Homogénéisation de la vibration de faisceau de tubes en présence de fluide

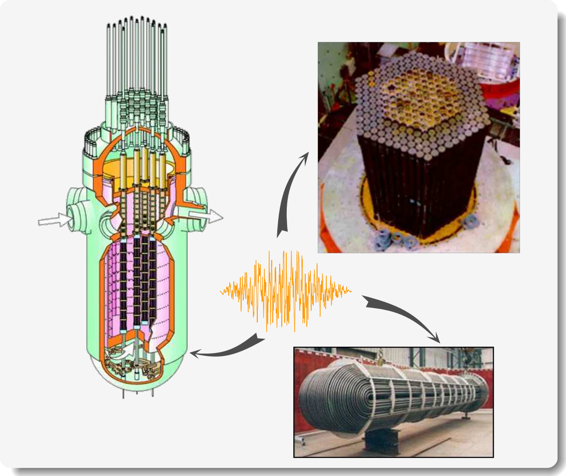
Quentin DESBONNETS

CEA/DEN/DANS/DM2S/SEMT/EMSI

Daniel BROC - Olivier LE MAITRE

quentin.desbonnets@cea.fr

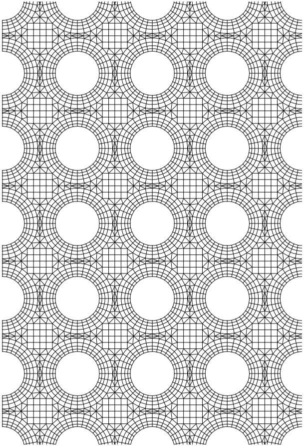
24/11/2011



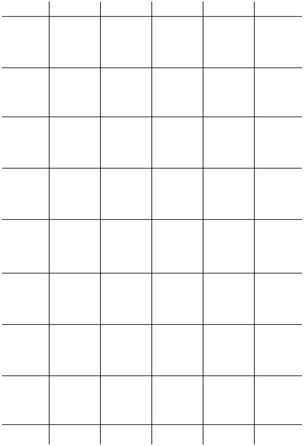
Réacteur à eau pressurisée

- $\simeq 200$ assemblages combustibles,
- $264 + 25$ tubes par assemblages,

- Vibration de faisceau de tubes plongés dans du fluide sous sollicitation externe,
- Focalisation sur les mouvements d'ensembles,
- Géométrie complexe,
- Temps et tailles de calculs importants,
- Développement de modèles homogénéisés.



- Vibration de faisceau de tubes plongés dans du fluide sous sollicitation externe,
- Focalisation sur les mouvements d'ensembles,
- Géométrie complexe,
- Temps et tailles de calculs importants,
- Développement de modèles homogénéisés.



- Modèle pré-existant basé sur les équations d'Euler pour le fluide,
- Fluide au repos et petit déplacement,
- Seul les effets inertiels sont pris en compte,
- Équations de Navier-Stokes : viscosité et terme d'accélération convective,
- Analyse des forces fluides exercées sur un faisceau de tubes,
- Développement d'un modèle homogénéisé basé sur les équations de Navier-Stokes.

- Modèle pré-existant basé sur les équations d'Euler pour le fluide,
- Fluide au repos et petit déplacement,
- Seul les effets inertiels sont pris en compte,
- Équations de Navier-Stokes : viscosité et terme d'accélération convective,
- Analyse des forces fluides exercées sur un faisceau de tubes,
- Développement d'un modèle homogénéisé basé sur les équations de Navier-Stokes.

- Modèle pré-existant basé sur les équations d'Euler pour le fluide,
- Fluide au repos et petit déplacement,
- Seul les effets inertiels sont pris en compte,
- Équations de Navier-Stokes : viscosité et terme d'accélération convective,
- Analyse des forces fluides exercées sur un faisceau de tubes,
- Développement d'un modèle homogénéisé basé sur les équations de Navier-Stokes.

1 Introduction

2 Analyse des forces fluides exercées sur un faisceau oscillant

3 Construction du modèle homogénéisé basé sur les équations de Navier-Stokes

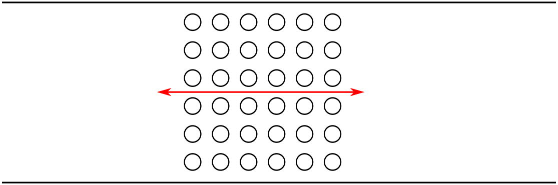
4 Validations et applications

5 Conclusions et perspectives

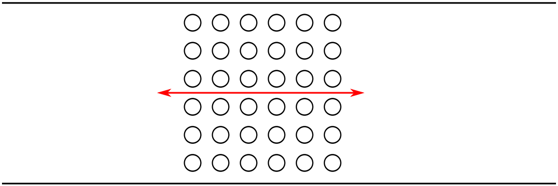
1. Introduction
2. Analyse des forces fluides exercées sur un faisceau oscillant
3. Construction du modèle homogénéisé basé sur les équations de Navier-Stokes
4. Validations et applications
5. Conclusions et perspectives

1. Introduction
2. Analyse des forces fluides exercées sur un faisceau oscillant
3. Construction du modèle homogénéisé basé sur les équations de Navier-Stokes
4. Validations et applications
5. Conclusions et perspectives

1. Introduction
2. Analyse des forces fluides exercées sur un faisceau oscillant
3. Construction du modèle homogénéisé basé sur les équations de Navier-Stokes
4. Validations et applications
5. Conclusions et perspectives



$$
\left\{
\begin{array}{rcllc}
\nabla \cdot (v) & = & 0 & in & \Omega_f \\
\dfrac{1}{Kc}\dfrac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \nabla v & = & -\nabla p + \dfrac{1}{Re}\Delta v & in & \Omega_f \\
v = v_{cyl} & = & sin\left(2\pi t\right) \cdot \vec{e_x} & on & \Gamma_{1 \ldots N} \\
v & = & 0 & on & \Gamma_{g,d} \\
v \cdot \vec{n} = 0 & and & \vec{\tau} \cdot \underline{\underline{\sigma}} \cdot \vec{n} = 0 & on & \Gamma_{h,b}
\end{array}
\right.
$$

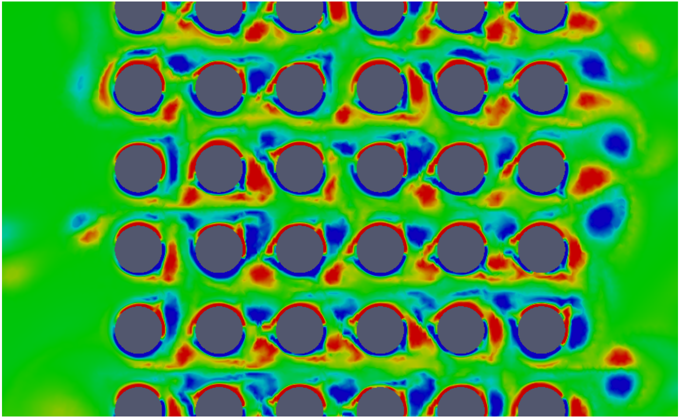


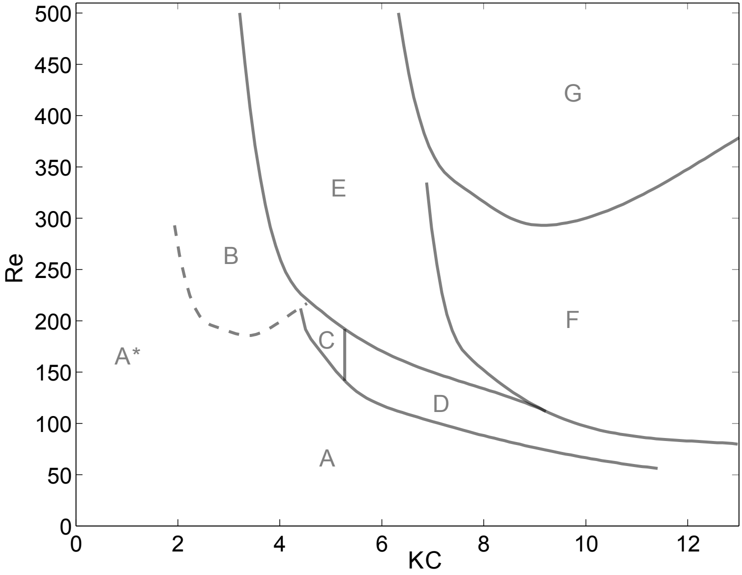
$$Kc = \frac{VT}{d}$$

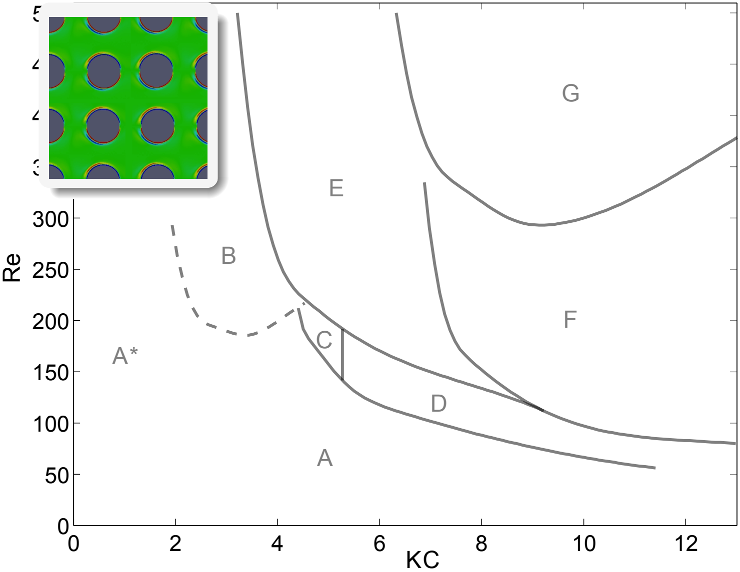
$$Re = \frac{Vd}{\nu}$$

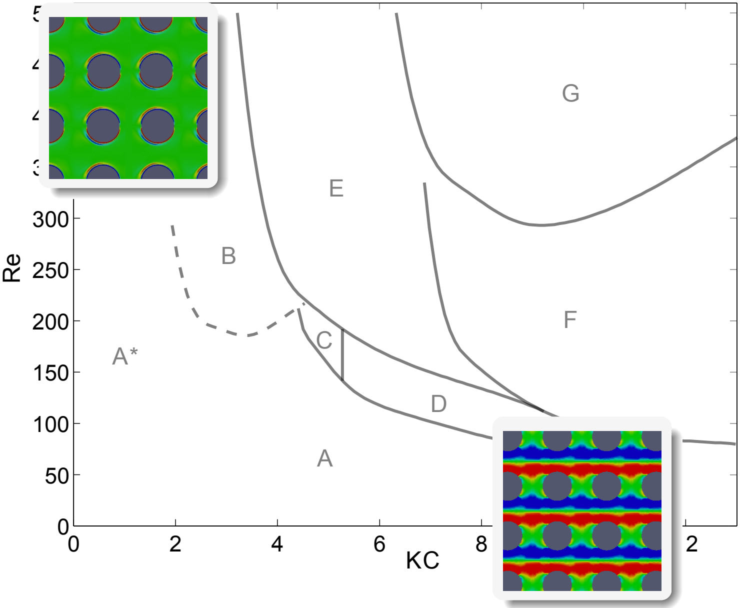
$$\begin{cases} \nabla \cdot (v) & = & 0 & in & \Omega_f \\ \frac{1}{Kc}\frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \nabla v & = & -\nabla p + \frac{1}{Re}\Delta v & in & \Omega_f \\ v = v_{cyl} & = & sin\,(2\pi t) \cdot \vec{e_x} & on & \Gamma_{1\ldots N} \\ v & = & 0 & on & \Gamma_{g,d} \\ v \cdot \vec{n} = 0 & and & \vec{\tau} \cdot \underline{\underline{\sigma}} \cdot \vec{n} = 0 & on & \Gamma_{h,b} \end{cases}$$

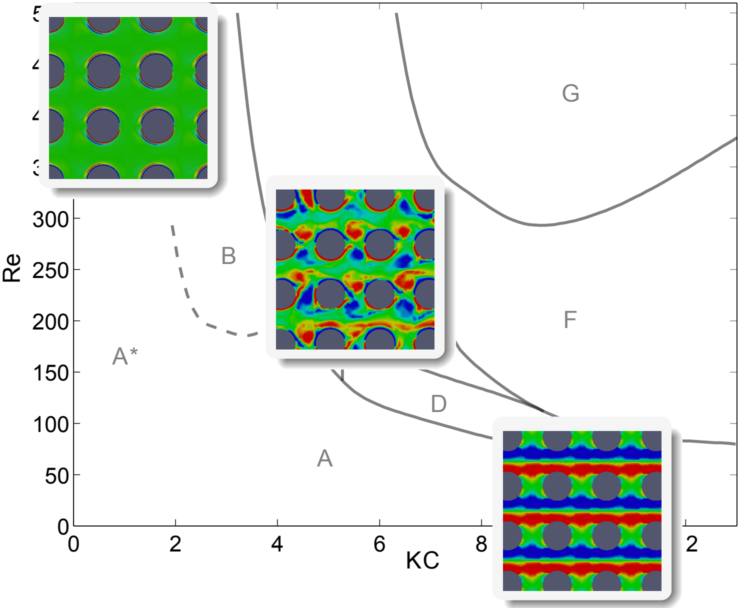
écoulement fluide autour du faisceau oscillant pour Kc = 5 et Re = 250

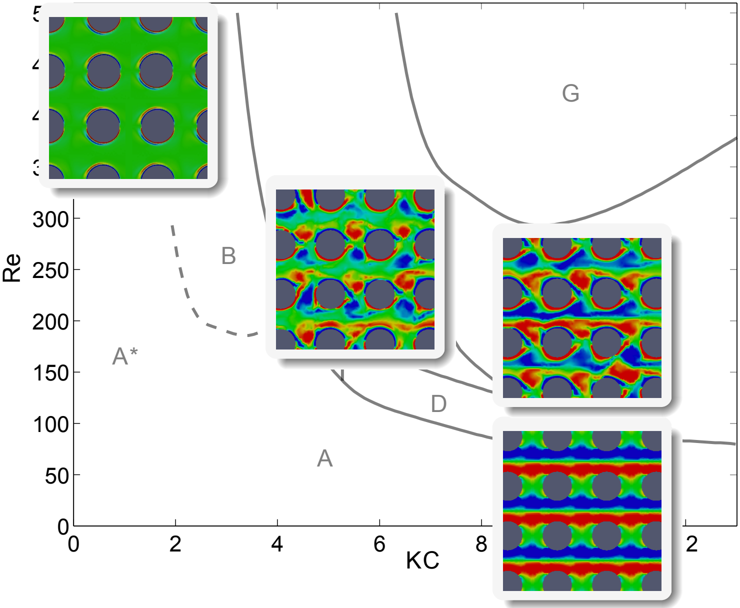


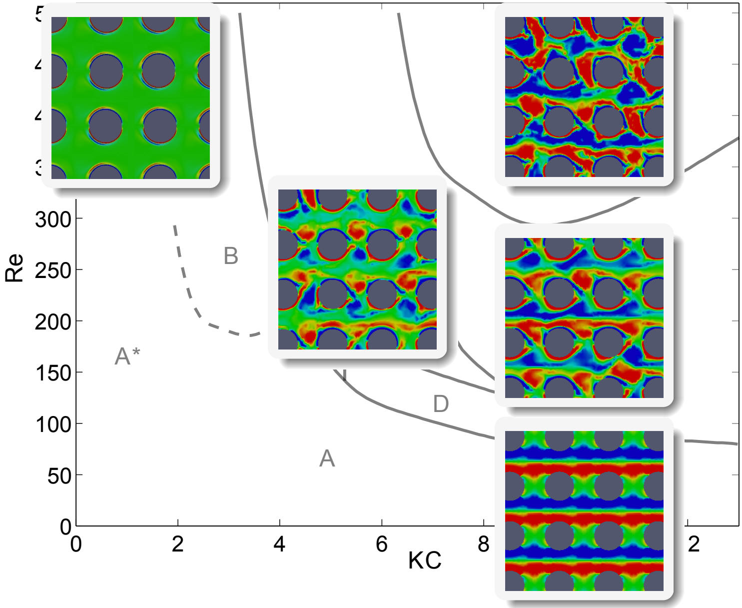

500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
0
2
4
6
8
10
12
Re
KC
A*
A
B
C
D
E
F
G

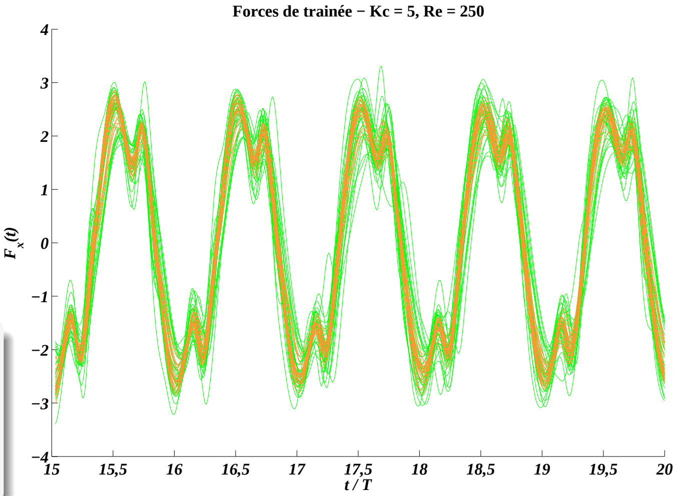

Re
KC
0
50
100
150
200
250
300
0
2
4
6
8
10
12
A*
A
B
C
D
E
F
G

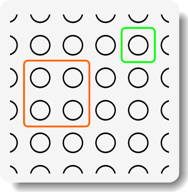

Re
300
250
200
150
100
50
0
0
2
4
6
8
KC
A*
A
B
C
D
E
F
G


Re
300
250
200
150
100
50
0
0
2
4
6
8
2
KC
G
B
F
A*
D
A

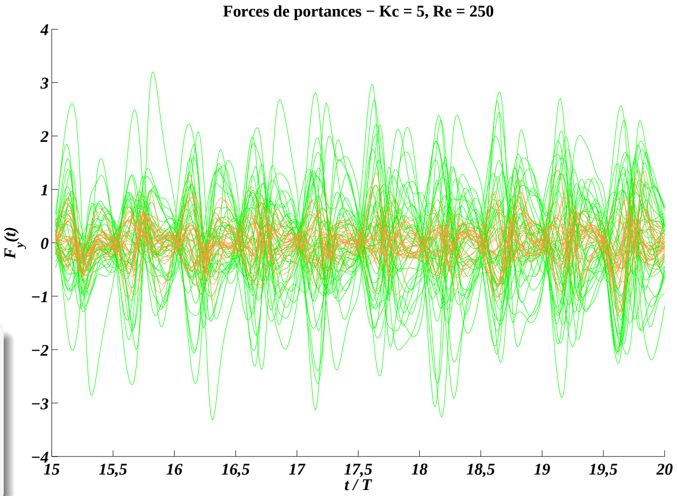

Re
KC
0
50
100
150
200
250
300
0
2
4
6
8
2
A*
A
B
D
G

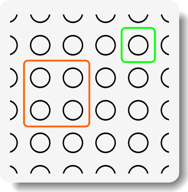

Re
300
250
200
150
100
50
0
0
2
4
6
8
2
KC
B
A*
D
A


Forces de trainée − Kc = 5, Re = 250
$F_x(t)$
t / T
4
3
2
1
0
−1
−2
−3
−4
15
15,5
16
16,5
17
17,5
18
18,5
19
19,5
20



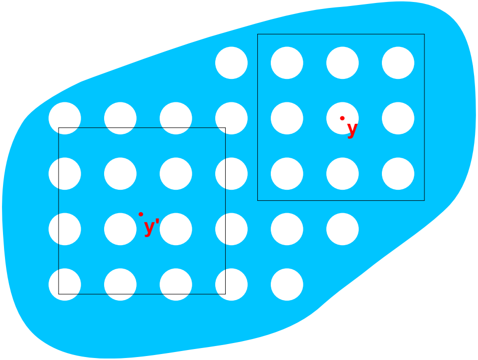
forces fluides diverses selon la configuration

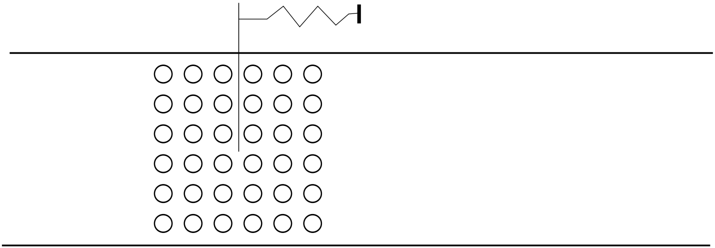




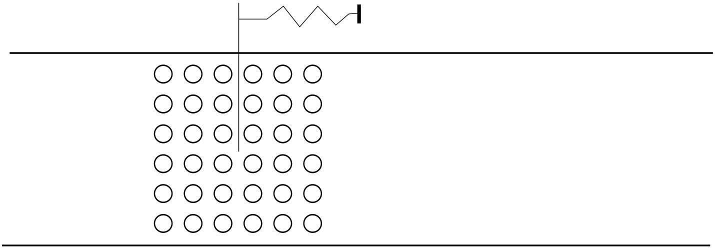
- On définit une vitesse globale sur un volume approprié

$$v_H(y) = \frac{1}{\Omega}\int_{\Omega_f} v d\Omega + \eta \dot{u}$$





$$
\begin{cases}
\nabla \cdot v = 0 \\
\dfrac{1}{Kc}\dfrac{\partial v}{\partial t} + \nabla \cdot (v \otimes v) = -\nabla p + \dfrac{1}{Re}\Delta v \\
\ddot{u} + \omega^2 T^2 u = \dfrac{\mathcal{M} Kc}{\Omega_s} F_{f \to s}
\end{cases}
$$



$$
\left\{
\begin{array}{l}
\nabla \cdot v = 0 \\[2ex]
\dfrac{1}{Kc}\dfrac{\partial v}{\partial t} + \nabla \cdot (v \otimes v) = -\nabla p + \dfrac{1}{Re}\Delta v \\[2ex]
\ddot{u} + \omega^2 T^2 u = \dfrac{\mathcal{M} Kc}{\Omega_s} F_{f \to s}
\end{array}
\right.
$$

où $\mathcal{M} = \dfrac{\rho \pi d^2}{4m}$

- intégration de l'équation de quantité de mouvement

$$\frac{1}{\Omega}\int_{\Omega_f}\frac{1}{Kc}\frac{\partial v}{\partial t}\,d\Omega+\frac{1}{\Omega}\int_{\Omega_f}(v\cdot\nabla v)\,d\Omega= -\frac{1}{\Omega}\int_{\Omega_f}\nabla p\,d\Omega + \frac{1}{\Omega}\int_{\Omega_f}\frac{1}{Re}\Delta v\,d\Omega$$

- terme d'accélération

energie atomique • energies alternatives

$$\frac{1}{\Omega}\int_{\Omega_f}\frac{1}{Kc}\frac{\partial v}{\partial t}\,d\Omega + \frac{1}{\Omega}\int_{\Omega_f}(v\cdot\nabla v)\,d\Omega = -\frac{1}{\Omega}\int_{\Omega_f}\nabla p\,d\Omega + \frac{1}{\Omega}\int_{\Omega_f}\frac{1}{Re}\Delta v\,d\Omega$$

$$\frac{1}{\Omega}\int_{\Omega_f}\frac{1}{Kc}\frac{\partial v}{\partial t}\,d\Omega = \frac{1}{\Omega}\int_{\Omega_f}\frac{1}{Kc}\frac{\partial v}{\partial t}\,d\Omega + \frac{\eta}{Kc}\ddot{u} - \frac{\eta}{Kc}\ddot{u} = \frac{dv_H}{dt} - \frac{\eta}{Kc}\ddot{u}$$

- terme d'accélération convective

$$\frac{1}{\Omega}\int_{\Omega_f}\frac{1}{Kc}\frac{\partial v}{\partial t}\,d\Omega + \frac{1}{\Omega}\int_{\Omega_f}(v\cdot\nabla v)\,d\Omega = -\frac{1}{\Omega}\int_{\Omega_f}\nabla p\,d\Omega + \frac{1}{\Omega}\int_{\Omega_f}\frac{1}{Re}\Delta v\,d\Omega$$

$$\int_{\Omega_f}\nabla\cdot(v\otimes v) = \int_{\Gamma_f} v(v\cdot\vec{n})\,d\Gamma = \Omega v_H\cdot\nabla v_H + \nabla\cdot\tau$$

$$\nabla\cdot\tau = (\int_{\Gamma_f} v(v\cdot\vec{n})\,d\Gamma - \Omega v_H\cdot\nabla v_H)$$

- terme de viscosité

$$\frac{1}{\Omega}\int_{\Omega_f}\frac{1}{Kc}\frac{\partial v}{\partial t}\,d\Omega+\frac{1}{\Omega}\int_{\Omega_f}(v\cdot\nabla v)\,d\Omega=-\frac{1}{\Omega}\int_{\Omega_f}\nabla p\,d\Omega$$
$$+\frac{1}{\Omega}\int_{\Omega_f}\frac{1}{Re}\Delta v\,d\Omega$$

$$\begin{aligned}\frac{1}{\Omega}\int_{\Omega_f}\Delta v\,d\Omega&=\frac{1}{\Omega}\int_{\Omega}\Delta v\,d\Omega+\frac{1}{\Omega}\int_{\Gamma_f^{int}}\left(\nabla v+{}^t\nabla v\right)\cdot\vec{n}\,d\Omega\\&=\Delta v_H+\frac{1}{\Omega}\int_{\Gamma_f^{int}}\left(\nabla v+{}^t\nabla v\right)\cdot\vec{n}\,d\Omega\end{aligned}$$

energie atomique • energies alternatives

- terme de pression

$$\frac{1}{\Omega}\int_{\Omega_f}\frac{1}{Kc}\frac{\partial v}{\partial t}\,d\Omega+\frac{1}{\Omega}\int_{\Omega_f}(v\cdot\nabla v)\,d\Omega=-\frac{1}{\Omega}\int_{\Omega_f}\nabla p\,d\Omega+\frac{1}{\Omega}\int_{\Omega_f}\frac{1}{Re}\Delta v\,d\Omega$$

$$\frac{1}{\Omega}\int_{\Omega_f}\nabla p\,d\Omega=\frac{1}{\Omega}\int_{\Gamma_f^{ext}}p\cdot\vec{n}\,d\Gamma+\frac{1}{\Omega}\int_{\Gamma_f^{int}}p\cdot\vec{n}\,d\Gamma$$

- Équation de quantité de mouvement intégrée

$$\frac{1}{Kc}\frac{dv_H}{dt} + \nabla \cdot (v_H \otimes v_H) = -\frac{1}{\Omega}\int_{\Gamma_f^{ext}} p \, d\Gamma + dF_{f \to s} + \frac{1}{Re}\Delta v_H + \frac{\eta}{Kc}\ddot{u} - \frac{1}{\Omega}\nabla \cdot \tau$$

- Équation de quantité de mouvement intégrée

$$\frac{1}{Kc}\frac{dv_H}{dt} + \nabla \cdot (v_H \otimes v_H) = -\frac{1}{\Omega}\int_{\Gamma_f^{ext}} p\, d\Gamma + dF_{f\to s} + \frac{1}{Re}\Delta v_H + \frac{\eta}{Kc}\ddot{u} - \frac{1}{\Omega}\nabla \cdot \tau$$

- lorsque le domaine d'intégration coupe les tubes le terme de pression ne peut s'exprimer comme un gradient de pression,
- le terme $\nabla \cdot \tau$ est exprimé en fonction des variables de petite échelle.

- On introduit un système fluide défini en variable (v^*, p^*) couplé au système structure par une densité de force $f(x,t)$ dépendant de $\dfrac{dv^*}{dt}$,v^*,$\ddot{u}$ et $\dot{u}$.

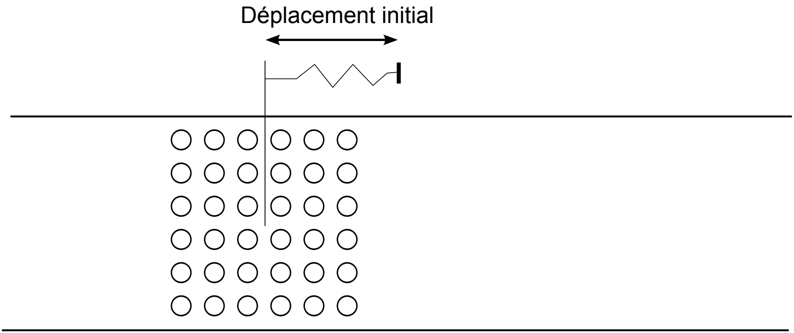
$$\begin{cases} \nabla \cdot v^* = 0 \\ \dfrac{1}{Kc}\dfrac{\partial v^*}{\partial t} + \nabla \cdot (v^* \otimes v^*) = -\nabla p^* + f_{s \to f} + \dfrac{1}{Re}\Delta v^* + \dfrac{\eta}{Kc}\ddot{u} \\ \ddot{u} + \omega^2 T^2 u = \dfrac{\mathcal{M}Kc}{\Omega_s} F_{f \to s} = \dfrac{\mathcal{M}Kc}{\eta} f_{f \to s} \end{cases}$$

- On introduit un système fluide défini en variable (v^*, p^*) couplé au système structure par une densité de force $f(x,t)$ dépendant de $\frac{dv^*}{dt}$,v^*,$\ddot{u}$ et $\dot{u}$.

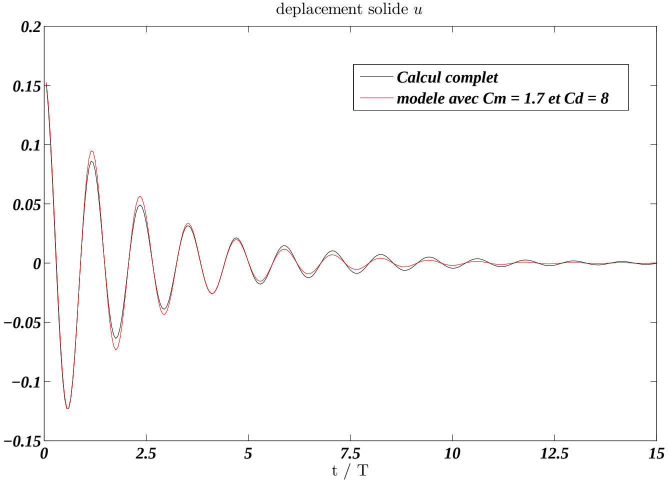
$$\left\{\begin{array}{l} \nabla \cdot v^* = 0 \\ \\ \frac{1}{Kc}\frac{\partial v^*}{\partial t} + \nabla \cdot (v^* \otimes v^*) = -\nabla p^* + f_{s \to f} + \frac{1}{Re}\Delta v^* + \frac{\eta}{Kc}\ddot{u} \\ \\ \ddot{u} + \omega^2 T^2 u = \frac{\mathcal{M}Kc}{\Omega_s} F_{f \to s} = \frac{\mathcal{M}Kc}{\eta} f_{f \to s} \end{array}\right.$$

avec $f_{f \to s} = -\frac{c_m \eta}{Kc}\ddot{u} + \frac{(c_m+1)\eta}{Kc}\frac{\partial v^*}{\partial t} - \frac{c_d}{2\Omega}(\dot{u} - v^*)$

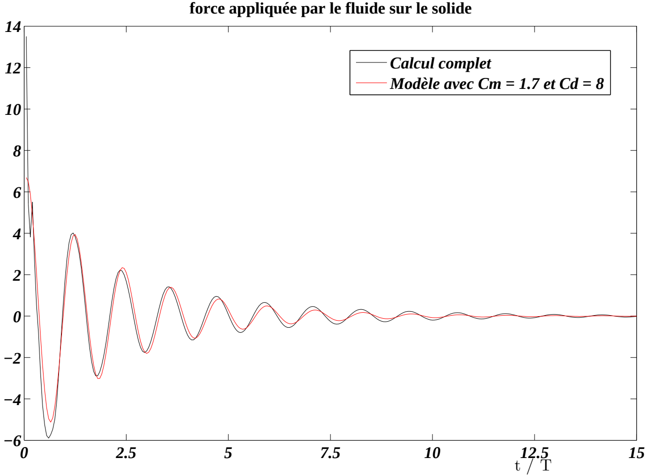
- Essai de lâcher d'un faisceau confiné



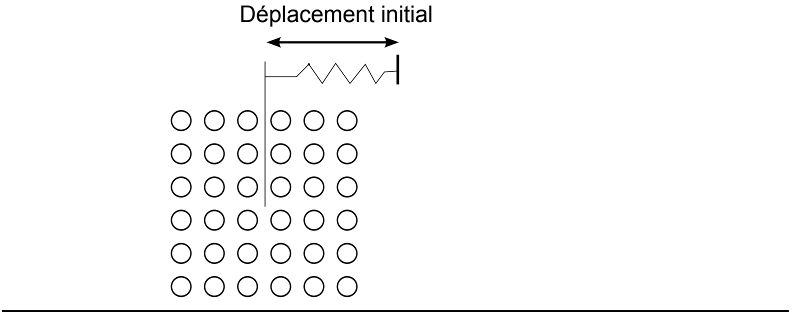
- Essai de lâcher confiné, déplacement initial de $\dfrac{1}{2\pi}$



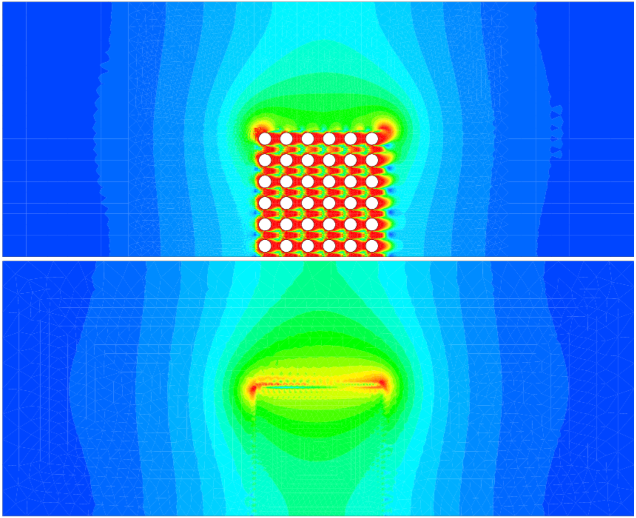
- Essai de lâcher confiné, déplacement initial de $\frac{1}{2\pi}$



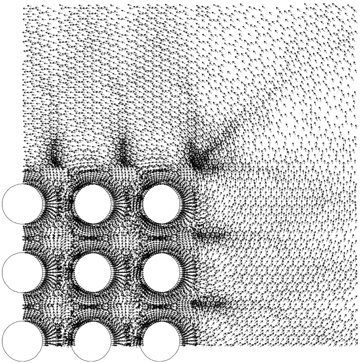
- Essai de lâcher d'un faisceau avec bord libre

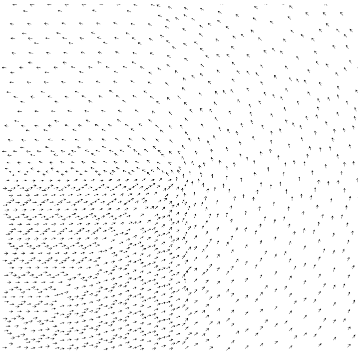


- Essai de lâcher semi-confiné, déplacement initial de $\frac{1}{2\pi}$

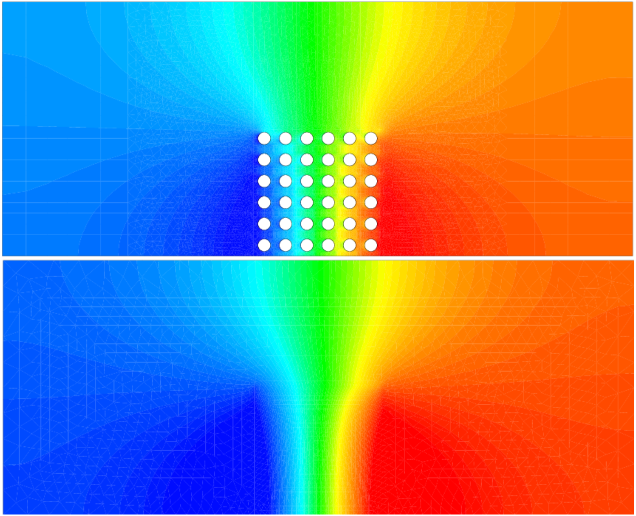


- Essai de lâcher semi-confiné, déplacement initial de $\frac{1}{2\pi}$





- Essai de lâcher semi-confiné, déplacement initial de $\dfrac{1}{2\pi}$



- Analyse des forces fluides exercées sur un faisceau 6x6 oscillant dans du fluide pour différentes configurations de Kc et Re,
- Identification des mécanismes permettant d'homogénéiser,
- Proposition d'un modèle homogénéisé,
- Début de validation (lâcher à faible déplacement initial, en confiné et semi-confiné),

- Analyse des forces fluides exercées sur un faisceau 6x6 oscillant dans du fluide pour différentes configurations de Kc et Re,
- Identification des mécanismes permettant d'homogénéiser,
- Proposition d'un modèle homogénéisé,
- Début de validation (lâcher à faible déplacement initial, en confiné et semi-confiné),

energie atomique • energies alternatives

- Analyse des forces fluides exercées sur un faisceau 6x6 oscillant dans du fluide pour différentes configurations de Kc et Re ,
- Identification des mécanismes permettant d'homogénéiser,
- Proposition d'un modèle homogénéisé,
- Début de validation (lâcher à faible déplacement initial, en confiné et semi-confiné),

energie atomique • energies alternatives

- Analyse des forces fluides exercées sur un faisceau 6x6 oscillant dans du fluide pour différentes configurations de Kc et Re ,
- Identification des mécanismes permettant d'homogénéiser,
- Proposition d'un modèle homogénéisé,
- Début de validation (lâcher à faible déplacement initial, en confiné et semi-confiné),

energie atomique • energies alternatives

- Analyse des forces fluides exercées sur un faisceau 6x6 oscillant dans du fluide pour différentes configurations de Kc et Re,
- Identification des mécanismes permettant d'homogénéiser,
- Proposition d'un modèle homogénéisé,
- Début de validation (lâcher à faible déplacement initial, en confiné et semi-confiné),

- Validation du modèle pour d'autres configurations (lâcher à déplacement initial important, sollicitation externe du faisceau).

Merci de votre attention