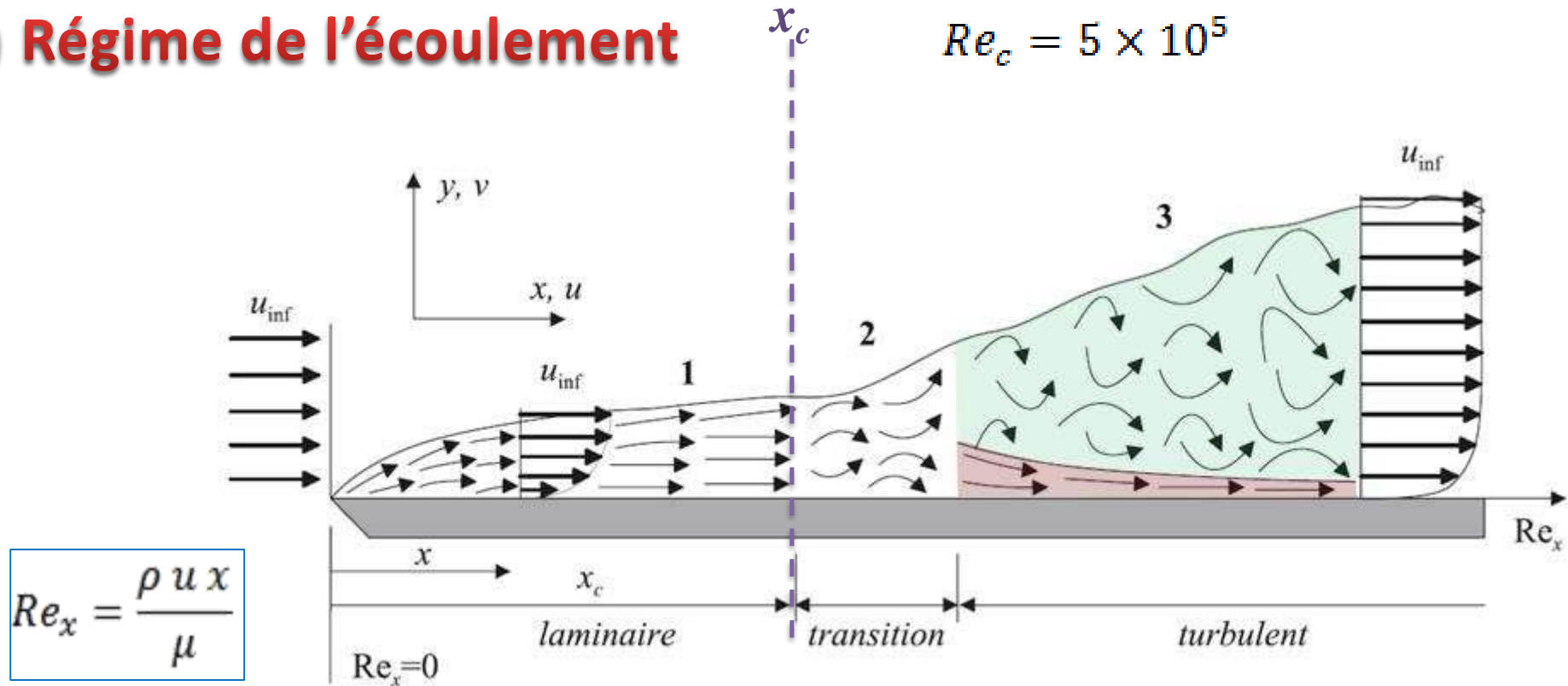
$$T_p = 413 \text{ K}$$

$$L = 1 \text{ m}$$

- Résolvez ce problème sous FLUENT.
- Vérifier la résolution du maillage en traçant  $Y^+$  à la paroi.
- Tracez le profil de vitesse à  $x = 1\text{m}$ .
- Tracez le Nombre de Reynolds contre le Nombre de Nusselt.
- Comparez l'exactitude de vos résultats de FLUENT avec des corrélations empiriques.
- Tracez les contours de la température.

# Exemple 3: Convection forcée sur une plaque plane

## 2) Régime de l'écoulement



$$Re_x = \frac{\rho u x}{\mu}$$

$$Re_L = \frac{\rho u L}{\mu}$$

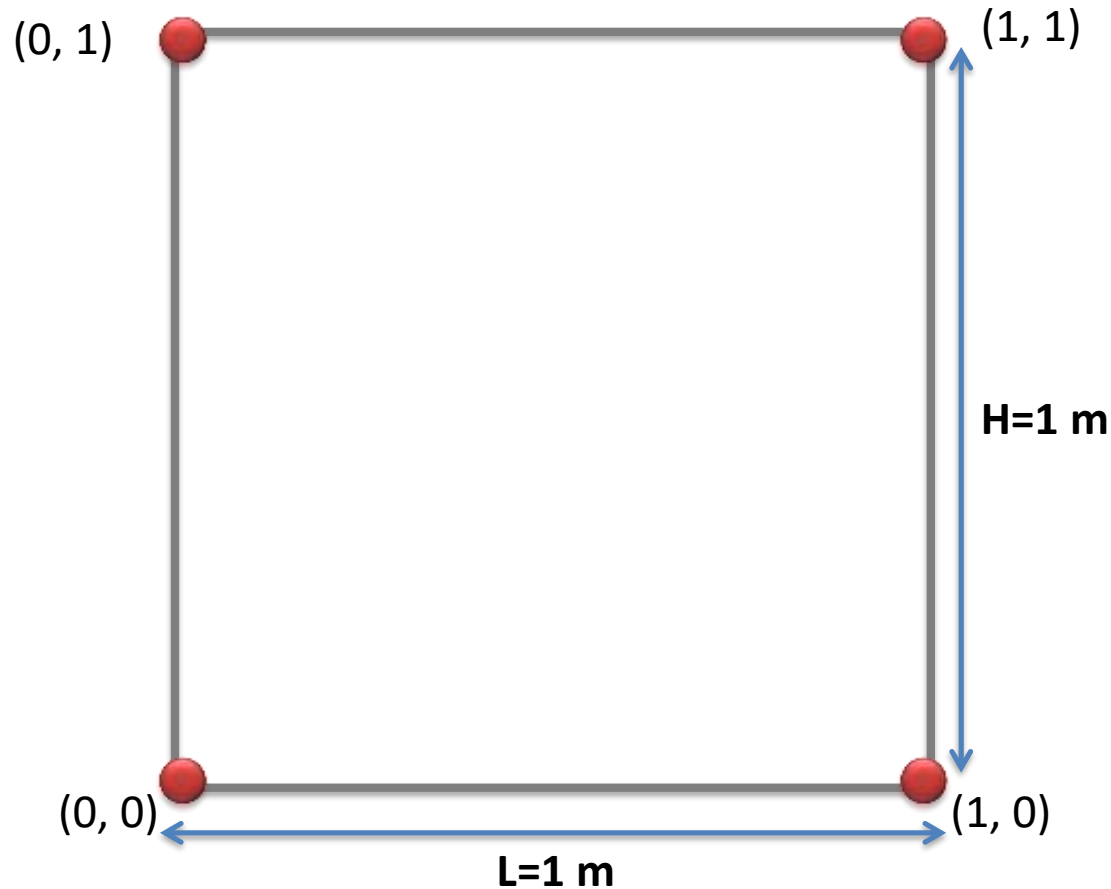
$$\frac{\rho u x_c}{\mu} = 5 \times 10^5$$

$$Re_L = 1.5 \times 10^6 \rightarrow \text{Régime turbulent}$$

# Exemple3: Convection forcée sur une plaque plane

## 3) Résolution numérique

### 3.1. Création de la géométrie (2D)



# Exemple3: Convection forcée sur une plaque plane

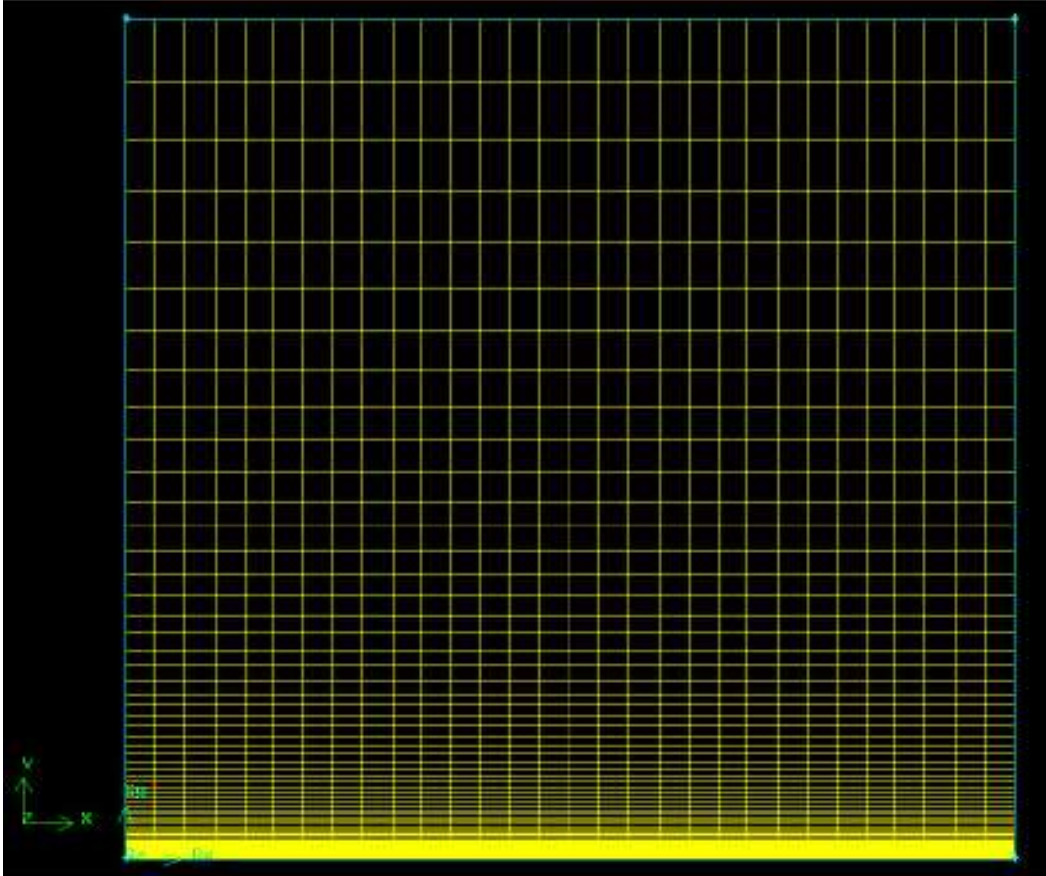
## 3.2. Génération du maillage



30 nœuds

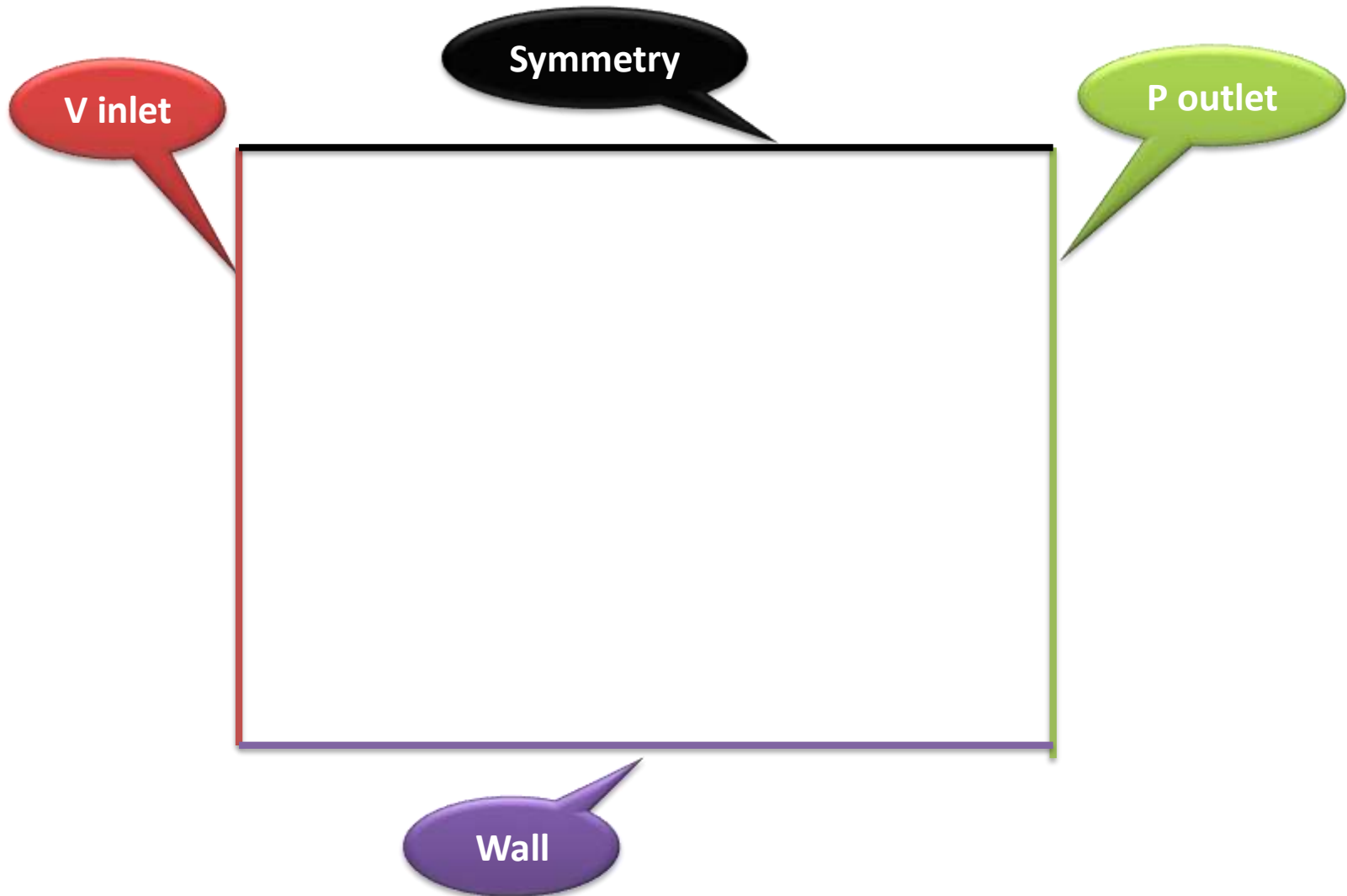
Choisissez «**Successive Ratio=1.08** »  
pour appliquer un maillage raffiné  
près de la paroi.

100 nœuds



# Exemple3: Convection forcée sur une plaque plane

## 3.3. Mettre en place les types de conditions aux limites (Gambit)



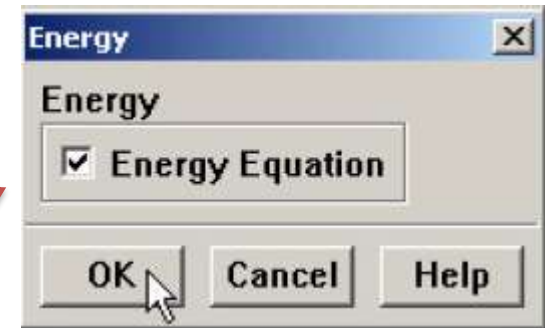
# Exemple3: Convection forcée sur une plaque plane

## 3.4. Mettre en place du problème sous FLUENT

- 1) Importation du Maillage
- 2) Vérifiez et Affichez le Maillage

## 3.5 Choix des équations résolues par le solveur

- ➔ La dimension du problème, 2D
- ➔ Le caractère stationnaire
- ➔ Le caractère incompressible de l'écoulement... **non**
- ➔ prendre en compte le bilan d'énergie ... **oui**
- ➔ La prise en compte de forces extérieures (gravité, force d'inertie liées à la rotation,)....**non**
- ➔ Le régime d'écoulement ?!
- ➔ Convection externe sur une plaque plane :  $Re > 5 \times 10^5$  → les trois régimes (laminaire, transitoire et turbulent)



**Remarque :** La supposition d'écoulement incompressible devient invalide pour les grandes différences de température entre la plaque et le courant libre.



# Exemple3: Convection forcée sur une plaque plane

► Le régime d'écoulement → **Turbulent**

**Viscous Model**

**Model**

- Inviscid
- Laminar
- Spalart-Allmaras (1 eqn)
- k-epsilon (2 eqn)
- k-omega (2 eqn)
- Reynolds Stress (5 eqn)

**k-epsilon Model**

- Standard
- RNG
- Realizable

**Near-Wall Treatment**

- Standard Wall Functions
- Non-Equilibrium Wall Functions
- Enhanced Wall Treatment
- User-Defined Wall Functions

**Enhanced Wall Treatment Options**

- Pressure Gradient Effects
- Thermal Effects

**Options**

- Viscous Heating

**Model Constants**

Cmu: 0.09

C1-Epsilon: 1.44

C2-Epsilon: 1.92

TKE Prandtl Number: 1

**User-Defined Functions**

Turbulent Viscosity: none

**Prandtl Numbers**

TKE Prandtl Number: none

TDR Prandtl Number: none

Energy Prandtl Number: none

Pour inclure les termes thermiques dans l'équation

# Exemple3: Convection forcée sur une plaque plane

## 3.6. Définition des propriétés du fluide

$\mu = 6,667 \cdot 10^{-7} \text{ kg/m}$   
 $\lambda = 9,4505 \cdot 10^{-4} \text{ W/m K}$   
 $C_p = 1006,43 \text{ J/kg K}$   
 $\rho = ?!$

Define → materials → Density → ideal gaz

Materials

Name: air

Material Type: fluid

Chemical Formula:

Fluent Fluid Materials: air

Mixture: none

Properties

Density (kg/m<sup>3</sup>): ideal-gas

Cp (j/kg-k): 1006.43

Thermal Conductivity (w/m-k): 0.0242

Viscosity (kg/m-s): constant

Pour avoir le comportement compressible de l'écoulement

# Exemple 3: Convection forcée sur une plaque plane

## 3.7. Le réglage des Operating conditions

Utiliser la valeur par défaut de 1 atm (101325 Pa) comme *Operating Pressure*.

## 3.8. Conditions aux limites

- V inlet = 1 m/s + T inlet = 353 K
- P outlet = 1 atm (gauge pressure = 0)
- Wall
- Symmetry

Introduire les données thermiques du fluide

Velocity Inlet

Zone Name  
entrée

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase

Velocity Specification Method Magnitude, Normal to Boundary

Reference Frame Absolute

Velocity Magnitude (m/s) 1 constant

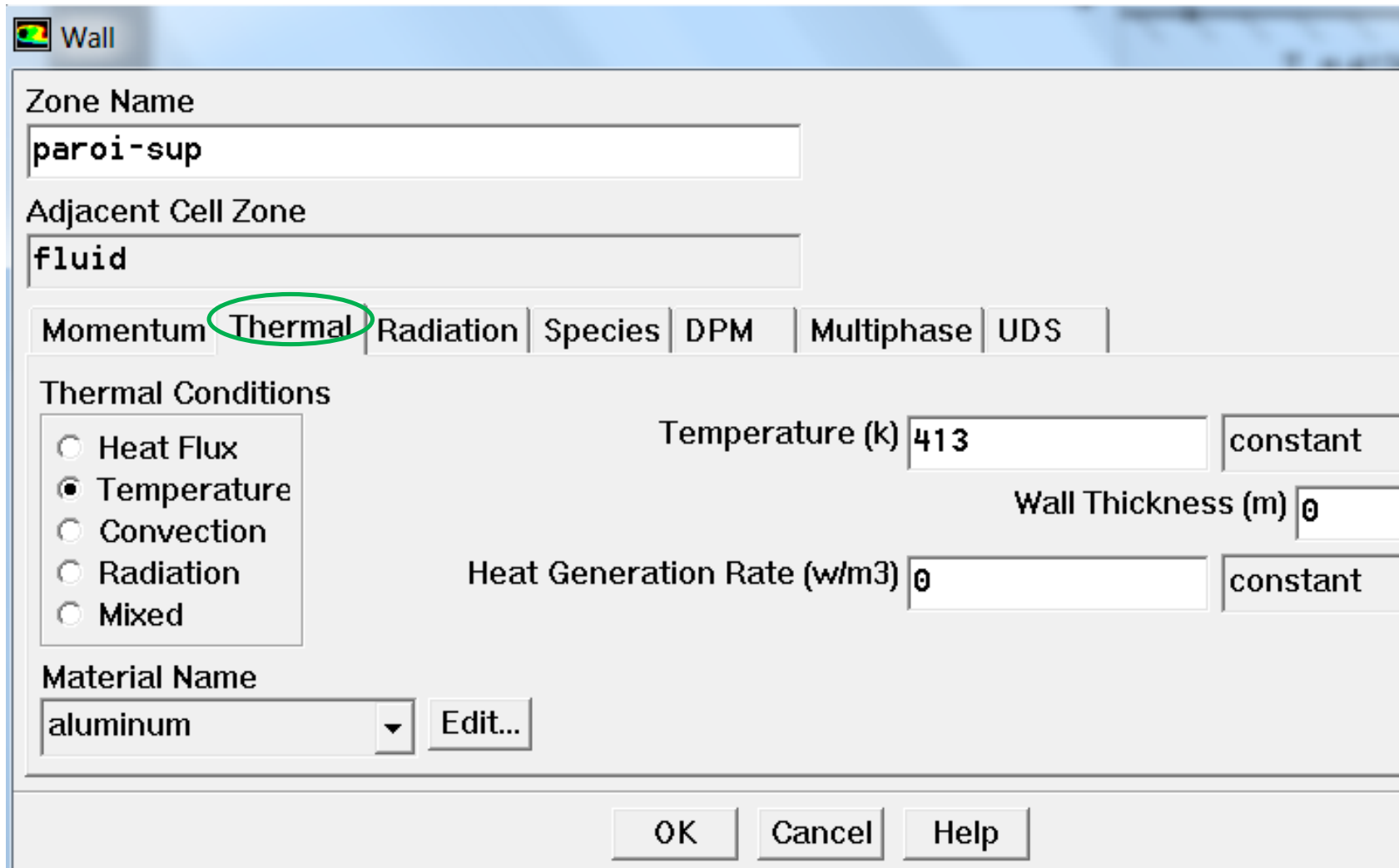
Temperature (k) 353 constant

OK Cancel Help

Donner la valeur de la température du fluide à l'entrée

# Exemple3: Convection forcée sur une plaque plane

- ❑ Wall → donner la valeur de la température de la paroi



Wall

Zone Name  
paroi-sup

Adjacent Cell Zone  
fluid

Momentum **Thermal** Radiation Species DPM Multiphase UDS

Thermal Conditions

Heat Flux  
 Temperature  
 Convection  
 Radiation  
 Mixed

Temperature (k) 413 constant

Wall Thickness (m) 0

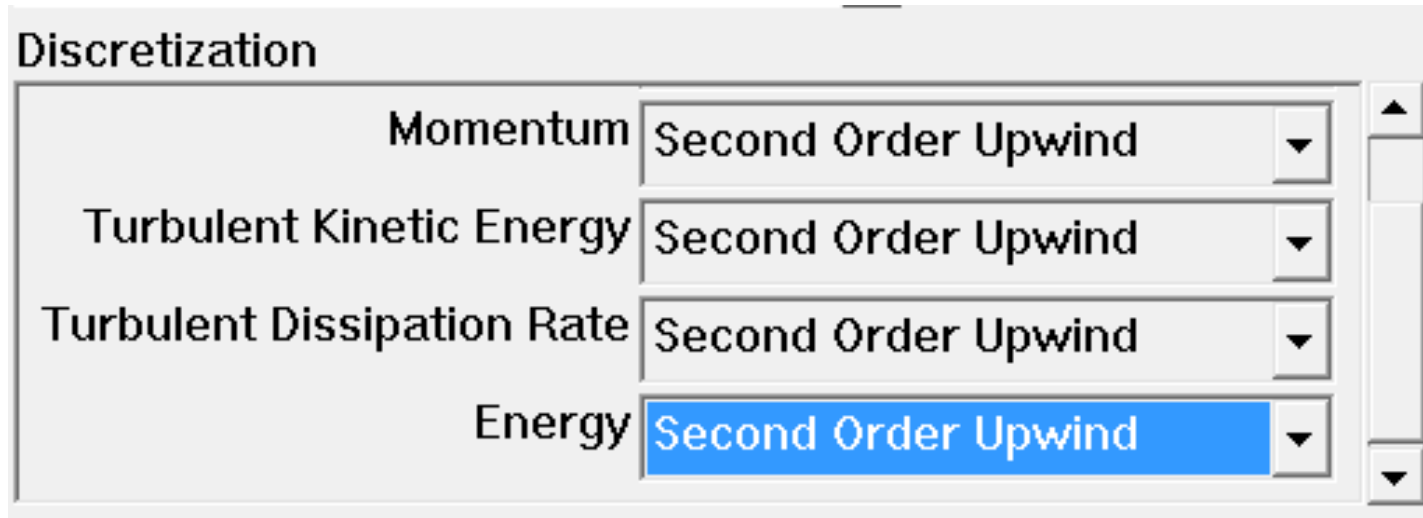
Heat Generation Rate (w/m3) 0 constant

Material Name  
aluminum Edit...

OK Cancel Help

# Exemple3: Convection forcée sur une plaque plane

## 3.9. Schéma de discrétisation



## 3.10. Initialisation des calculs

Initialisez le calcul aux valeurs à inlet :

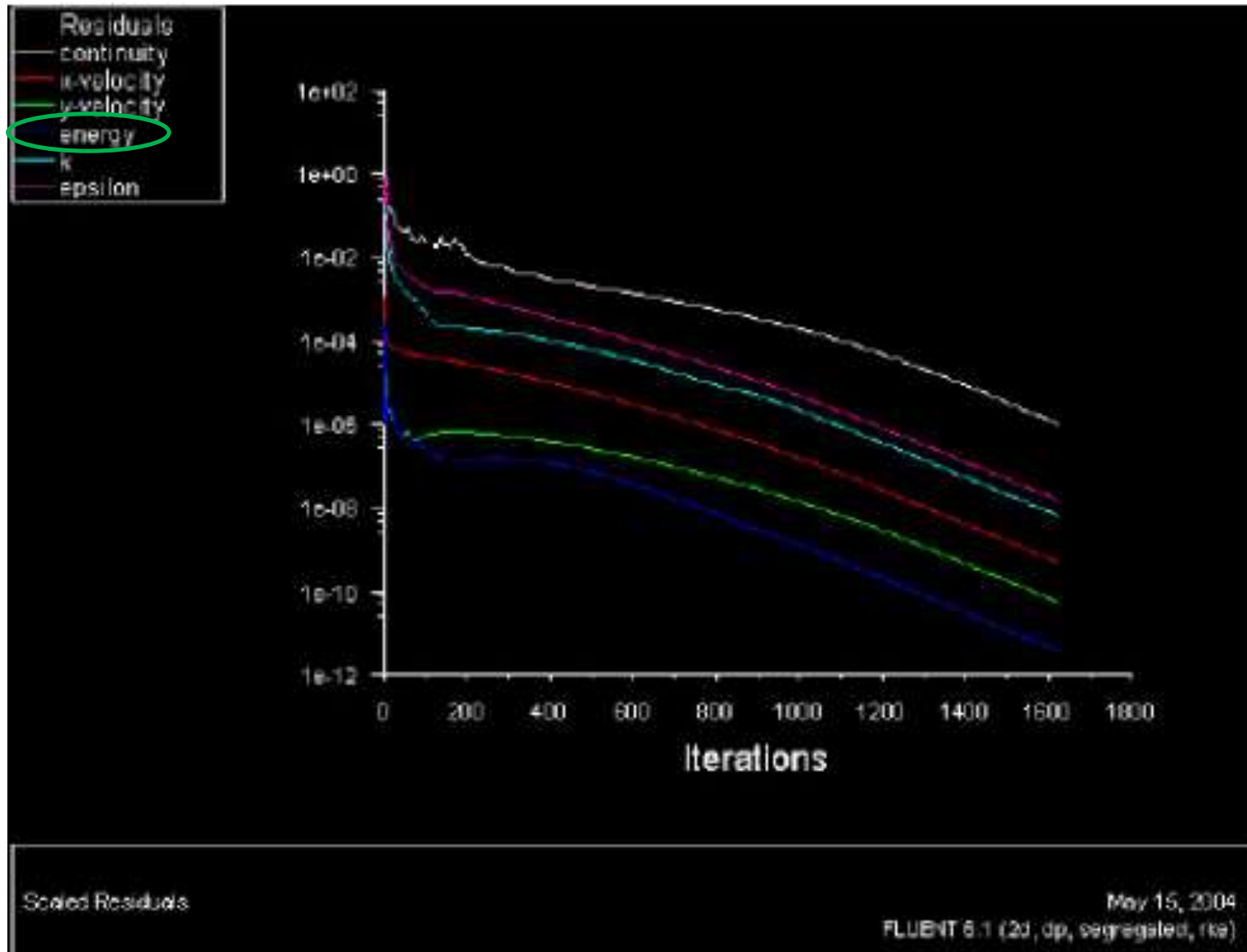
## 3.11. Critères de convergence

➤ Evolution des résidus de chaque équation (masse, quantité de mvt ,...)

## 3.12. Itérez jusqu'à Convergence

Avant lancer le calcul il est conseillé de sauvegarder la simulation.

# Exemple3: Convection forcée sur une plaque plane



# Exemple3: Convection forcée sur une plaque plane

## 4) Réponses

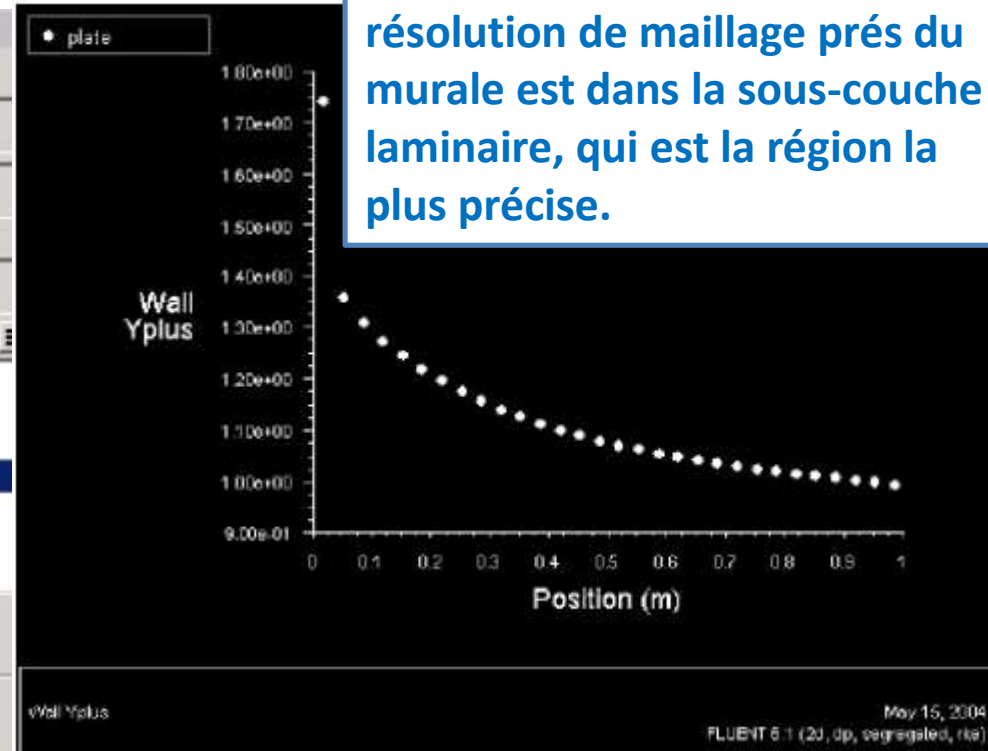
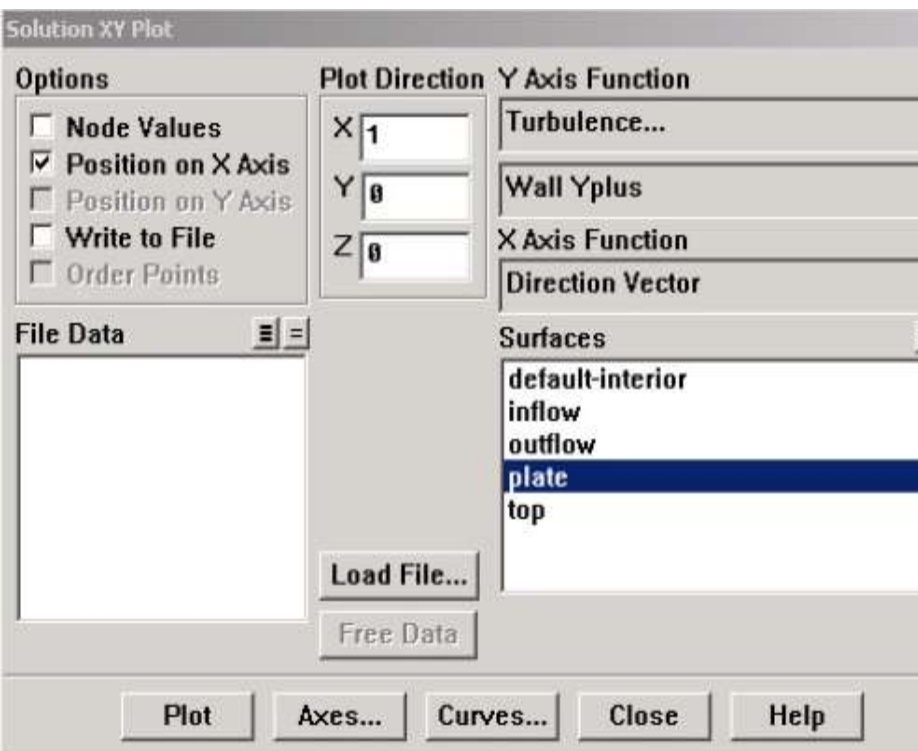
1) Vérifier la résolution du maillage en traçant  $Y^+$  à la paroi.

■ D'abord, nous devons installer(mettre) les valeurs de référence:

Report → reference values → Compute from « entree »

Plot → XY Plot → Turbulence → Y plus (il faut choisir la paroi c

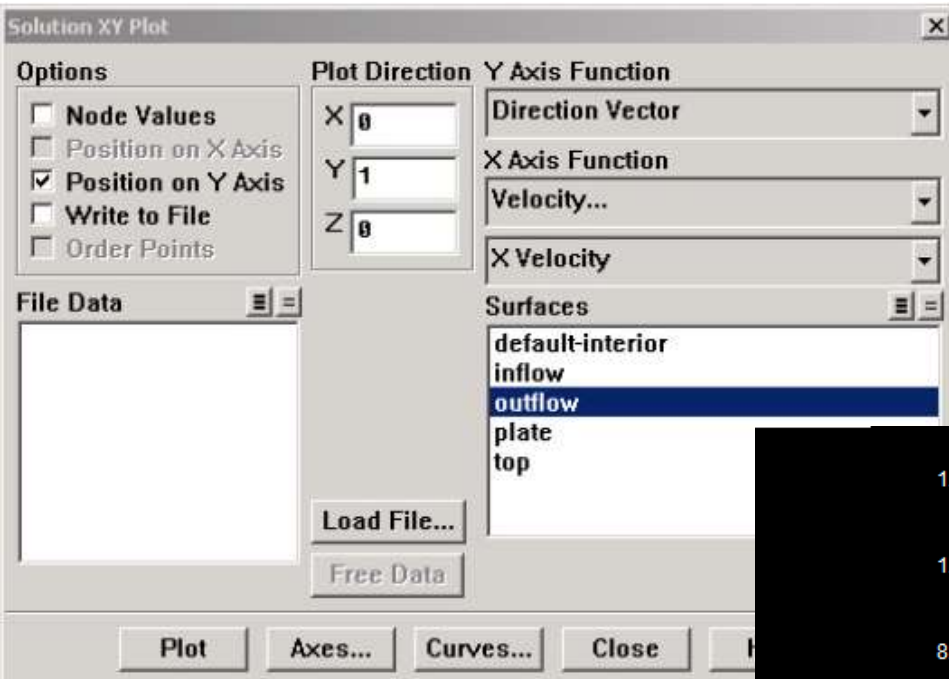
la valeur de  $Y^+$  est entre 1.0 et 1.4, elles sont inférieure à 5, la résolution de maillage près du murale est dans la sous-couche laminaire, qui est la région la plus précise.



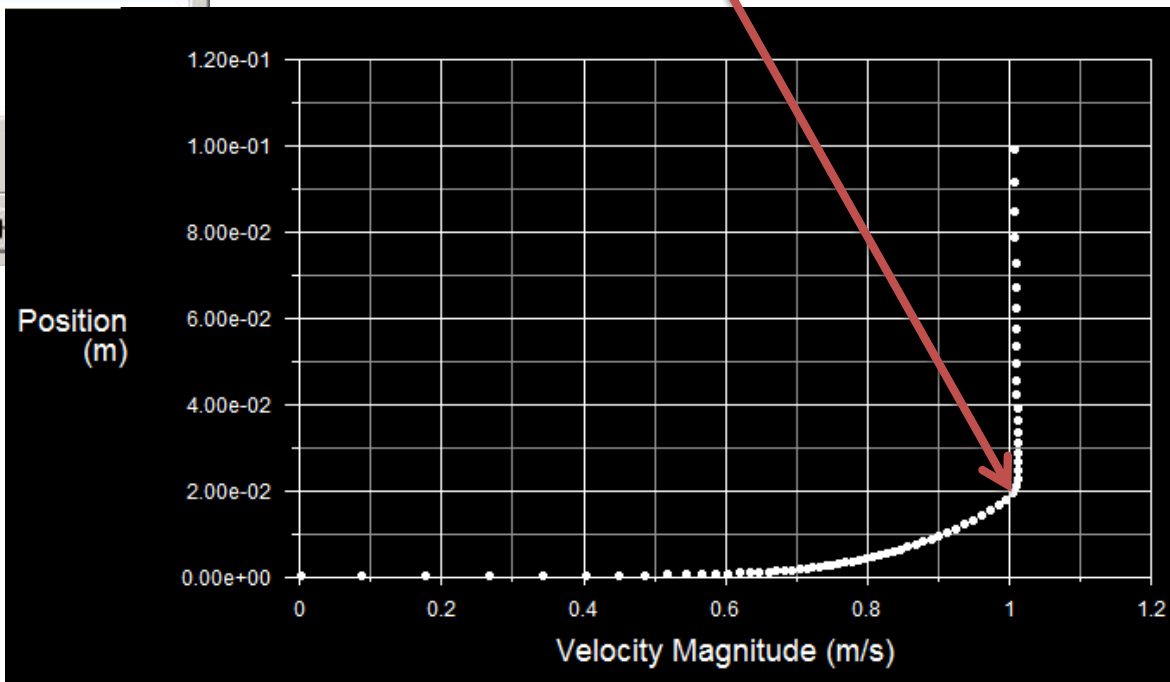
# Exemple3: Convection forcée sur une plaque plane

2) Tracez le profil de vitesse à  $x = 1\text{m}$  → (la sortie).

Plot → XY Plot → velocity → (il faut choisir la sortie comme surface)



Nous remarquons ici que la vitesse  $x$  atteint 1 m/s à approximativement  $y = 0.02\text{ m}$ . Cela montre la finesse relative de la couche limite.





# Exemple3: Convection forcée sur une plaque plane

3) Tracez le Nombre de Reynolds contre le Nombre de Nusselt.

• Pour tracer le Reynolds

$$R_e = \frac{\rho \times u \times x}{\mu} \quad \rho_\infty = \frac{P_\infty}{RT_\infty} \quad = 1 \text{ kg/m}^3$$

Loi des GP

$$R_e = 1.5 \times 10^6 \times x$$

• Pour tracer le Nusselt

$$Nu = \frac{h \times x}{\lambda}$$
$$h = \frac{\Phi}{T_p - T_f}$$
$$\Phi = h \times s \times (T_p - T_f)$$
$$Nu = \frac{\Phi \times x}{T_p - T_f} \frac{1}{\lambda}$$

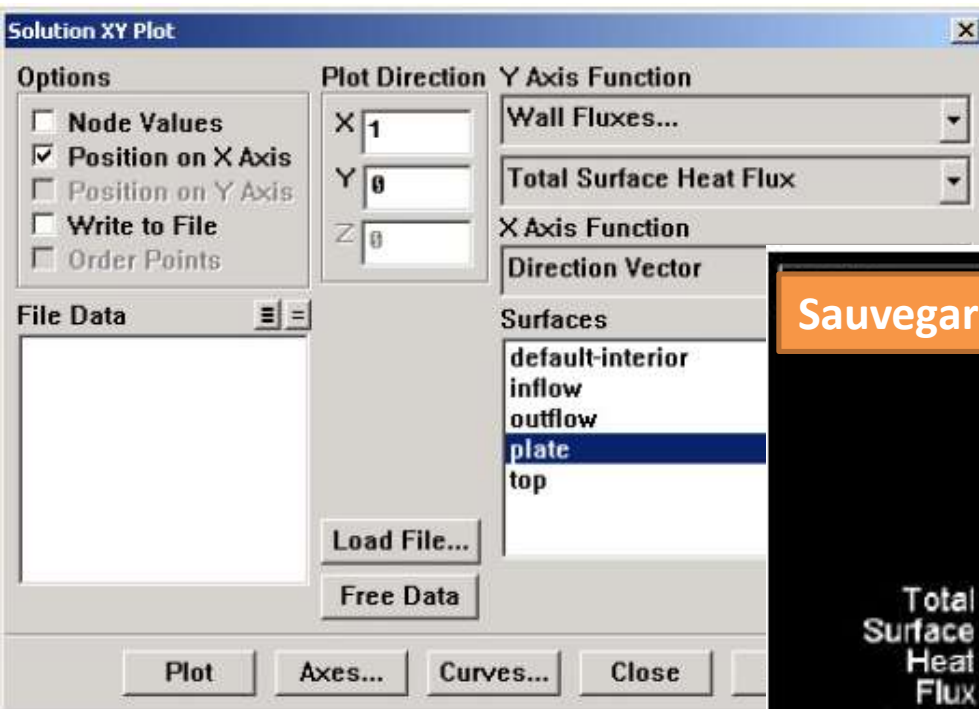
Résultats de Fluent

$$Nu = \frac{\Phi \times x}{60 \times 9.4505 \times 10^{-4}}$$

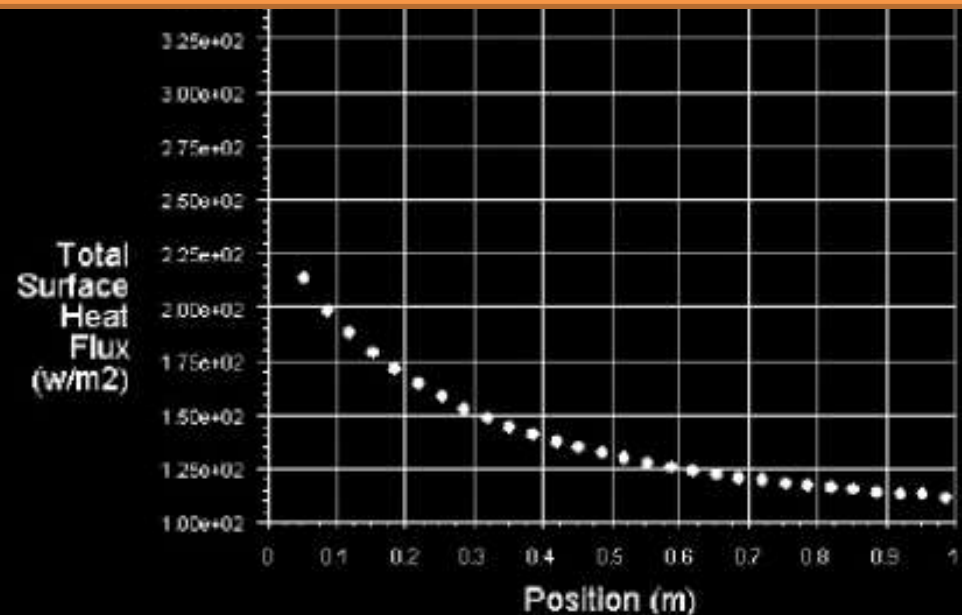
# Exemple3: Convection forcée sur une plaque plane

- Pour obtenir le Nombre de Nusselt de FLUENT, nous commencerons par tracer la le flux de chaleur totale dégagé par la paroi.

Plot → XY Plot → Wall fluxes → Total Surface Heat Flux (il faut choisir la paroi comme surface)



Sauvegardez les données de ce tracé comme données



# Exemple3: Convection forcée sur une plaque plane

- Copier les valeurs de Flux de chaleur en fonction de la position dans un fichier Excel: la 1<sup>ère</sup> colonne c'est la position et la 2<sup>ème</sup> colonne c'est la flux de chaleur.

position (m)	Flux de chaleur W/m2)
0	338,28
0,0333333	277,555
0,0666667	207,789
0,1	193,569
0,133333	184,076
0,166667	175,908
0,2	168,649
0,233333	162,3
0,266667	156,824
0,3	152,108
0,333333	148,021
0,366667	144,45
0,4	141,303
0,433333	138,51
0,466667	136,014
0,5	133,769
0,533333	131,739
0,566667	129,894

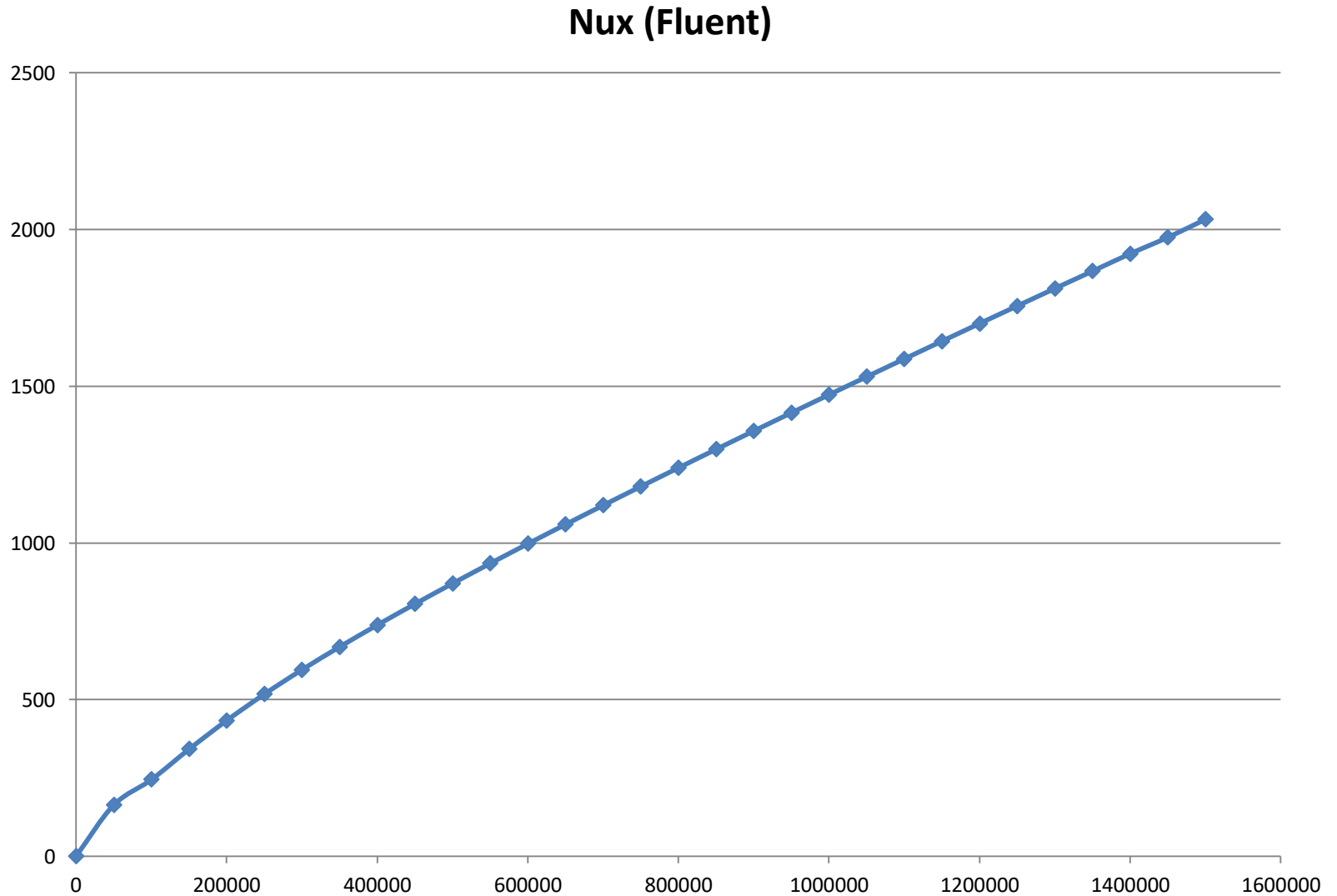
Calculer le Nusselt en utilisant l'équation suivante:

$$Nu = \frac{\emptyset \times x}{60 \times 9.4505 \times 10^{-4}}$$

○ Calculer le Reynolds en utilisant l'équation suivante:

$$R_e = 1.5 \times 10^6 \times x$$

# Exemple3: Convection forcée sur une plaque plane

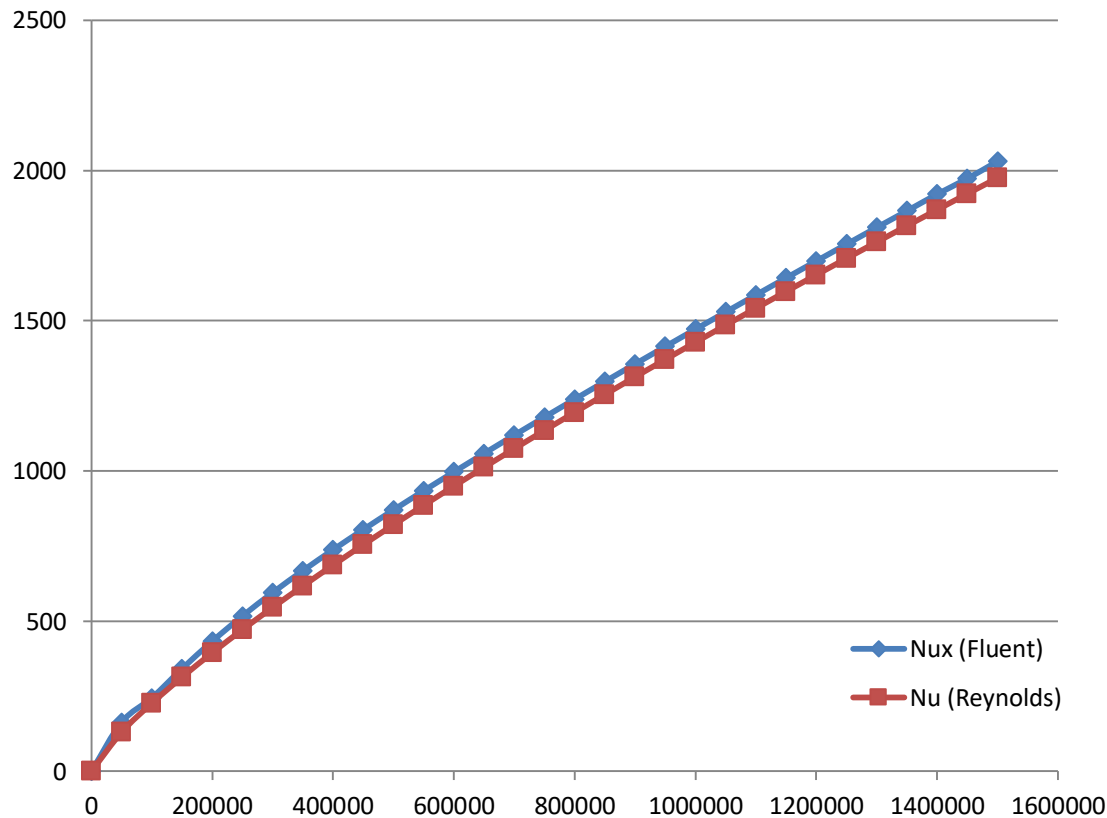


# Exemple3: Convection forcée sur une plaque plane

## 4) Comparez l'exactitude de vos résultats de FLUENT avec des corrélations empiriques

La corrélation que nous utiliserons est tirée par Reynolds

$$Nu_x = 0.0296 \left( Re_x^{0.8} \right) \left( Pr^{0.6} \right) \left( \frac{T_{plate}}{T_{\infty}} \right)^{-0.4}$$



# Exemple3: Convection forcée sur une plaque plane

6) Raffiner le maillage en utilisant une grille de  $30 \times 150$