

Interaction Fluide Structure?

Vibration d'une structure dans un fluide (faisceaux de tubes)
Sollicitation externe (séisme, choc, ...) (fluide au repos?)

Effets inertiels: baisse des fréquences

Effets dissipatifs: amortissement

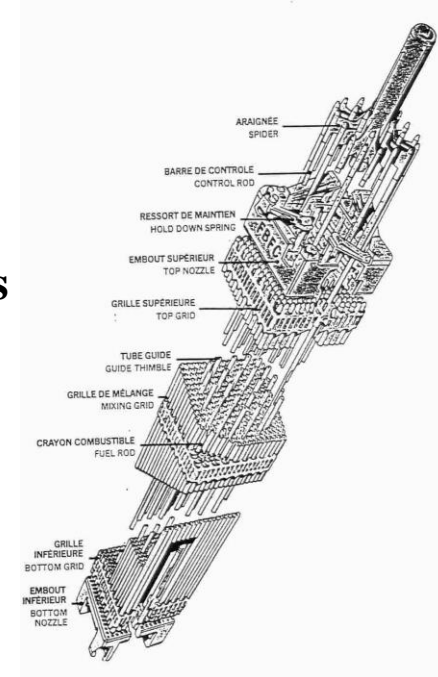
Equations de Navier Stokes pour le fluide, nombres dimension.

$$\rho \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \rho \vec{V} \vec{\nabla} \vec{V} = -\vec{\nabla} P + \mu \Delta \vec{V}$$

Reynolds $Re = \frac{\rho V L}{\mu}$

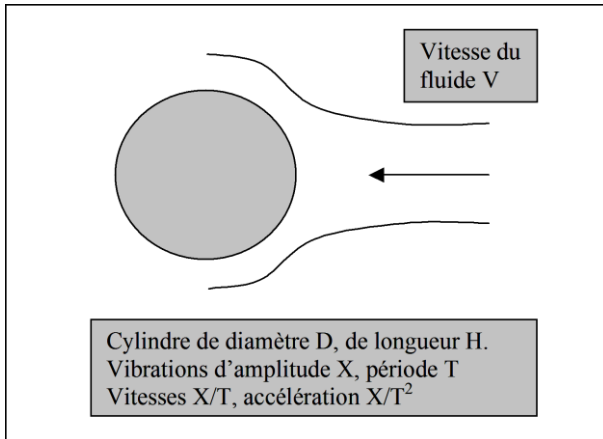
Keulegan Carpenter $KC = \frac{X(\text{déplacement})}{D(\text{dimension})}$

Faisceaux de tubes, homogénéisation, effets dissipatifs



Mouvements horizontaux d'un cylindre dans un fluide

Efforts appliqués par le fluide sur le cylindre



Fluide parfait : équations d'Euler $F_1 = 0$

Viscosité : Stokes $F_2 = \mu VH$

Effets dissipatifs : Navier-Stokes $F_3 = 1/2 C\rho DHV^2$

Effets inertiels : Euler $F_4 = \rho D^2 H \Gamma$

Comparaison des différents efforts

$$\frac{F_3}{F_2} = \frac{1}{2} \frac{\rho VD}{\mu} = \text{Re}$$

L'apparition d'effets dissipatifs est liée au nombre de Reynolds

$$\frac{F_4}{F_3} = \frac{\rho D^2 H \Gamma}{\frac{1}{2} C\rho DHV^2} = 2D \frac{\Gamma}{V^2} = 2 \frac{D}{X} = 1/KC$$

Les efforts inertiels sont prépondérants pour des petits déplacements

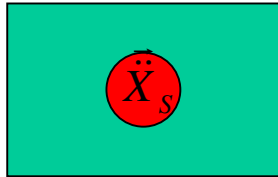
Effets inertiels: importance des termes de couplage

Force appliquée par le fluide sur le solide

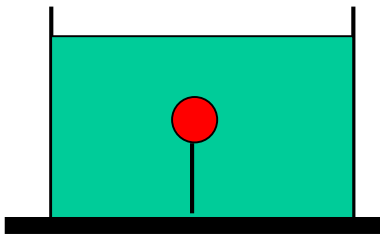
$$F_{F \rightarrow S} = -m_a \ddot{\vec{X}}_S + (m_a + m_d) \ddot{\vec{X}}_L$$

(déplacements absolus)

accélération fluide $\ddot{\vec{X}}_L$
 accélération solide $\ddot{\vec{X}}_S$
 accélération sismique \ddot{x}_a



$\ddot{\vec{X}}_L$ (acc de la cuve)



Cuve sur la table vibrante

$$(m + m_a) \ddot{\vec{X}}_S + K \vec{X}_S = -(m - m_d) \ddot{x}_a$$

(déplacements relatifs)

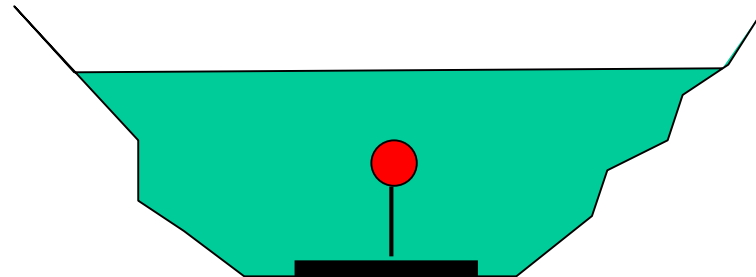


Table vibrante dans la cuve

$$(m + m_a) \ddot{\vec{X}}_S + K \vec{X}_S = -(m + m_a) \ddot{x}_a$$

(déplacements relatifs)

Interaction fluide structure - Fluide parfait – Méthodes numériques

Équation de fluide parfait (hypothèse de petits déplacements)

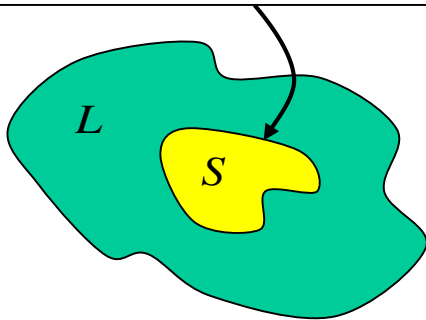


Pression P Liquide et solide: déplacements $\vec{X}L$ $\vec{X}S$ accélérations $\vec{\Gamma}L$ $\ddot{\vec{X}}L$ $\ddot{\vec{X}}S$

Formulation en pression $\left(\frac{1}{c^2}\right) \ddot{P} = -\Delta P$

Formulation en déplacement $\rho \ddot{\vec{X}}L = \vec{\nabla}(\rho c^2 \text{div} \vec{X}L)$

$$\begin{aligned} \rho \vec{\Gamma}L &= -\vec{\nabla}P \\ P &= -\rho c^2 \text{div} \vec{X} \\ \ddot{\vec{X}}S \cdot \vec{n} &= \ddot{\vec{X}}L \cdot \vec{n} \text{ (interface)} \end{aligned}$$



Résolution numérique « déplacement structure » et « pression fluide »

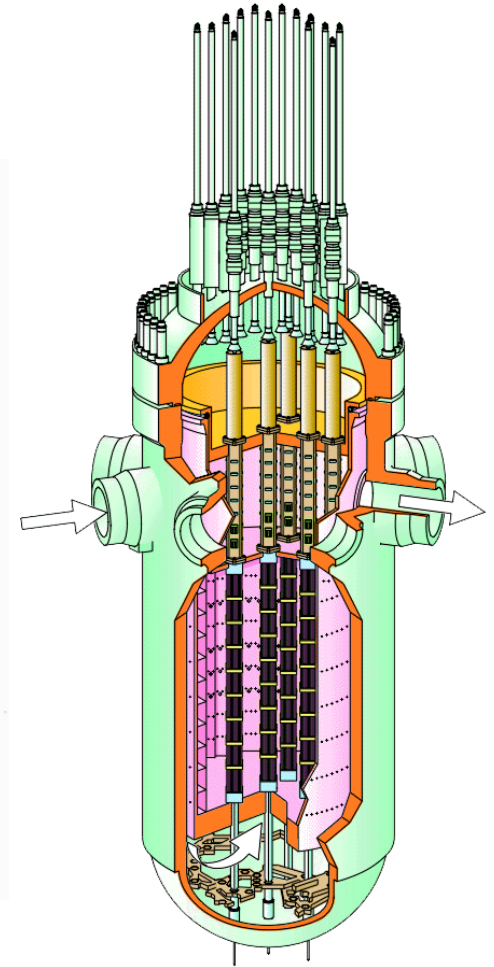
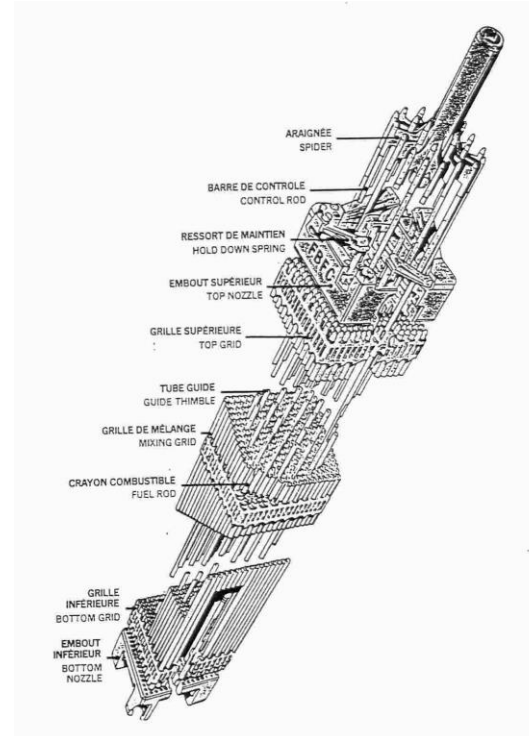
$$\begin{bmatrix} MS & 0 & C \\ 0 & 0 & MF \\ C^t & MF & KF \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{X} \\ \ddot{P} \\ \ddot{\phi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} KS & 0 & 0 \\ 0 & MF & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ P \\ \phi \end{bmatrix} = 0$$

$$\left| MF(de \ddot{P}) \right| / \left| KF(de \Delta P) \right| = L^2 / c^2$$

$$C (de \ddot{\vec{X}}S \cdot \vec{n} = \ddot{\vec{X}}L \cdot \vec{n})$$

Résolution numérique « fluide »
 (« code de thermique » T=P)
 Résolution numérique « fluide structure » (en déplacement)

Interaction Fluide Structure dans un faisceau de tubes (effets inertiels)



**Géométrie complexe,
Nécessité d'un modèle IFS prenant en compte les couplages entre les tubes
Structures « répétitives »: homogénéisation**

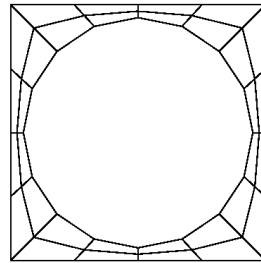
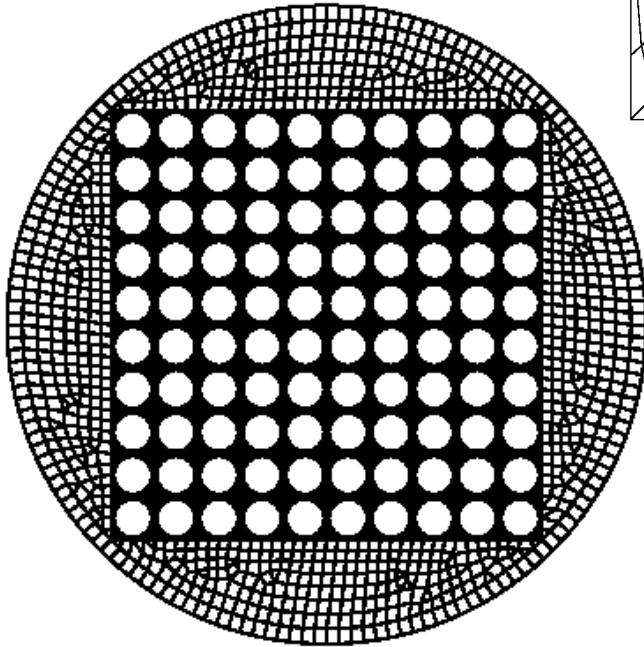
Faisceau de 10 tubes : Maillage 2D



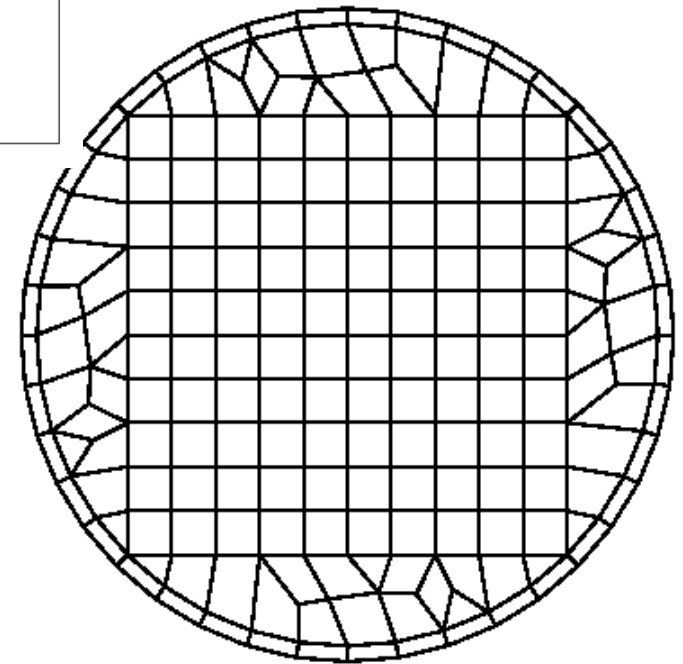
Maillage global

Cellule élémentaire

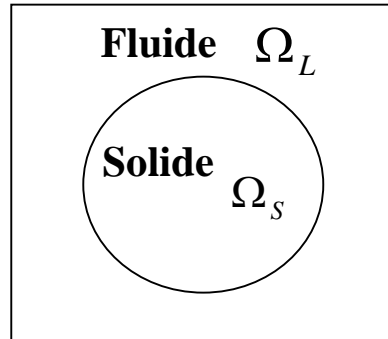
prise en compte
explicite du fluide



prise en compte
homogénéisée



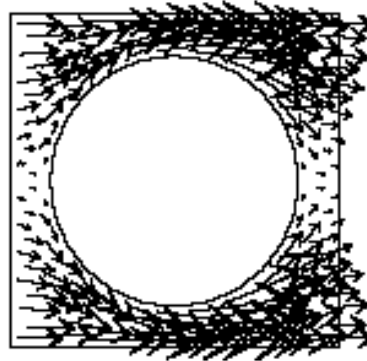
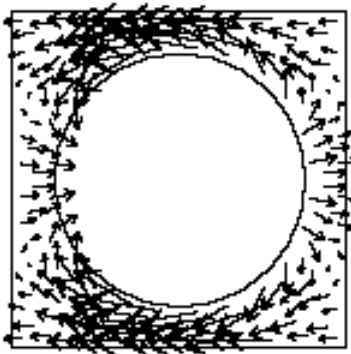
Effets inertiels pour un faisceau de tubes: homogénéisation



Volume total
 $\Omega_T = \Omega_L + \Omega_S$
Masse d'eau déplacée :
 $\rho_L \Omega_S$

Les équations du mouvement du fluide sont résolues sur la partie fluide, avec les conditions de continuité à l'interface avec le solide, et des conditions de répétitivité sur les frontières latérales

accélération hydraulique « de Darcy » \ddot{X}_L
 Transitant à l'interface entre 2 cellules



La force exercée par le fluide sur le solide est :

$$F = -m_a \ddot{X}_S + m_d \vec{U} \ddot{x}_a + (m_a + m_d) \ddot{X}_L$$

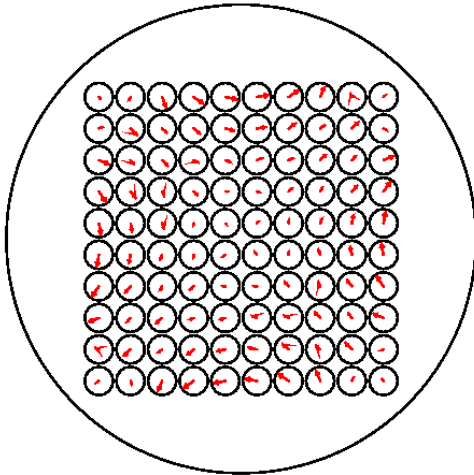
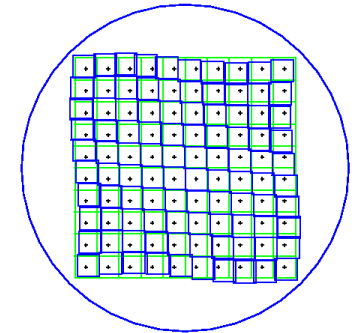
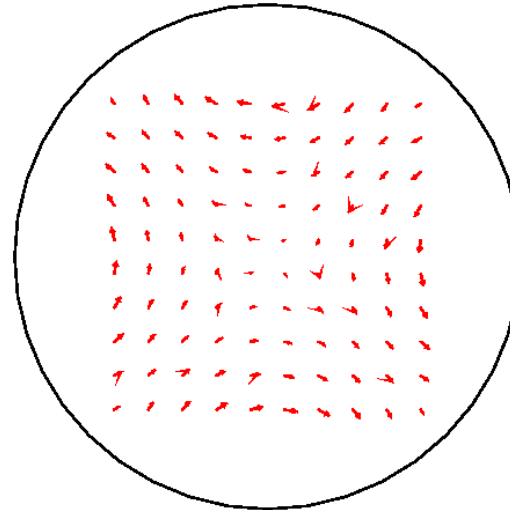
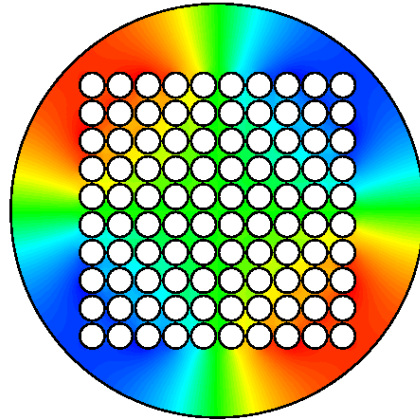
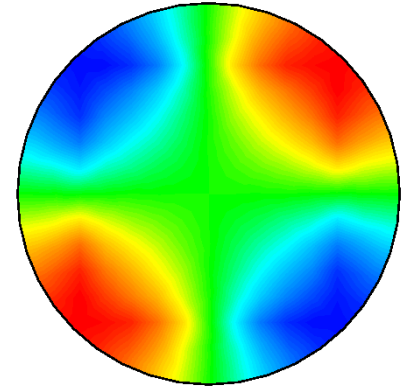
\ddot{x}_a séisme \ddot{X}_S \ddot{X}_L relatives \vec{U} direction

Champ d'accélération du fluide Γ_1
 Accélération solide : 1
 Accélération fluide : 0

Champ d'accélération du fluide Γ_2
 Accélération solide : 0
 Accélération fluide : 1

Le champ d'accélération total est :
 $\ddot{X}_L = \Gamma_1 \ddot{X}_S + \Gamma_2 \ddot{X}_L$

Faisceau de 10 * 10 tubes: modes avec mouvement global de fluide



0.69751 Hz

0.69732 Hz

$$\rho \vec{\Gamma} L = -\vec{\nabla} P$$

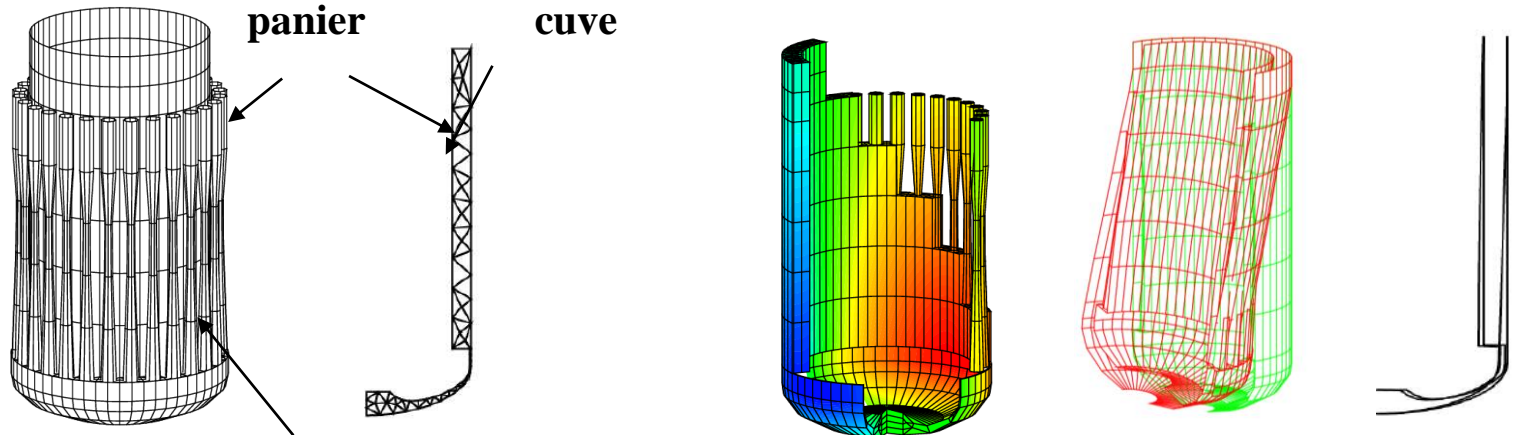
$$\rho \vec{\Gamma} L = -(1 - J) \vec{\nabla} P + J \vec{\Gamma} S$$

Calculs 2D « directs »

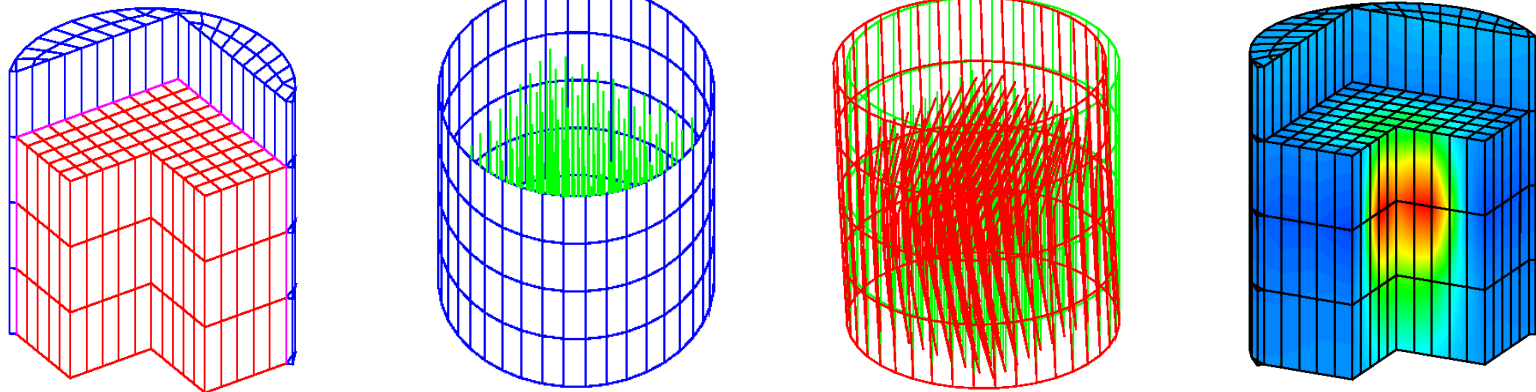
Calculs 2D « homogénéisés »

Homogénéisation pour des faisceaux de tubes

Comportement de 2 cuves concentriques



injecteurs



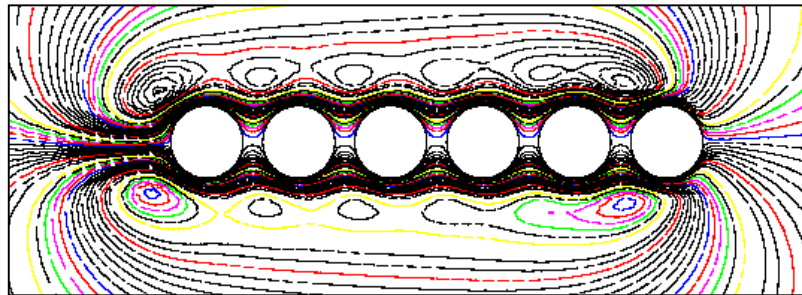
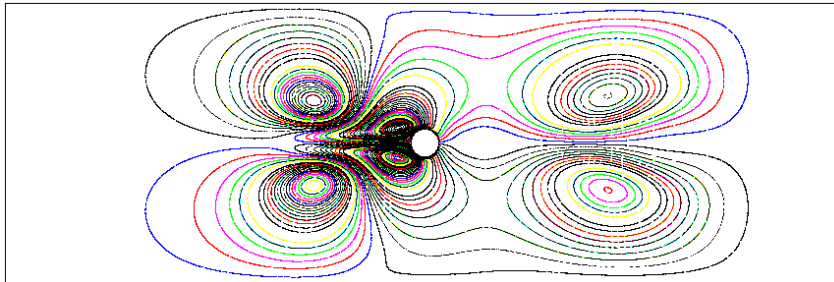
Homogénéisation pour un faisceau de tubes dans une cuve

Travail de fond:

Vibration d'un faisceau de tubes dans un fluide

Résolution des équations de Navier Stokes:

Effets inertiels, Effets dissipatifs



Modèle global Interaction Fluide Structure pour un faisceau de tubes