

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



Université Frères Mentouri Constantine1
Faculté des Sciences Exactes
Département de physique

*Conception et application d'un code de calcul numérique pour
la résolution des problèmes d'écoulements de nanofluides*

Présentée par: Chaïeb Ismaïen
Dirigée par: Pr Ms Boufendi Toufik



PLAN DE L'EXPOSÉ

- **Introduction**
- **Suspensions des nanoparticules.**
- **Applications du Numérique dans les écoulements des Nanofluides**
- **Conception du code:**
 - ✓ **Discrétisation**
 - ✓ **Les algorithmes utilisés**
 - ✓ **Validation**
- **Conclusion**

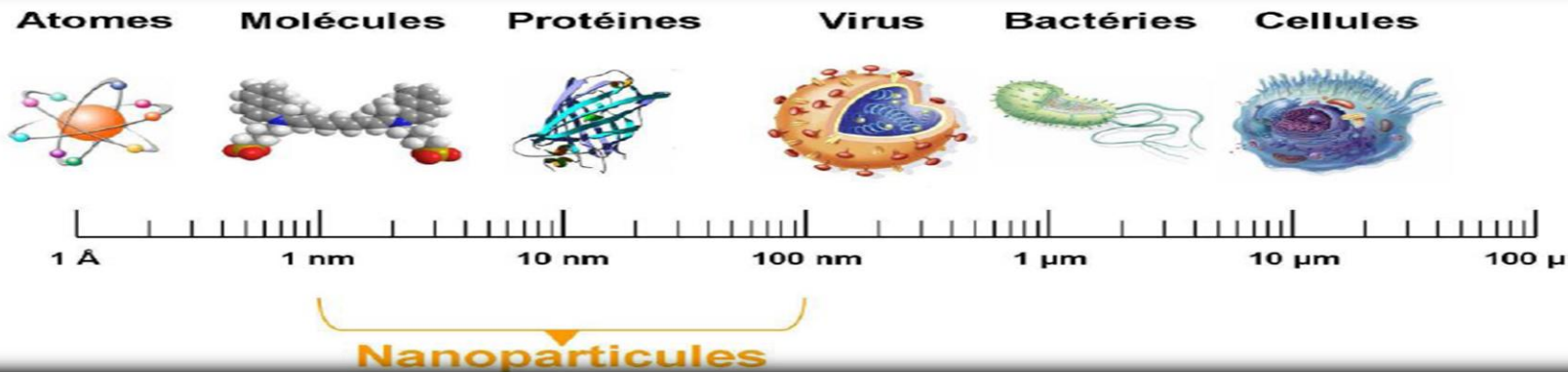
➤ Introduction

- * Nanosciences, nanotechnologies
- * très petite échelle
- * les lois classiques de la physique

nanofluide

* Choix 1995

* Fluide conventionnel + Np

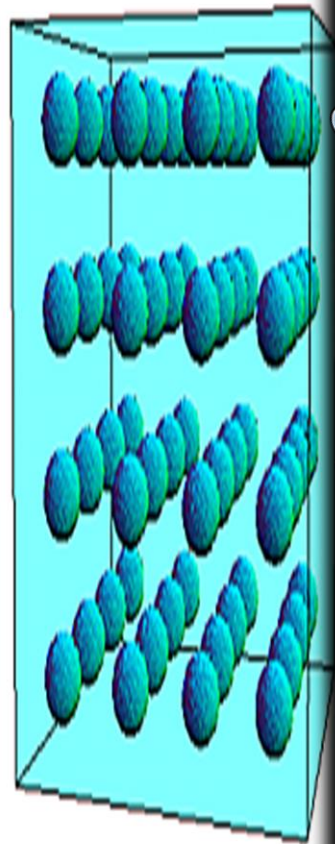
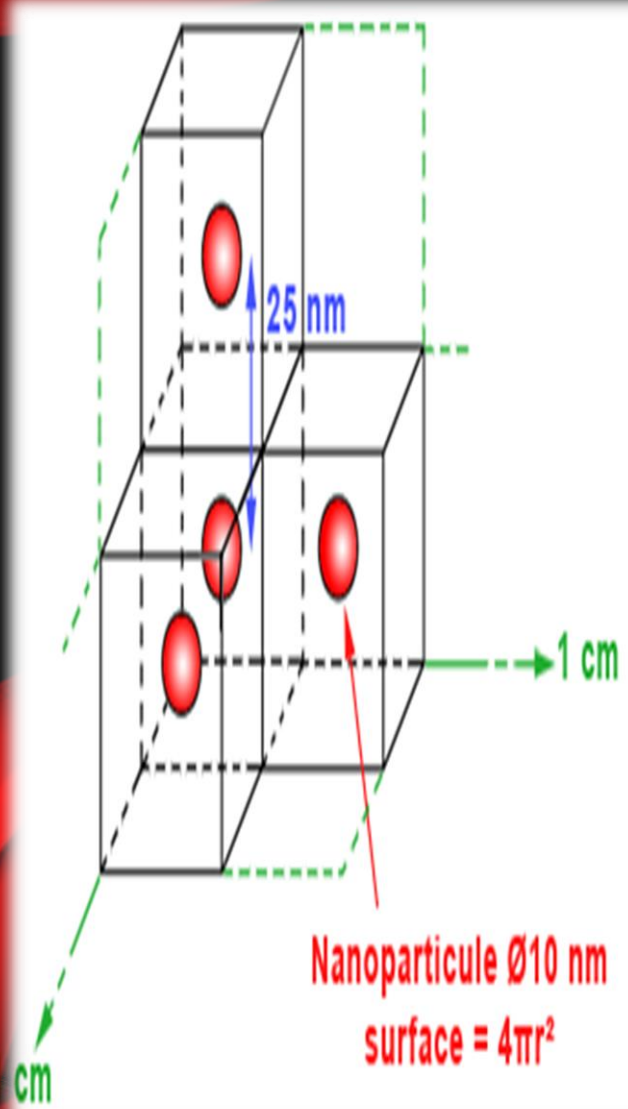


Ecoulement de Nanofluide, Numérique?

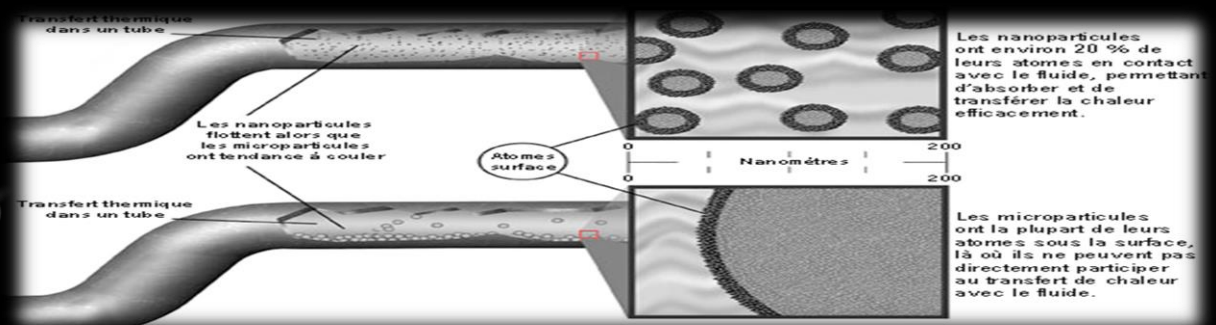


❖ Pourquoi la réduction de taille des nanoparticules est elle intéressante?:

3

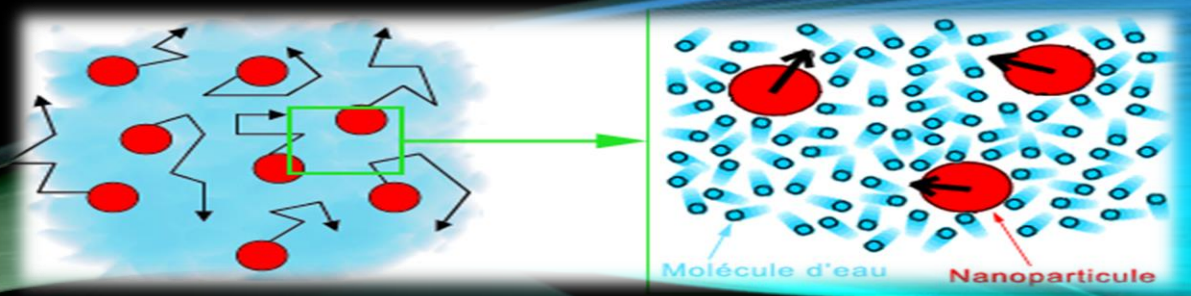


assurer la qualité de l'échange thermique
Amélioration des propriétés thermique



$$V_g = \frac{d^2(\rho_p - \rho)g}{18\mu}$$

LIE À LA VISCOSITÉ DU FLUIDE.



MINIMISE LES PROBLÈMES DE SÉDIMENTATION .

➤ Systèmes d'écoulement rotatif de type Taylor-Couette

4



Système d'écoulement de Faraday



Thermodynamique constructale



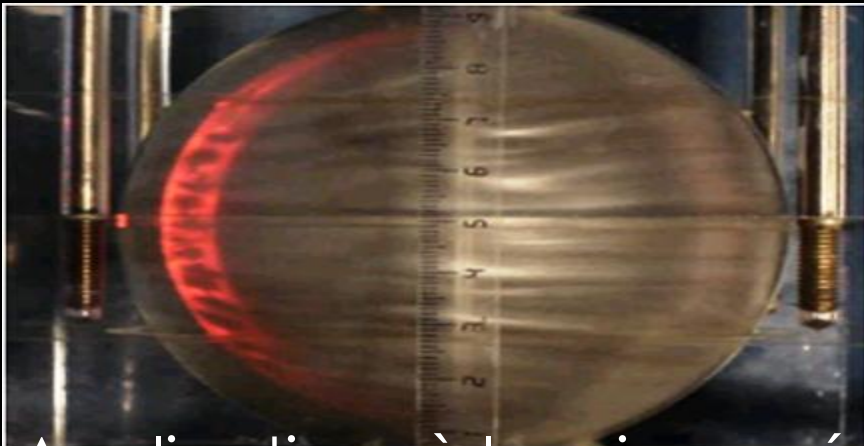
- ❖ Mise en évidence des phénomènes de transition. Applications à la tribologie, lubrification, séparation de masse...

➤ Système d'écoulement conique coaxial



- ❖ Applications à la séparation de masse et aux écoulements océanographiques (Instabilité d'Ekman)

➤ Système d'écoulement sphérique coaxial



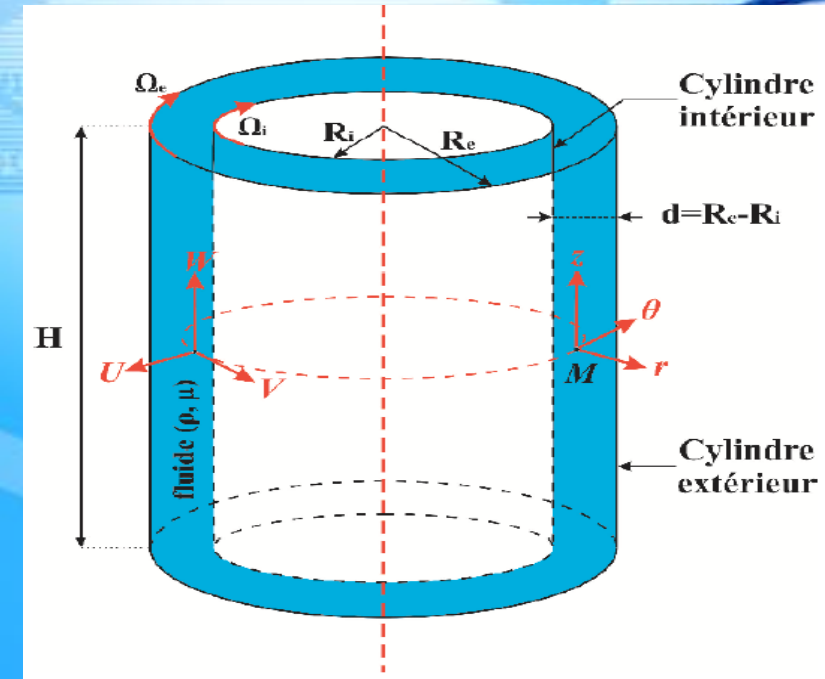
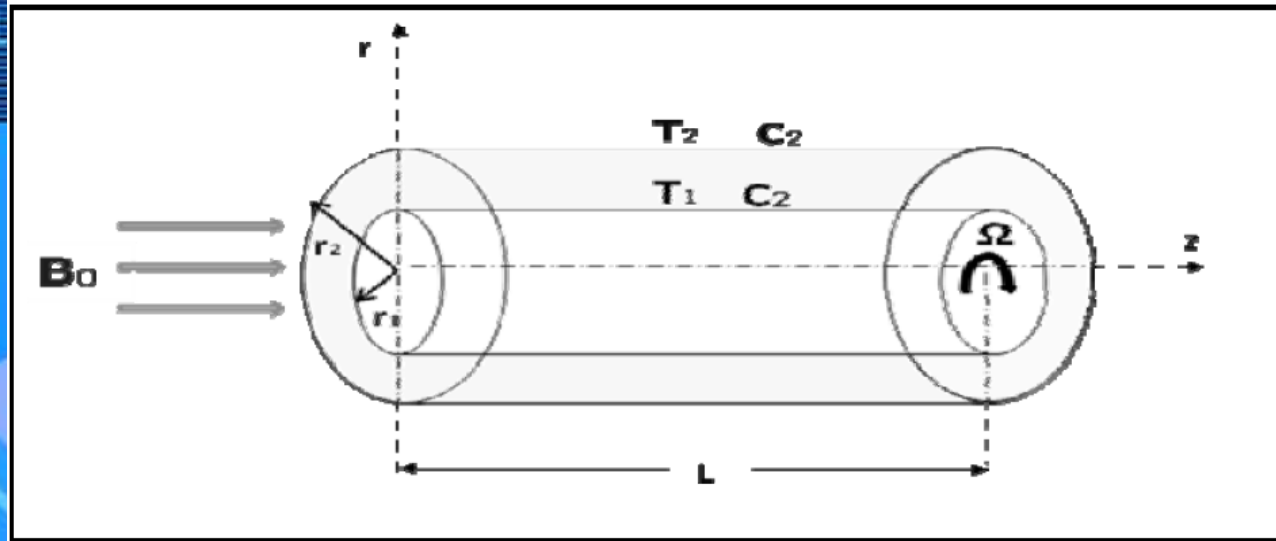
- ❖ Applications à la mise en évidence des écoulements géophysiques (formation de cyclones et instabilités en dynamiques des étoiles)

NUMERIQUE

6



I/Modélisation Mathématique



Hypothèses simplificatrices

Conditions aux limites

0111



➤ Equation de conservation de la masse

$$\frac{1}{r^*} \frac{\partial}{\partial r^*} (r^* u^*) + \frac{1}{r^*} \frac{\partial w^*}{\partial r^*} + \frac{\partial v^*}{\partial r^*} = 0$$

➤ Equation de conservation de la quantité de mouvement: radiale

$$\begin{aligned} \frac{\partial u^*}{\partial t^*} + \frac{1}{r^*} \frac{\partial}{\partial r^*} (r^* u^* u^*) + \frac{1}{r^*} \frac{\partial}{\partial \theta} (w^* u^*) + \frac{\partial}{\partial z^*} (v^* u^*) - \frac{w^{*2}}{r^*} = -\frac{\partial P^*}{\partial r^*} + \frac{Gr_0^*}{Re_0^2} \cos \theta T^* + \\ \frac{1}{Re_0} \left[\frac{\partial}{\partial r^*} \left(\frac{1}{r^*} \frac{\partial (r^* u^*)}{\partial r^*} \right) + \frac{1}{r^{*2}} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{\partial u^*}{\partial \theta} \right) - \frac{2}{r^{*2}} \frac{\partial w^*}{\partial \theta} + \frac{\partial}{\partial z^*} \left(\frac{\partial u^*}{\partial z^*} \right) \right] \end{aligned}$$

➤ Equation de conservation de la quantité de mouvement: angulaire

$$\begin{aligned} \frac{\partial w^*}{\partial t^*} + \frac{1}{r^*} \frac{\partial}{\partial r^*} (r^* u^* w^*) + \frac{1}{r^*} \frac{\partial}{\partial \theta} (w^* w^*) + \frac{\partial}{\partial z^*} (v^* w^*) + \frac{u^* w^*}{r^*} = -\frac{1}{r^*} \frac{\partial P^*}{\partial \theta} - \frac{Gr_0^*}{Re_0^2} \sin \theta T^* + \\ \frac{1}{Re_0} \left[\frac{\partial}{\partial r^*} \left(\frac{1}{r^*} \frac{\partial (r^* w^*)}{\partial r^*} \right) + \frac{1}{r^{*2}} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{\partial w^*}{\partial \theta} \right) + \frac{2}{r^{*2}} \left(\frac{\partial u^*}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial z^*} \left(\frac{\partial w^*}{\partial z^*} \right) \right] \end{aligned}$$

0111



➤ Equation de conservation de la quantité de mouvement: axiale

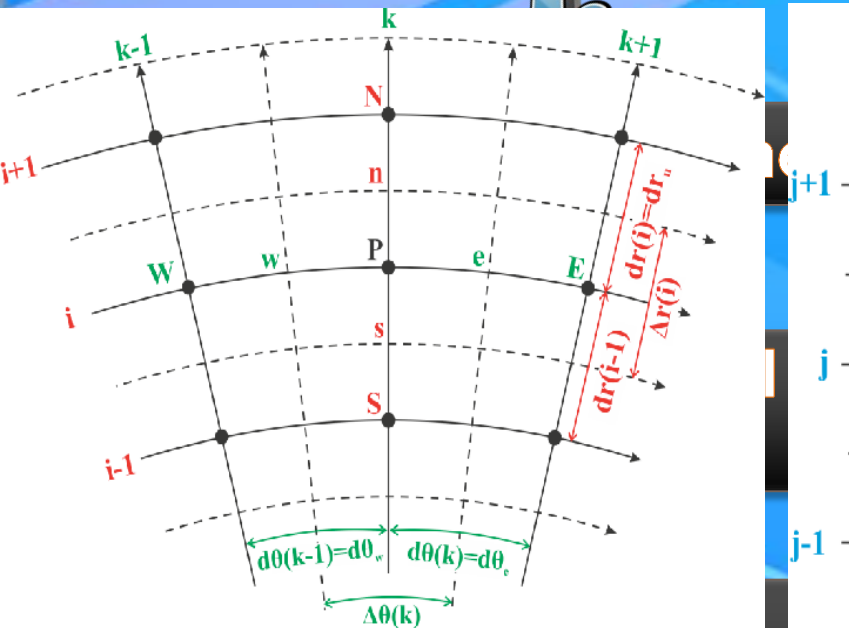
$$\frac{\partial v^*}{\partial r^*} + \frac{1}{r^*} \frac{\partial}{\partial r^*} (r^* u^* v^*) + \frac{1}{r^*} \frac{\partial}{\partial \theta} (w^* v^*) + \frac{\partial}{\partial z^*} (v^* v^*) = -\frac{\partial P^*}{\partial z^*} + \frac{1}{\text{Re}_0} \left[\frac{1}{r^*} \frac{\partial}{\partial r^*} \left(r^* \frac{\partial v^*}{\partial r^*} \right) + \frac{1}{r^{*2}} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{\partial v^*}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial z^*} \left(\frac{\partial v^*}{\partial z^*} \right) \right]$$

Equation de conservation de l'énergie

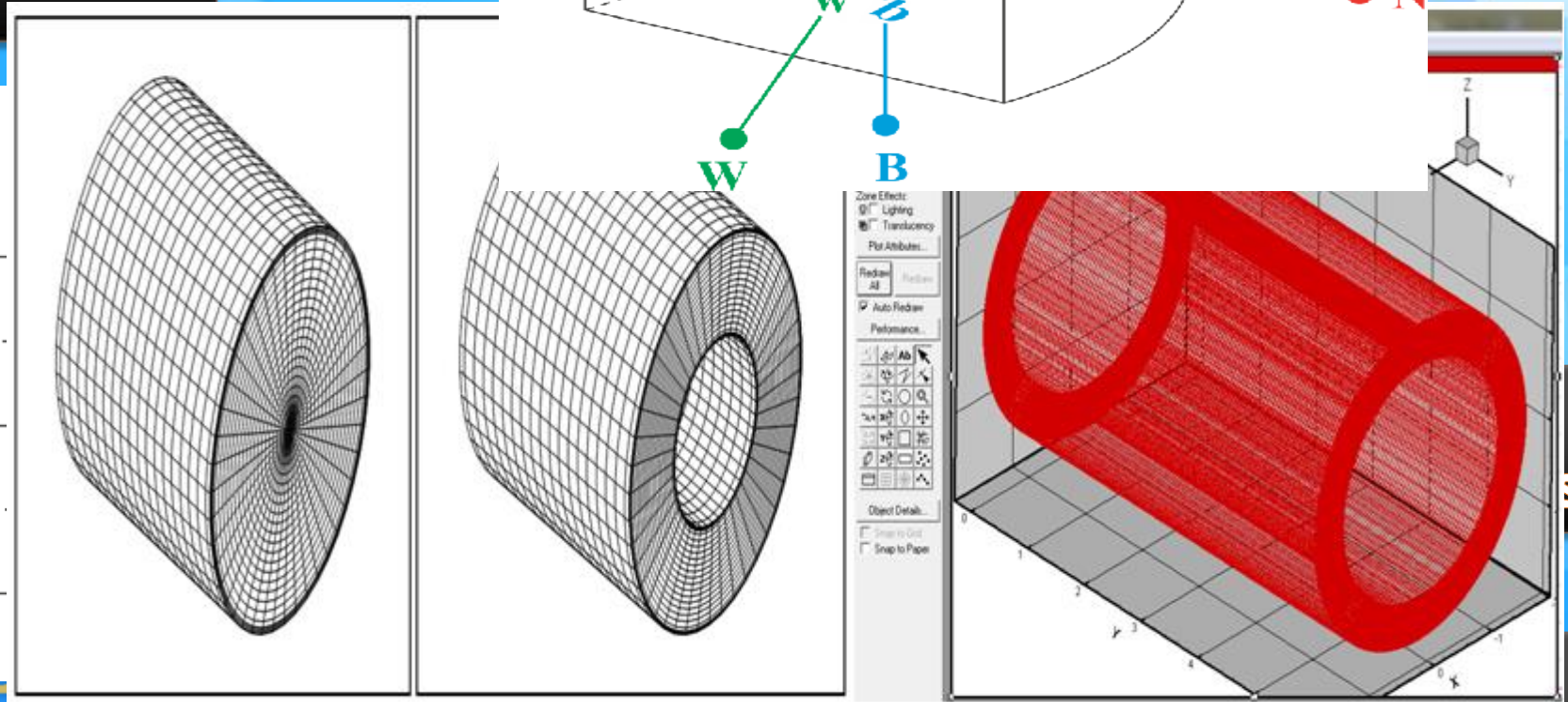
$$\frac{\partial T^*}{\partial t^*} + \frac{1}{r^*} \frac{\partial}{\partial r^*} (r^* u^* T^*) + \frac{1}{r^*} \frac{\partial}{\partial \theta} (w^* T^*) + \frac{\partial}{\partial z^*} (v^* T^*) = \frac{1}{\text{Re}_0 \text{Pr}_0} \left[\frac{1}{r^*} \frac{\partial}{\partial r^*} \left(r^* \frac{\partial T^*}{\partial r^*} \right) + \frac{1}{r^{*2}} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{\partial T^*}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial z^*} \left(\frac{\partial T^*}{\partial z^*} \right) \right]$$

II/Analyse Numérique

La discrétisation du domaine physique en VC



2eme ordre Adams-Bachforth



non linéaires; les termes convectifs, diffusif, source et conditions aux limites

Les algorithmes de calcul

Algorithmes de THOMAS

Algorithmes de THOMAS Cyclique

Algorithmes SIMPLER et SIMPLE

$$A_p(i, j, k) \phi_{i, j, k} = A_N(i, j, k) \phi_{i+1, j, k} + A_S(i, j, k) \phi_{i-1, j, k} +$$

$$A_T(i, j, k) \phi_{i, j+1, k} + A_B(i, j, k) \phi_{i, j-1, k} +$$

$$A_E(i, j, k) \phi_{i, j, k+1} + A_W(i, j, k) \phi_{i, j, k-1} + S_\phi(i, j, k)$$

Forme générale

$$a_i = A_p(i, j, k)$$

Après le Balayage, la forme indicielle $a_i \phi_i = b_i \phi_{i+1} + c_i \phi_{i-1} + d_i$ $b_i = A_N(i, j, k)$

$$c_i = A_S(i, j, k)$$

$$d_i = A_T(i, j, k) \phi_{i, j+1, k} + A_B(i, j, k) \phi_{i, j-1, k} + A_E(i, j, k) \phi_{i, j, k+1} + A_W(i, j, k) \phi_{i, j, k-1} + S_\phi(i, j, k)$$

Introduction de la relation de récurrence $\phi_i = p_i \phi_{i+1} + \phi_i$, $\phi_{i-1} = p_{i-1} \phi_i + \phi_{i-1}$

$$\text{On déduit deux nouvelles relations } p_i = \frac{B_i}{A_i - C_i p_{i-1}} \text{ et } Q_i = \frac{D_i + C_i Q_{i-1}}{A_i - C_i p_{i-1}}$$

Forme générale :

$$A_p(i, j, k) \phi_{i, j, k} = A_N(i, j, k) \phi_{i+1, j, k} + A_S(i, j, k) \phi_{i-1, j, k} +$$

$$A_T(i, j, k) \phi_{i, j+1, k} + A_B(i, j, k) \phi_{i, j-1, k} +$$

$$A_E(i, j, k) \phi_{i, j, k+1} + A_W(i, j, k) \phi_{i, j, k-1} + S_\phi(i, j, k)$$

Equation indicelle : $a_i \phi_i = b_i \phi_{i+1} + c_i \phi_{i-1} + d_i$;

$$a_i = A_p(i, j, k)$$

$$b_i = A_N(i, j, k)$$

$$c_i = A_S(i, j, k)$$

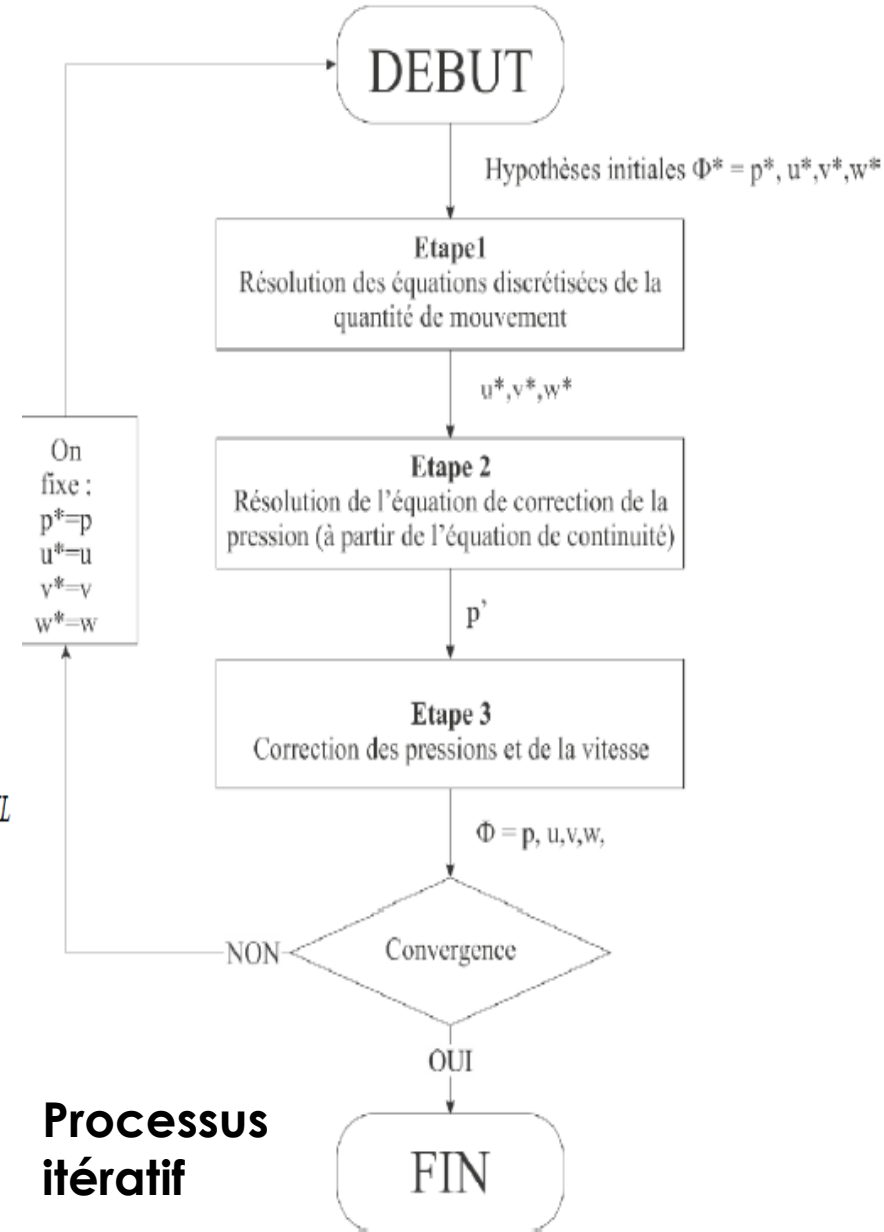
$$d_i = A_T(i, j, k) \phi_{i, j+1, k} + A_B(i, j, k) \phi_{i, j-1, k} + A_E(i, j, k) \phi_{i, j, k+1} + A_W(i, j, k) \phi_{i, j, k-1} + S_\phi(i, j, k)$$

L'équation de récurrence (nouvelle forme) $a_k \phi_k = b_k \phi_{k+1} + c_k \phi_{k-1} + d_k$ $k=1, 2, \dots, KL$

$$dkk = \begin{cases} k+1, & \text{si } k \neq KL \\ 1, & \text{si } k = KL \end{cases}$$

Avec cette relation on peut calculer toutes les composantes P_i et Q_i afin de balayé tout l'azimutale

Avec cette relation on peut calculer toutes les composantes P_i et Q_i



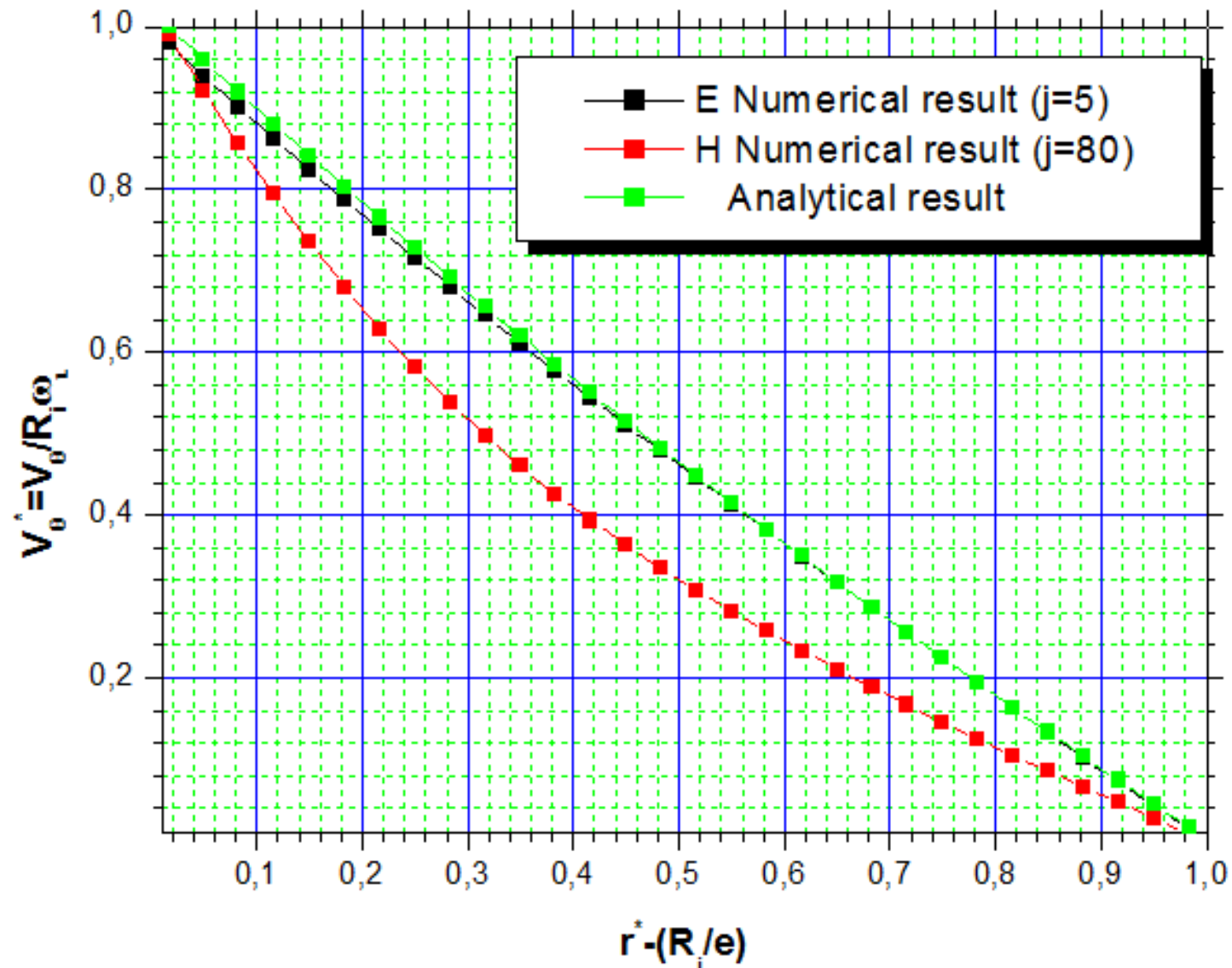
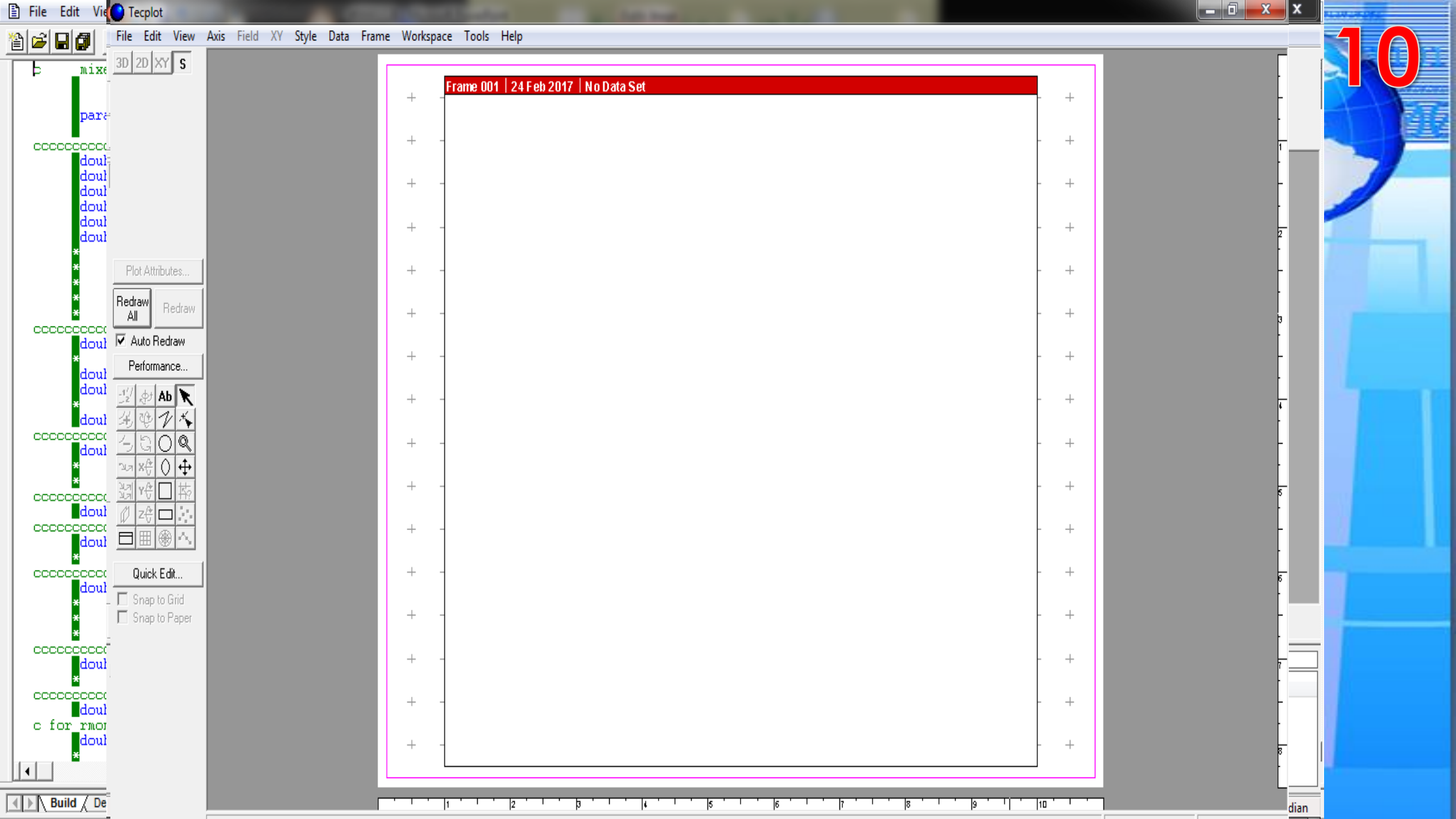
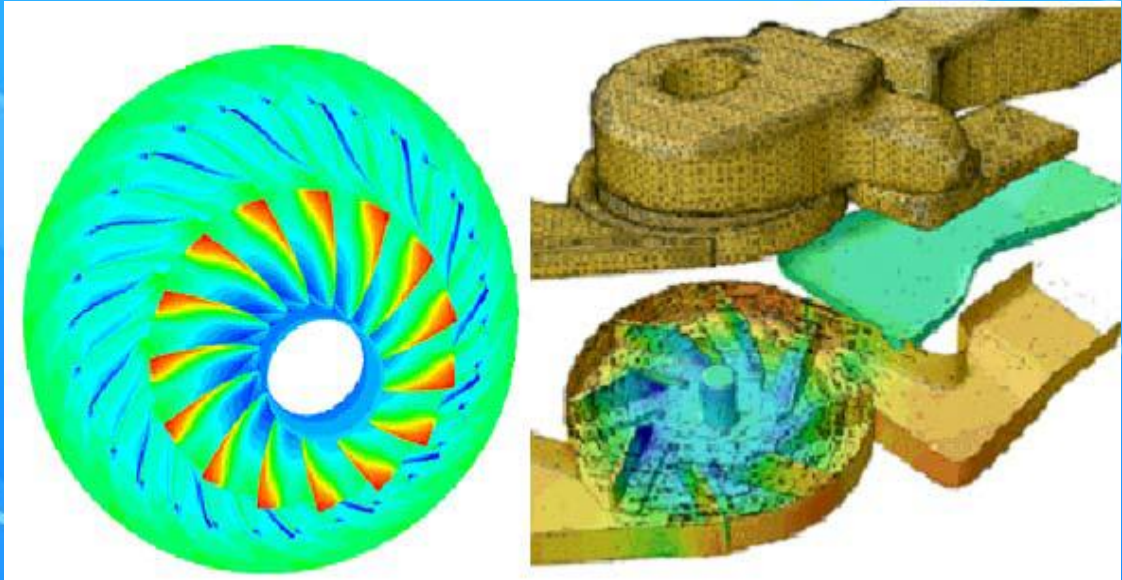
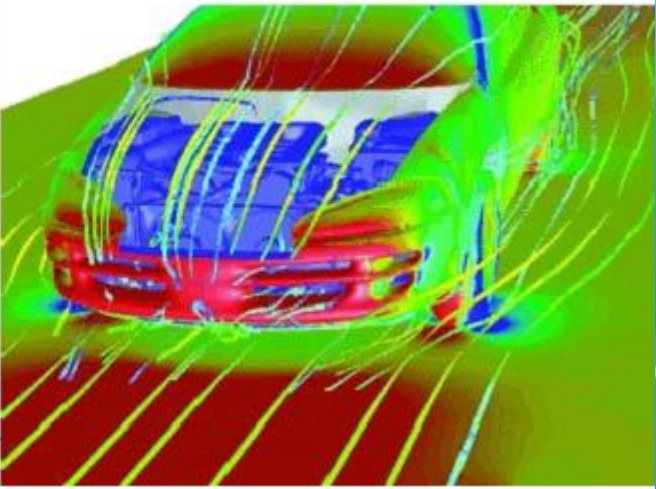
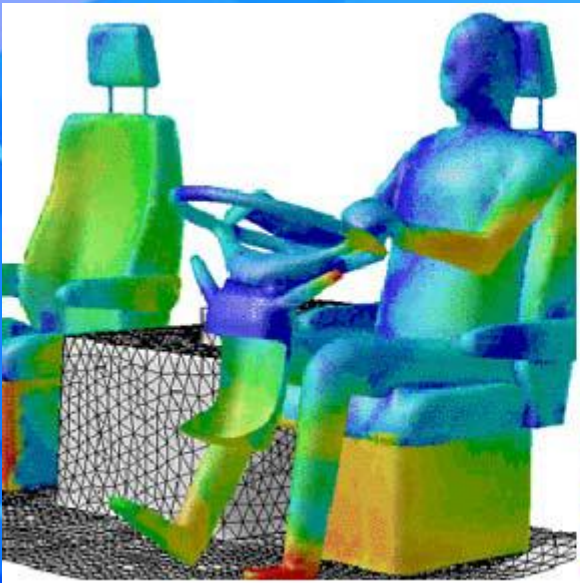
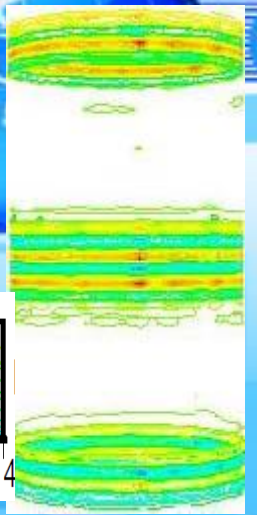
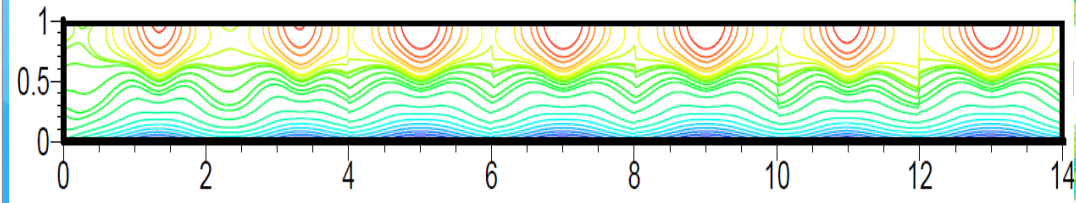
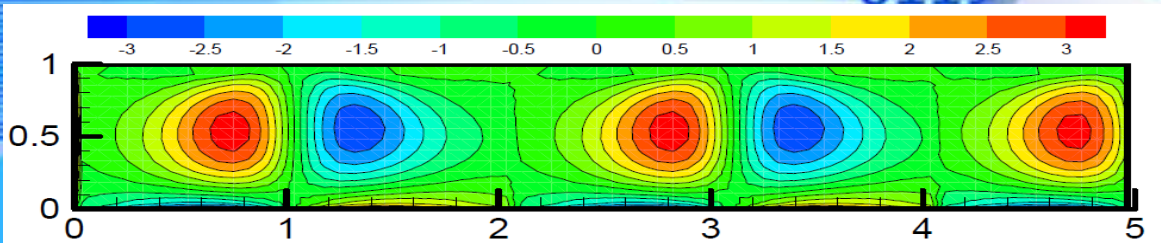
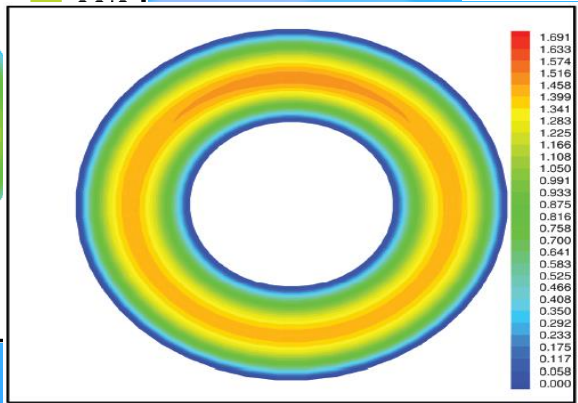
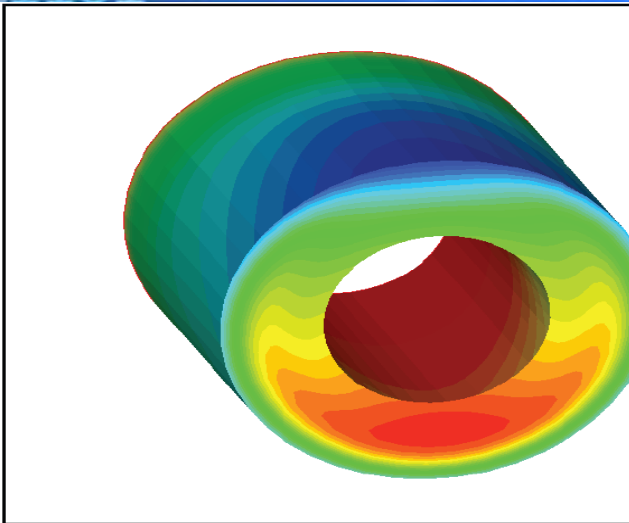
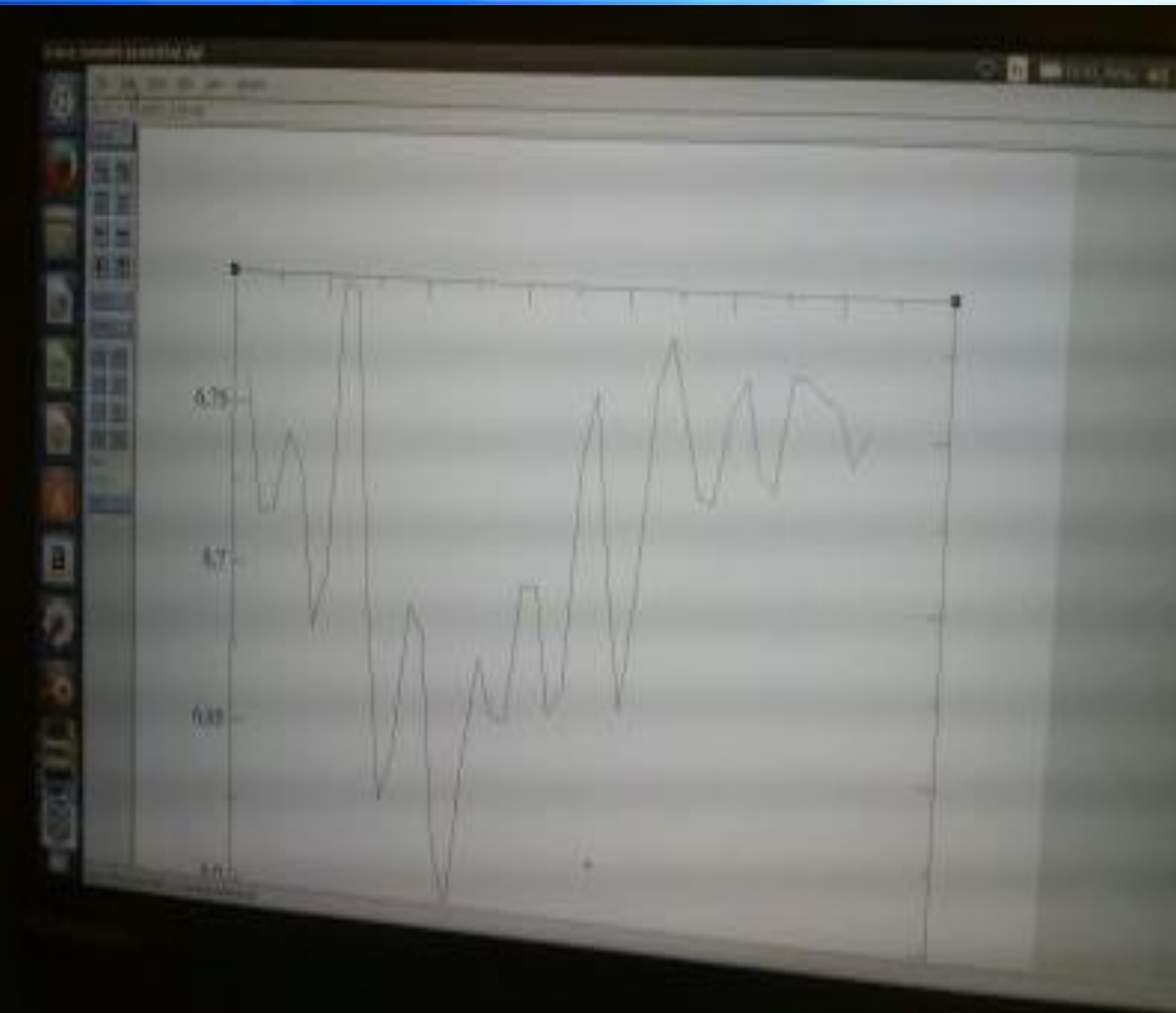


Fig.2 Azimutal velocity profile for the Couette flow by analytical and numerical methods by $Re_i=56.254$, $R_i=2.669$ and $\Gamma=23.35$



Résultats Numérique





Conclusion



- * Nanofluide est un fluide homogène de meilleurs propriétés thermiques.
- * Discrétisation du 2ème ordre donne de meilleurs résultats.
- * Ubuntu exécution par réseau (entre les pays), gain de temps, plusieurs calculs en même temps pour la même vitesse d'un cas.
- * Il faut toujours avoir un regard critique vis-à-vis du résultat obtenu.



**Merci
de votre écoute**