

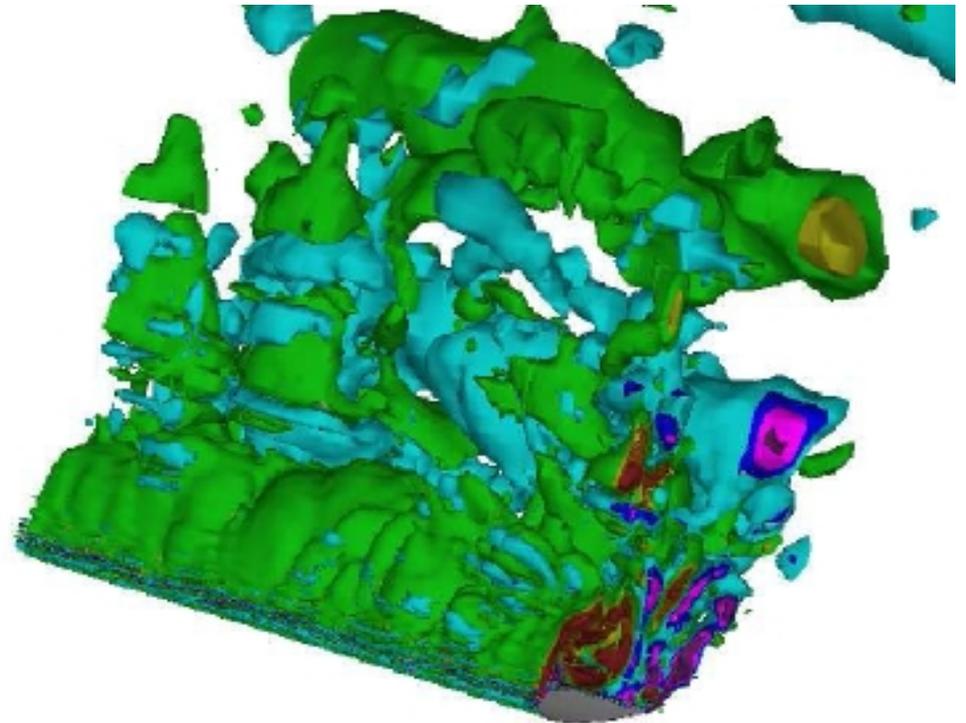
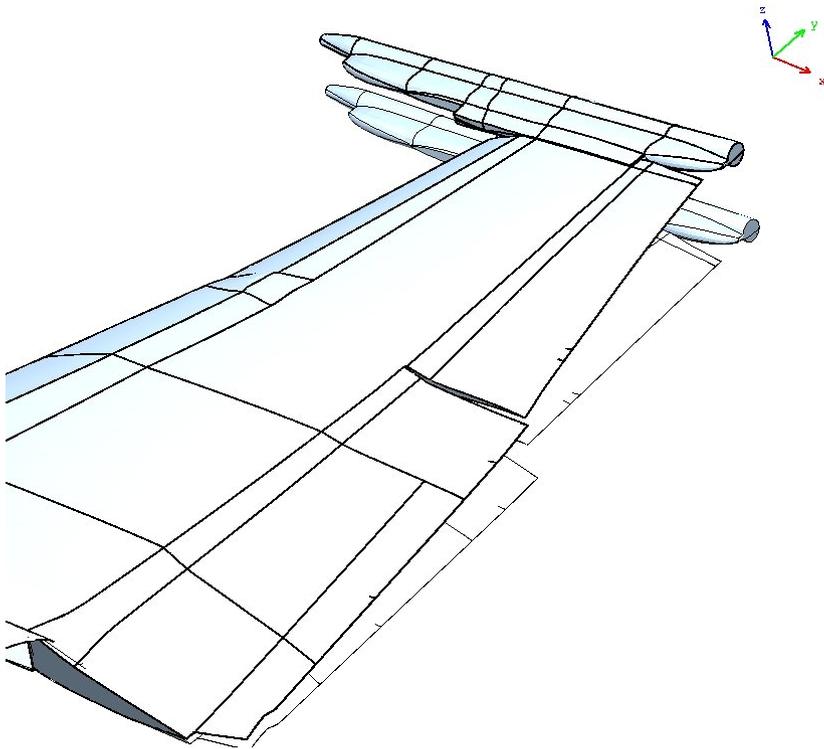
Réunion ECINADS

Contribution de l'IMFT



- Unité mixte 5502 CNRS-INP
- 200 membres (100 permanents)
- Groupe de recherche EMT2
Thématique: Interaction Fluide-
Structure Sous Turbulence
- 5 permanents, 3 doctorants, 2
post-doctorants + stagiaires

- Prédiction d'écoulements fortement détachés autour d'obstacles à Reynolds élevés
- Développer des approches efficaces, robustes
- Maillages raisonnables



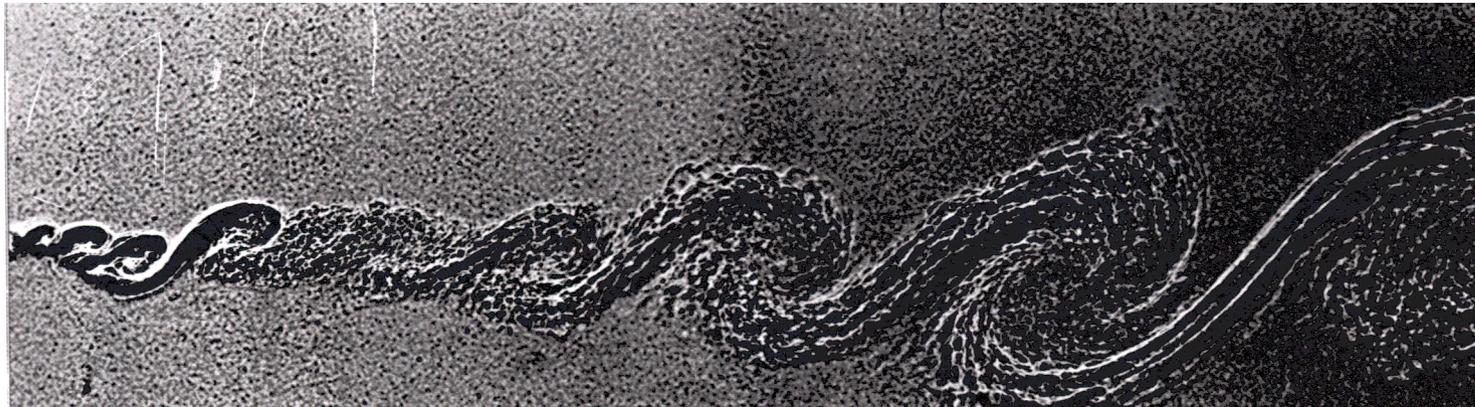
Macro-simulation de la turbulence

Les mouvements turbulents en aérodynamique instationnaire et interaction Fluide-Structure font intervenir:

- des modes organisés (**mouvement cohérent**)
- **mouvement chaotique**

Les fréquences distinctes (nombres d'onde) de ces deux types de mouvements (organisé et chaotique)

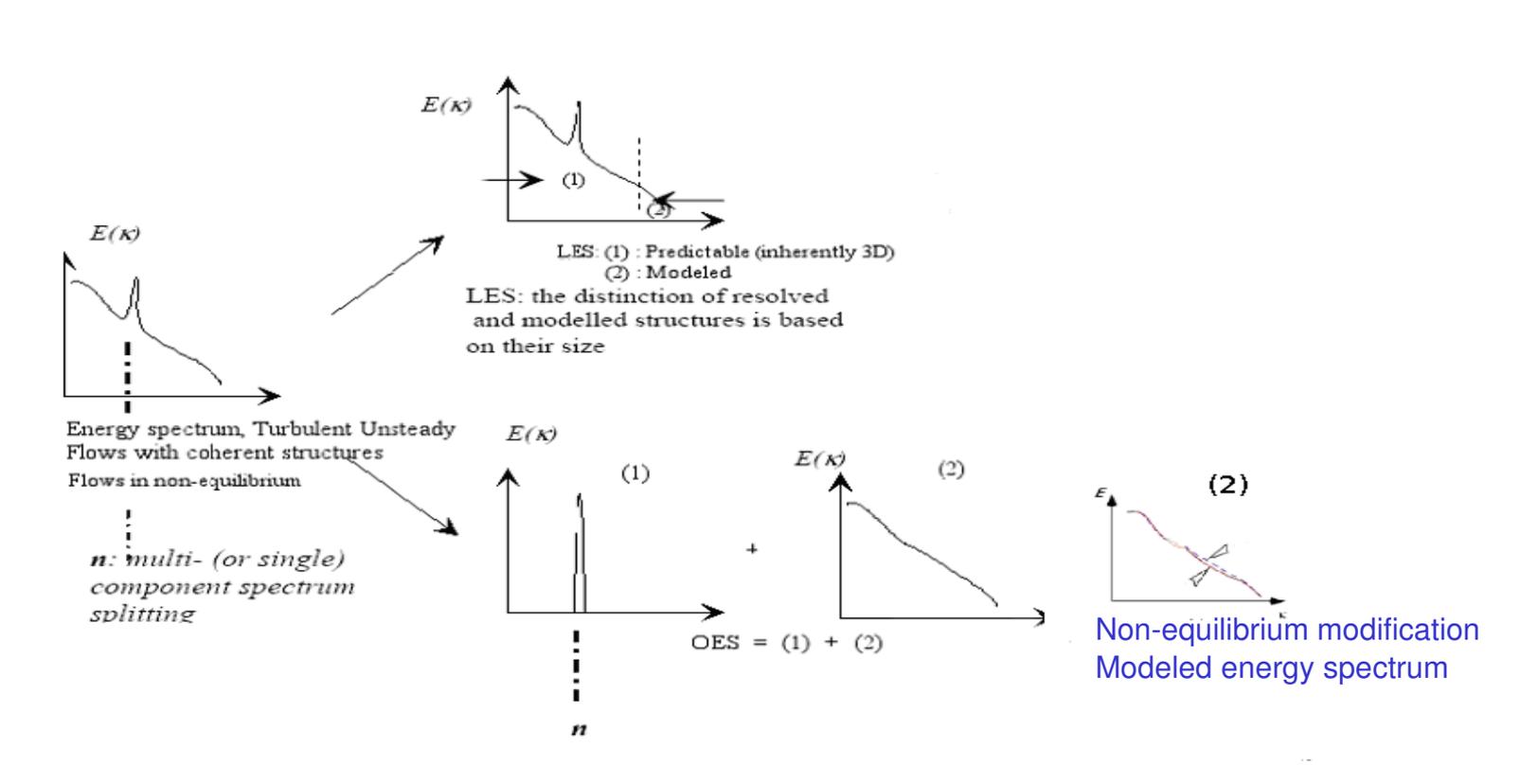
modes organisés: fréquence basse ou modérée du spectre



Organised Eddy Simulation

Séparation du spectre d'énergie:

Distinction entre les structures à résoudre et à modéliser **basée sur leur caractère cohérent**



Dervieux, Braza, Dussauge, Notes on Num. Fluid. Mech. 1998, Hoarau, Braza, IUTAM Symp. Toulouse 2002
 Braza, 2002, 2006, Notes on Num. Fluid Mech. vol. 81, vol. 94, Braza, Perrin, Hoarau, J. Fluids Struct. 2006

Approche OES

Utilisée dans plusieurs programmes européens pour l'aéronautique:

- **FLOMANIA : Flow Physics Modelling – an integrated approach**
- **DESIDER : Detached Eddy Simulation for industrial aerodynamics**
- **UFAST : Unsteady Effects in shock-wave induced separation**

Utilisée par différents instituts de recherche européens:

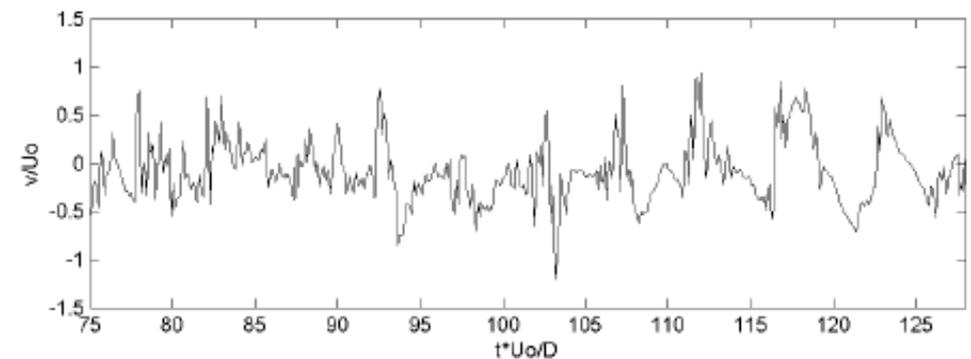
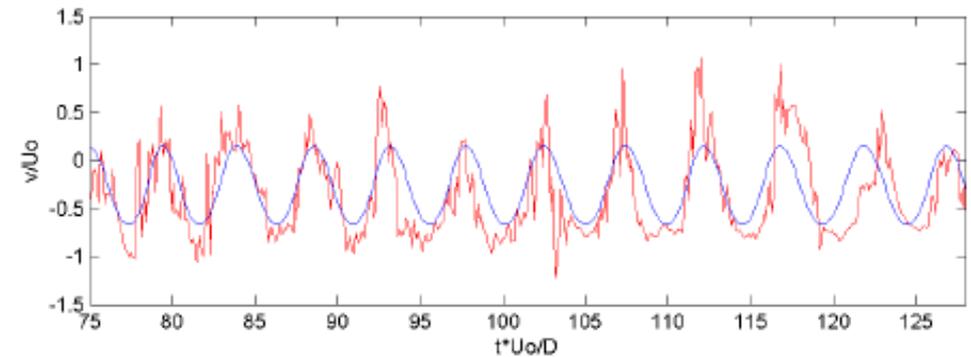
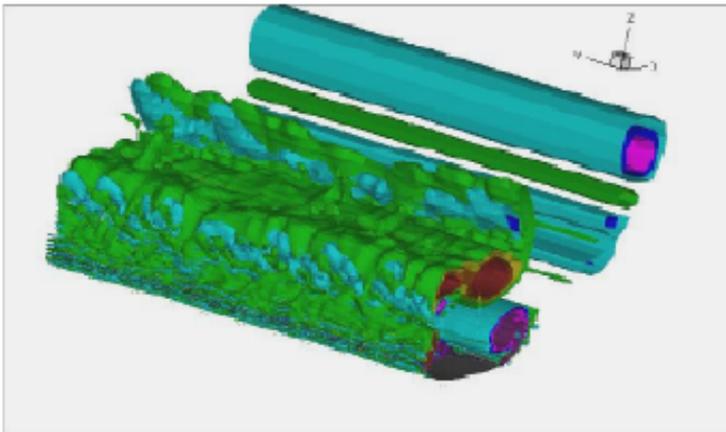
INRIA, Tech. Univ. Berlin, Tech. Univ. München, ONERA, EDF, CEA

Fournit de meilleures prédictions dans les régions proche parois, approche robuste, utilisation de maillages économiques (comparés à la LES)

Signaux PIV (résolus en temps)

Decomposition :

$$U = \langle U \rangle_{\text{coherent}} + u_{\text{fluctuations}}$$



Signal de vitesse (time-dependant)

Moyenne de phase

Fluctuations

Équations de Navier-Stokes avec Moyenne de Phase

$$U_i(x, t) = \langle U_i(x, t) \rangle + u_i$$

Phase-averaged properties :

$$\langle \langle U_i(x, t) \rangle \rangle = \langle U_i(x, t) \rangle \quad \langle u_i(x, t) \rangle = 0$$

Averaged equations :

$$\frac{\partial \langle U_i \rangle}{\partial t} + \frac{\partial (\langle U_i \rangle \langle U_j \rangle)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \langle p \rangle}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 \langle U_i \rangle}{\partial x_j \partial x_j} - \frac{\partial \langle \tau_{ij} \rangle}{\partial x_j}$$

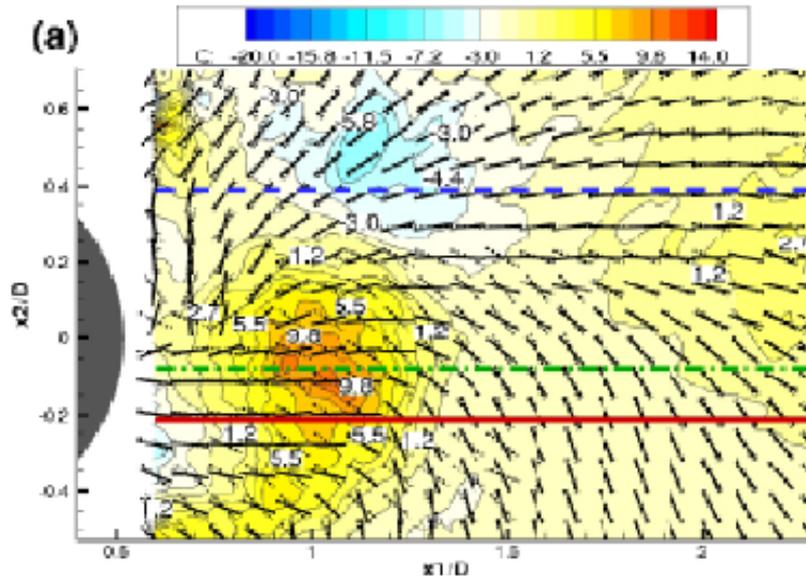
$\langle \tau_{ij} \rangle = \langle u_i u_j \rangle$ à modéliser en prenant en compte l'hypothèse de turbulence non à l'équilibre

Modélisation du 1er ordre: relation phénoménologique
(Boussinesq)

$$-\frac{\langle u_i u_j \rangle}{k} + \frac{2}{3} \delta_{ij} = \frac{\nu_t}{k} \left(\frac{\partial \langle U_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle U_j \rangle}{\partial x_i} \right) = a_{ij}$$
$$\nu_t = C_\mu \tilde{u} l$$

Isotropisation de la turbulence:

Colinéarité entre tenseur a_{ij} et tenseur du taux de déformation



Eigenvectors of :

- turbulence stress $-a$

- strain rate S with

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \langle U_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle U_j \rangle}{\partial x_i} \right)$$

Isocontours du critère Q

Désalignements significatifs dans les structures cohérentes et les zones cisillées

-> modification du concept de diffusivité turbulente pour prendre en compte les effets anisotropiques

Bourguet et al. AIAA J; 2007, J. Fluids and Struc. 2008

- Navier-Stokes Multi-Block
- Consortium entre l'EPFL, CFS Engineering, KTH, TU Zurich, TU Desden, IMFS et IMFT
- Code utilisé par AIRBUS et RUAG Aerospace

- Équations de Navier-Stokes compressibles incluant régime hypersonique- chimie
- Maillages structurés- formulation multi-blocs
- Formulation Volumes Finis
- Termes convectifs:
 - schémas centrés (avec dissipation artificielle 2nd. ou 4ème. ordre)
 - décentrés (schémas de Roe, AUSM, ENO, WENO)
- Termes diffusifs: schéma centré

- Explicite: Runge-Kutta (3 pas, 3 pas compact, hybrides ...)
- Implicite: schéma LU-SGS
- Différentes méthodes pour accélérer la convergence du calcul en stationnaire et instationnaire (implicit residual smoothing, itération multi-grille)
- Pas de temps dual pour accélérer le calcul en instationnaire

- Résolution du système linéaire dans chaque bloc
- Couplage explicite entre blocs
- LU-SGS modifié pour éviter problème lié au couplage explicite et l'utilisation d'un grand nombre de blocs
 - + taux de convergence d'un calcul mono-bloc
 - baisse de l'efficacité du calcul

Équations de Navier-Stokes compressibles et
incompressibles

Maillages structurés, formulation Volumes Finis

Termes convectifs version compressible:
schémas centrés

décentrés (schémas de Roe avec limiteur de Van Leer)

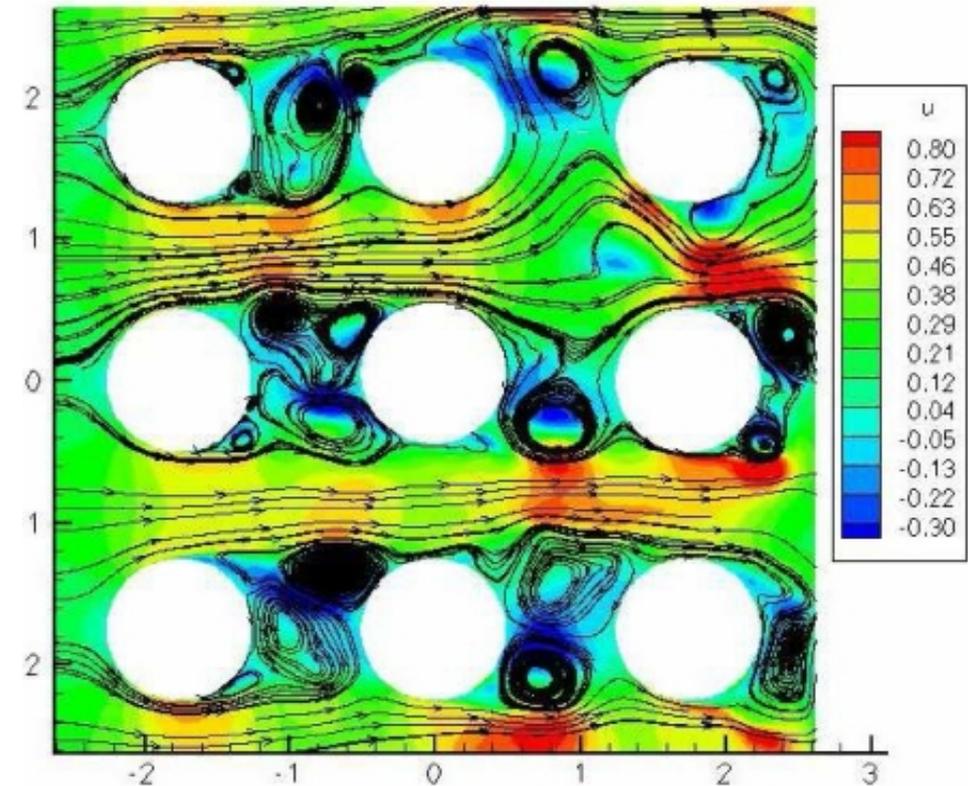
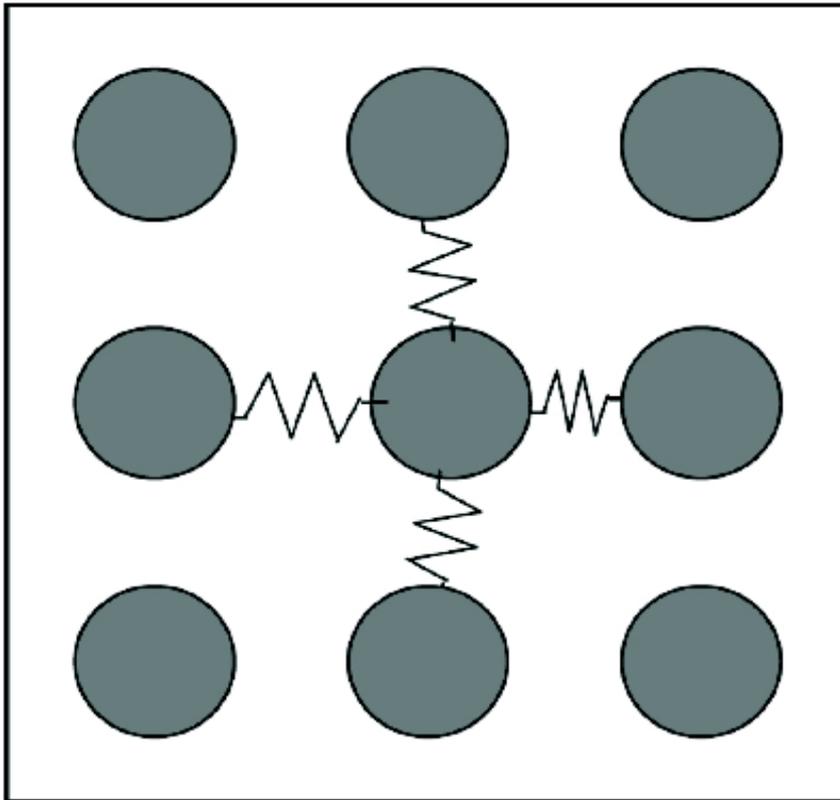
Termes convectifs version incompressible: schéma semi-
implicite, méthode ADI (Alternating Direction Implicite)

Schéma prédicteur-correcteur pression (JFM 165, 365)

Termes diffusifs: schéma centré

- Implicitation des termes source de modèles au second ordre- DRSM
- Implicitation des termes source de la modélisation OES avec concept de viscosité turbulente tensorielle
- Accélération de la convergence en substituant à l'algorithme LU-SGS des approches de type GMRES
- Optimisation MPI: temps de communication entre processeurs (2 processeurs si possible)

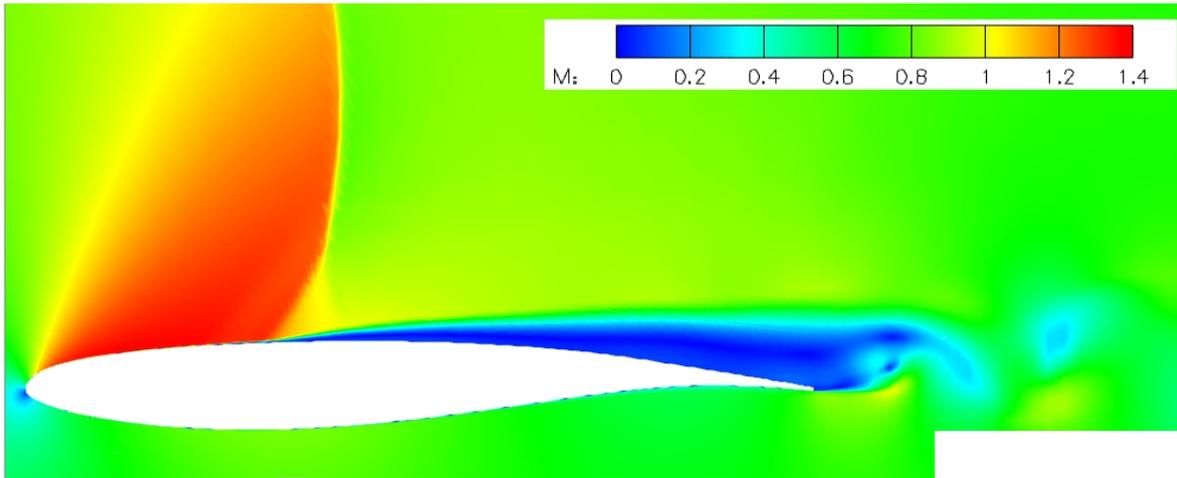
Faisceau de tubes



Expérience AMOVI, DYN (CEA)

Simulations numériques: T. Marcel (IFS2T-IMFT)

Profil d'aile OAT15A



Cas test ATAAC

Étude du tremblement transsonique sur un profil supercritique à Reynolds 3 millions

Simulations:
F. Grossi (IFS2T-IMFT)

