

Couplage de codes : applications en interactions fluide structure

Elisabeth LONGATTE LACAZEDIEU

EDF R&D MFEE

Email : elisabeth.longatte@edf.fr



1. Coupleur IFS : contexte

1. Coupleur IFS : contexte

Objectifs industriels EDF

Préparation des outils « 3ème génération » en complément des outils « 2ème génération » pour les études vibratoires de structures sous écoulements

Études générateurs de vapeur : réseaux de tubes (poutres) sous écoulements transverses / obliques (monophasiques / diphasiques)

Fretting assemblages : crayons sous écoulements axiaux, effets de grilles

Usure des grappes : écoulements axiaux, faible confinement

Tuyauterie : vannes, diaphragmes, pompes...

Turbines

Internes de cuve

Projet EDF R&D

Départements MFEE, AMA, SINETICS

Collaborations

Thèse Z. Bendjeddou 2005 CIFRE USTL M. Souli

Thèse F. Huvelin 2008 CIFRE USTL M. Souli

Partenariat CEA DYN



1. Coupleur IFS : contexte

Couplage monolithique

Solveur fluide
Solveur structure

- 🌐 Couplage fort
- 🌐 Mêmes formalismes fluide et structure

Chaînage de code

Solveur fluide



Solveur structure

- 🌐 Chaînage physique fluide structure
- 🌐 Non prise en compte de la réponse de la structure sur le fluide

Couplage partitionné

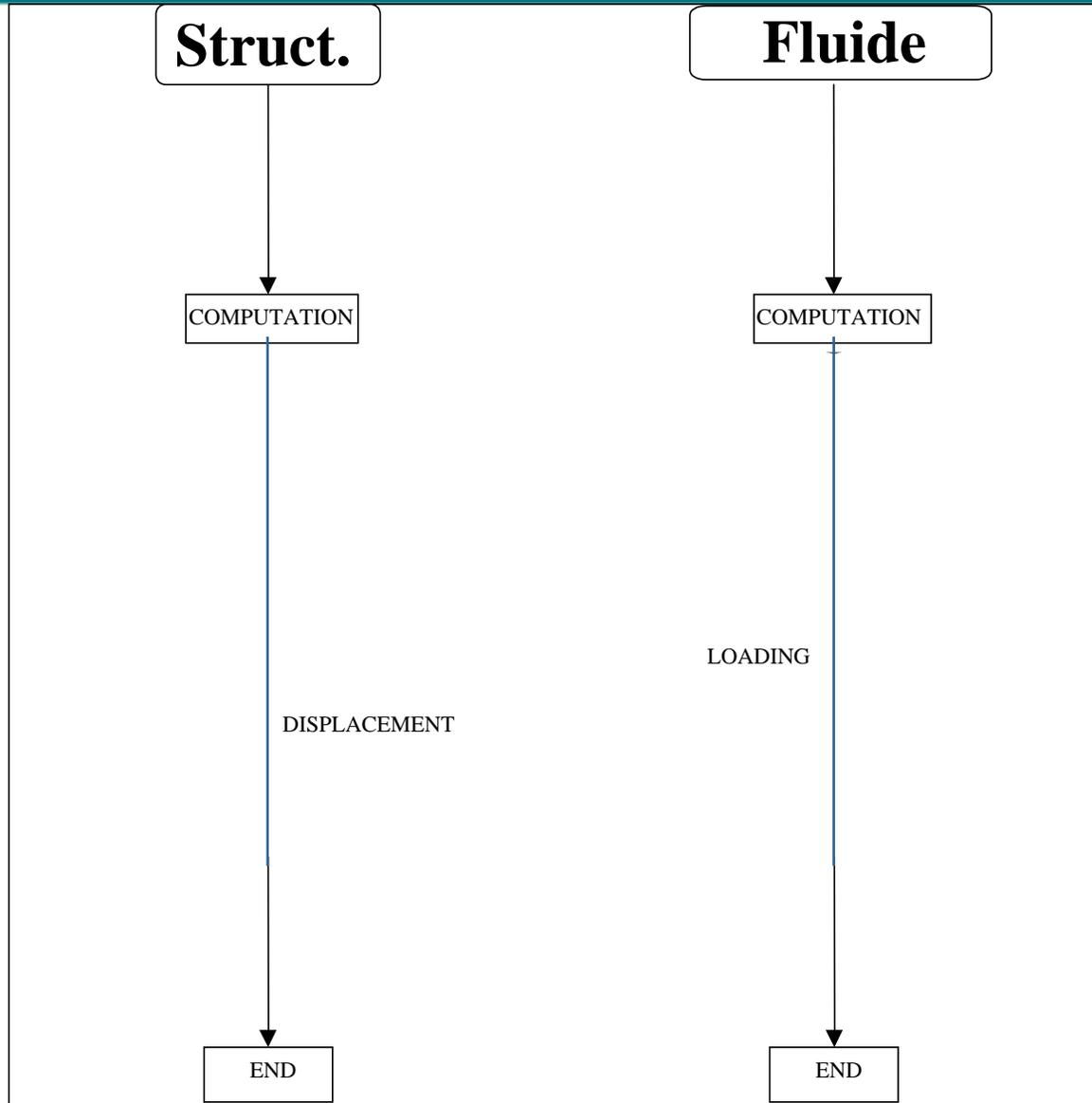
Solveur fluide



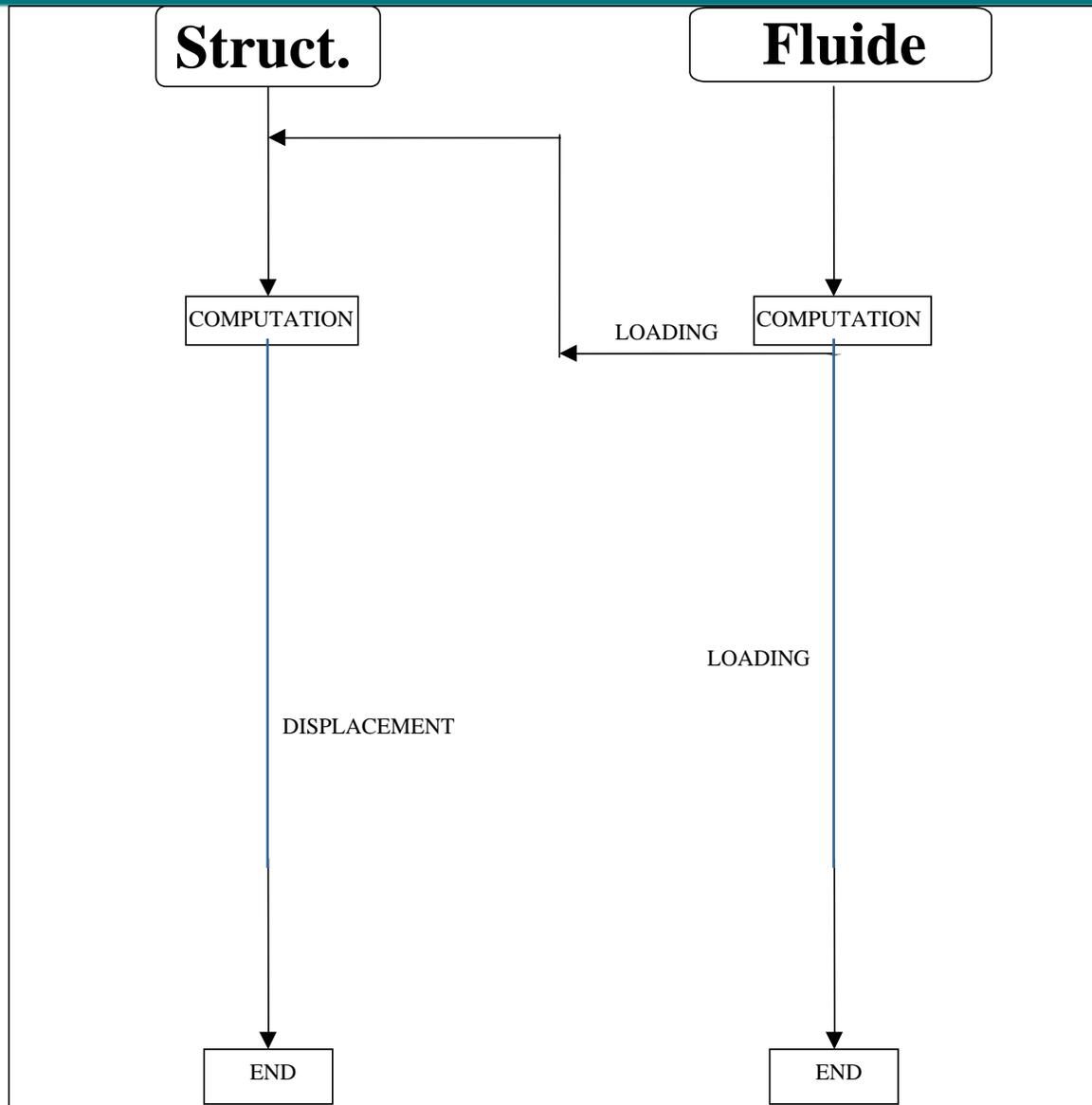
Solveur structure

- 🌐 Couplage externe « faible »
- 🌐 Prise en compte de la réponse de la structure sur le fluide

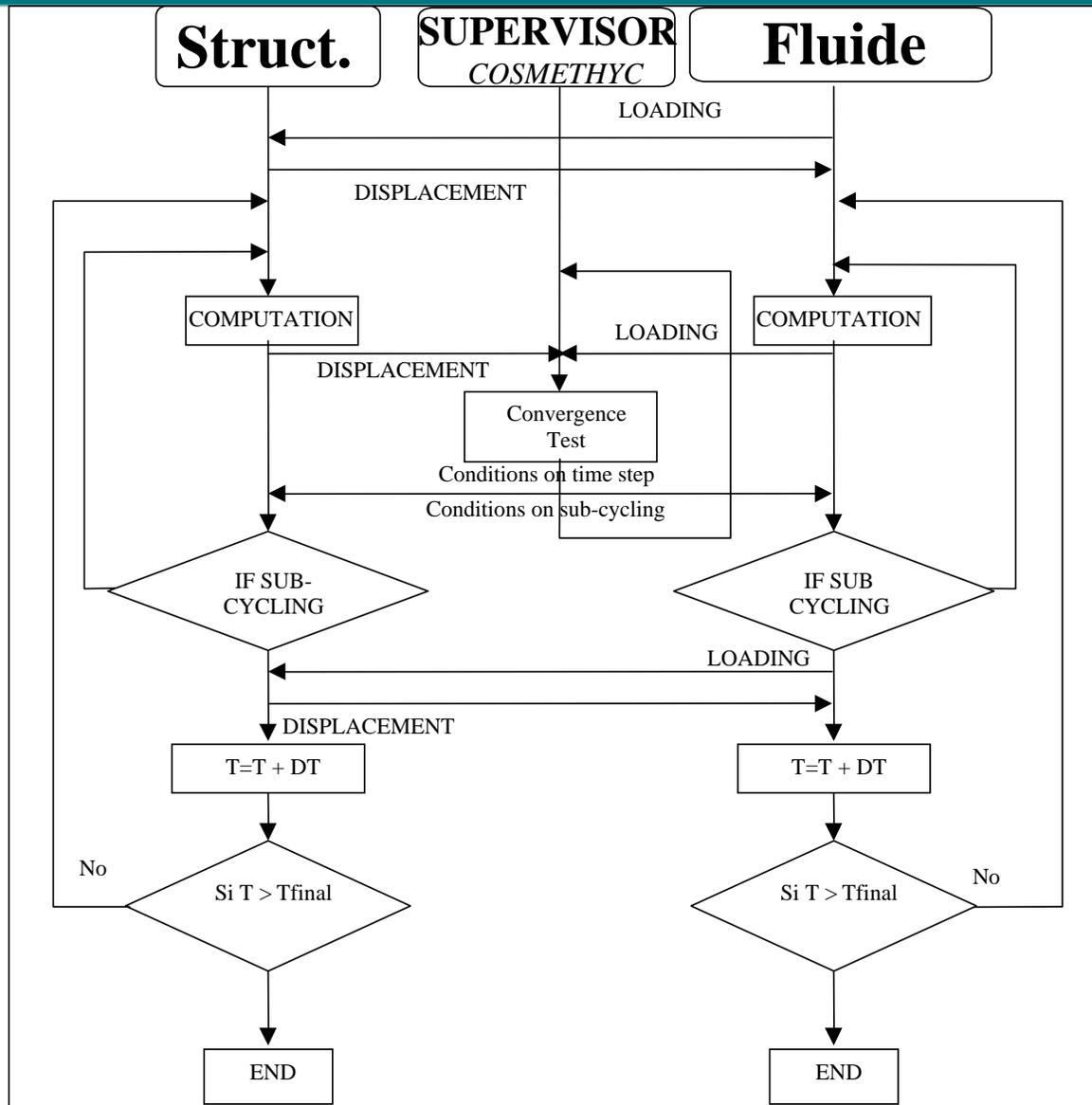
1. Coupleur IFS : contexte



1. Coupleur IFS : contexte



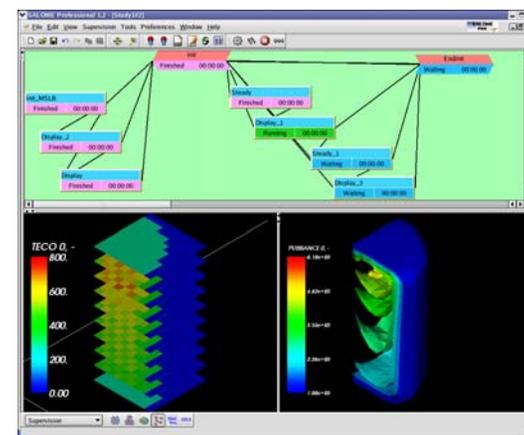
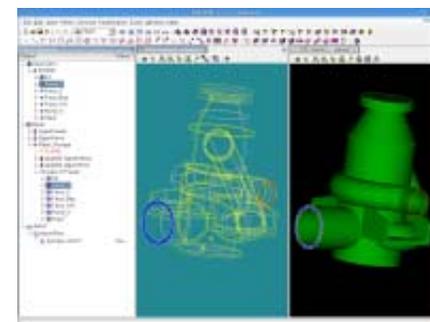
1. Coupleur IFS : contexte



1. Coupleur IFS : contexte

Plateforme de couplages

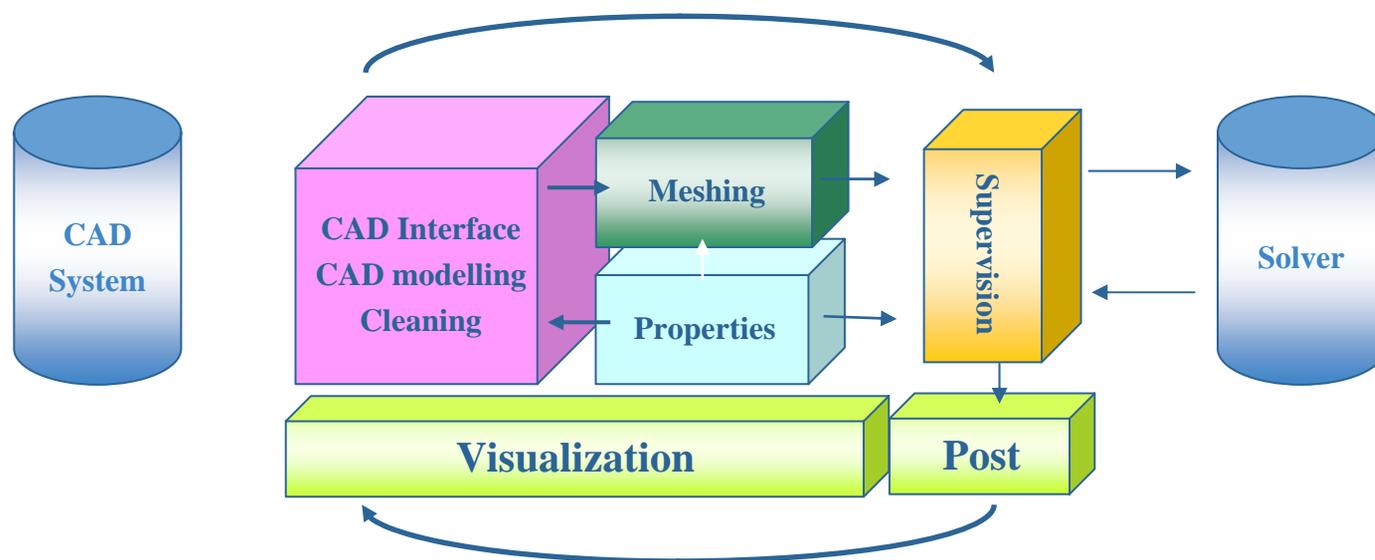
- Faciliter l'interopérabilité entre la modélisation CAO et les codes de calculs
- Faciliter l'intégration entre les codes de calculs dans un environnement distribué hétérogène
- Fournir une interface utilisateur générique simple, efficace et qui contribue à la réduction des coûts de recherche et des délais
- Regrouper la production des développements non critiques (pré et post traitement) dans une base commune de simulation numérique



1. Coupleur IFS : contexte

Plateforme de couplages

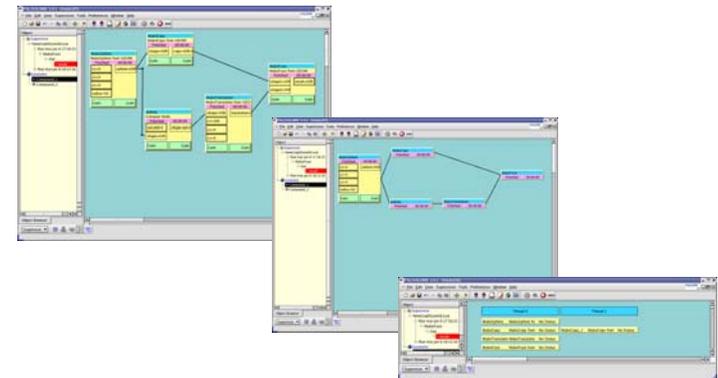
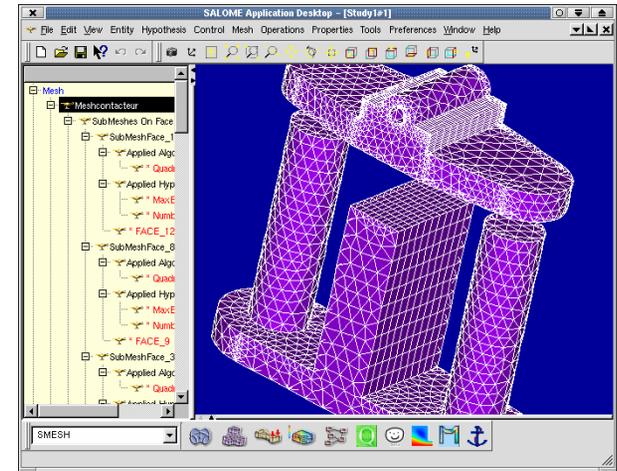
- Plate-forme d'intégration pré/post-traitement et de couplage de codes pour la simulation numérique
- Produite en « open source » dans le cadre des projet de co-développement (dont CEA-EDF)



1. Coupleur IFS : contexte

Plateforme de couplages

- Importer/exporter des géométries, réparer/nettoyer des géométries, créer/modifier
- Mailler des géométries, contrôler la qualité, importer/exporter
- Manipuler les propriétés physiques et numériques des éléments de géométries
- Gérer les différentes étapes d'utilisation d'un solveur : recevoir les données, configurer le solveur, renvoyer les résultats
- Exécuter l'enchaînement et le couplage entre les solveurs
- Visualiser et post-traiter les résultats



1. Coupleur IFS : contexte

Plateforme de couplages

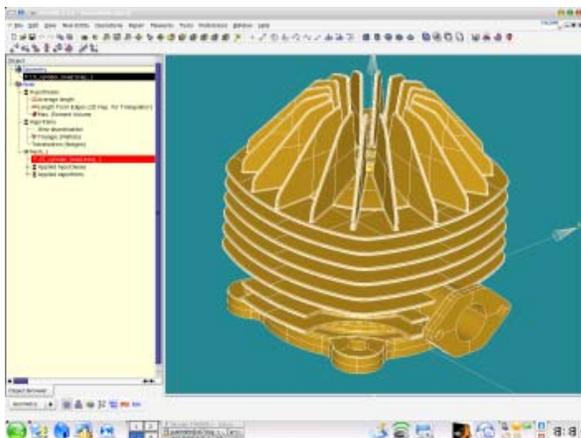


- SALOME 1 & 2: RNTL 2001-2006, consortium de 9 & 21 partenaires Open Source,
- Version de référence : 3.2 sortie en juin 2006

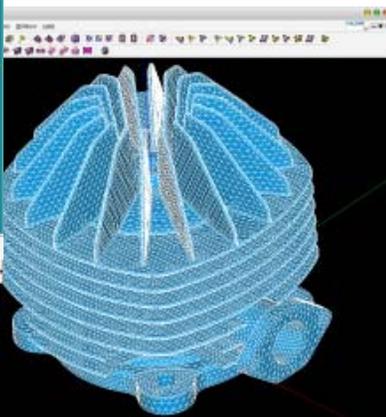
1. Coupleur IFS : contexte

Plateforme de couplages

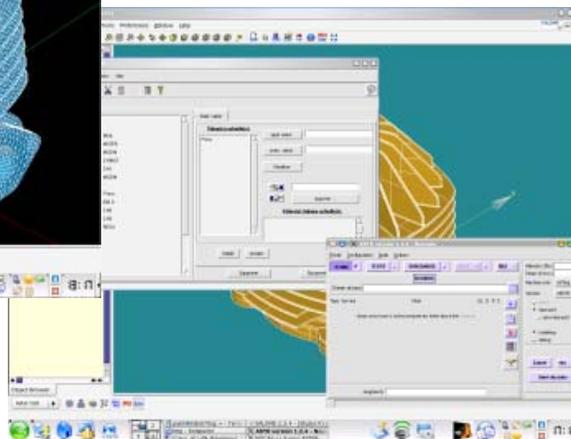
1: Géométrie



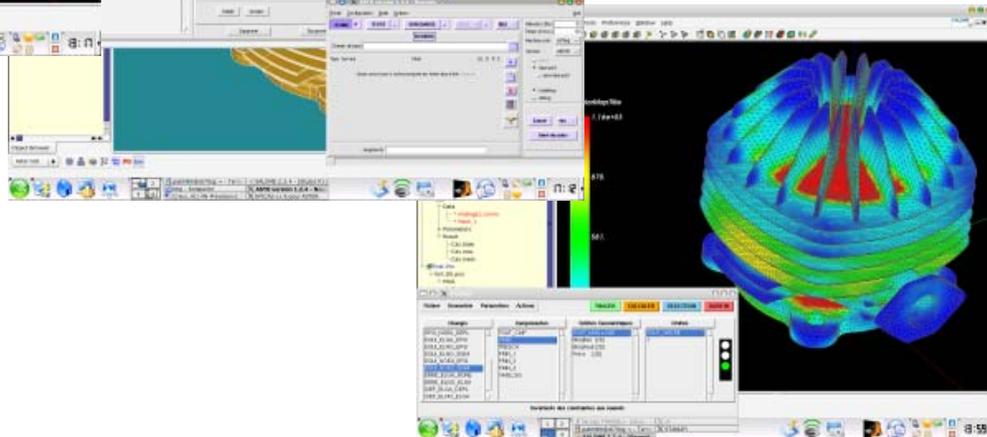
2 : Maillage



3 : Paramétrage de données lancement de l'exécution du calcul



4 : Post-traitement



2. Coupleur IFS : méthodes numériques

2. Coupleur IFS : méthodes numériques

● Conditions limites à l'interface fluide-structure

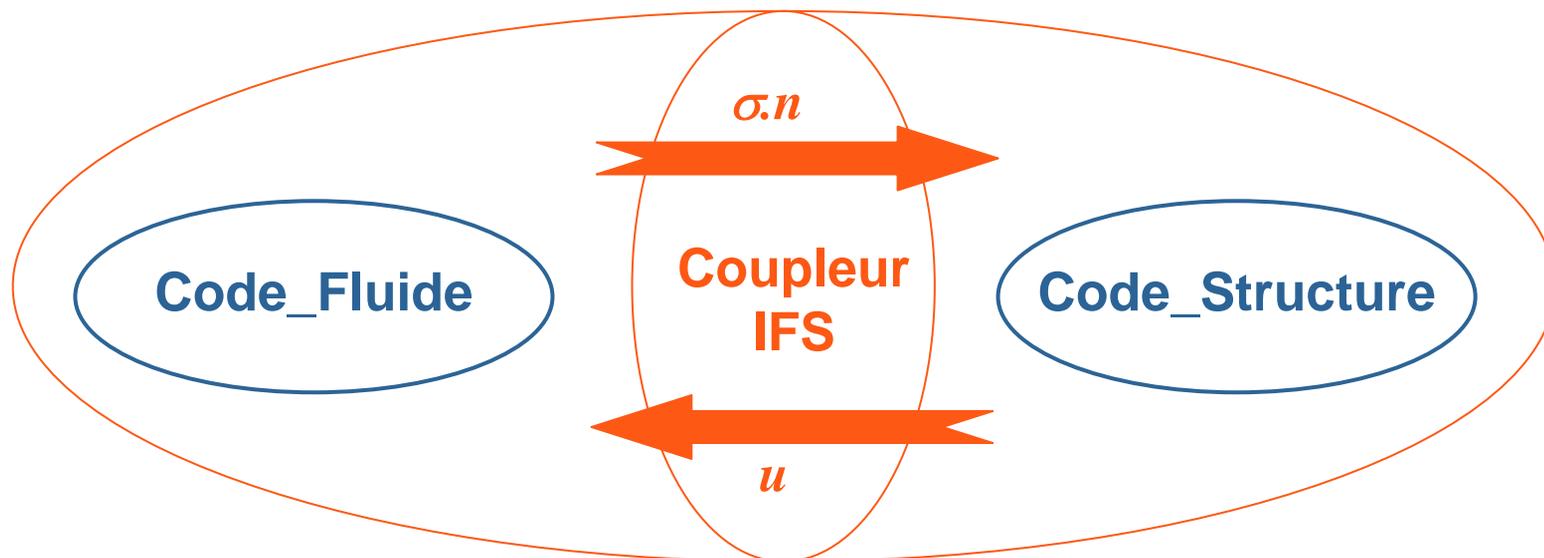
$$\begin{cases} \vec{u}_s = \vec{u}_f \\ \vec{\sigma}_s \cdot \vec{n} = \vec{\sigma}_f \cdot \vec{n} \end{cases}$$

● Procédure de couplage partitionné



2. Coupleur IFS : méthodes numériques

Objectif : conservation d'énergie



2. Coupleur IFS : méthodes numériques

Solveurs

● Solveur structure : *Code_Aster*

- ▶ Méthode des éléments finis
- ▶ Formulation lagrangienne (domaine mobile)

● Solveur fluide : *Code_Saturne*

- ▶ Méthode des volumes finis avec formulation cell-centered
- ▶ Formulation ALE (parois mobiles) et non eulérienne

● Solveur de couplage : *Cosmethyc*

- ▶ Résolution consécutive des solveurs (avancée en temps du couplage)
- ▶ Transfert d'informations entre maillages de peau fluide et structure (avec non conformités éventuelles)

2. Coupleur IFS : méthodes numériques

Impact de l'IFS dans les solveurs

Impact de l'IFS dans le solveur fluide :

Introduction d'une formulation ALE (maillages déformables pour parois mobiles)

Introduction des nœuds entrée / sortie vers le coupleur externe *Cosmethyc* (calcul des chargements, transmission des chargements, lecture des déplacements / vitesses de la structure mobile, gestion des conditions aux limites mobiles)

Fonctionnalités possibles : 2D ou 3D, laminaire ou turbulent, mouvement de paroi imposé ou libre couplé

Impact de l'IFS dans le solveur structure :

Introduction des nœuds entrée / sortie vers le coupleur externe *Cosmethyc* (calcul de la réponse de la structure mobile, statique ou dynamique linéaire, lecture des champs de forces)

Fonctionnalités possibles : structure flexible ou rigide, chargement statique ou dynamique, réponse linéaire ou non linéaire, structure poutre 3D filaire, 1D, 2D ou 3D.

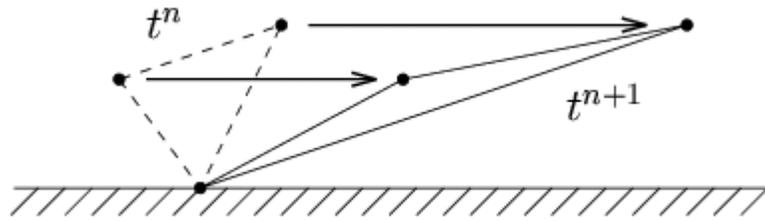
Gestion de l'IFS avec le coupleur :

Introduction d'un *Superviseur* : gestion de l'avancée en temps

Introduction de convertisseurs *FluStru* et *StruFlu* : transfert des données entre les solveurs

2. Coupleur IFS : méthodes numériques

Impact de l'IFS dans le solveur fluide : formulation ALE



Potentiel

$$\Delta w = 0$$

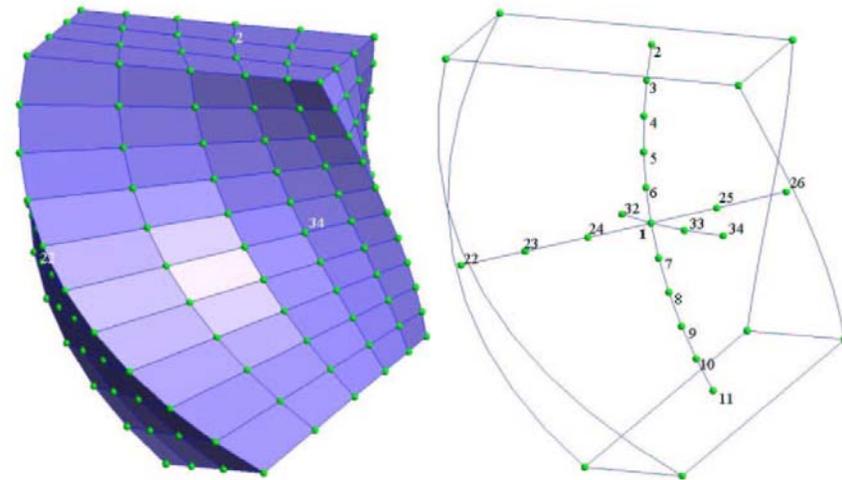
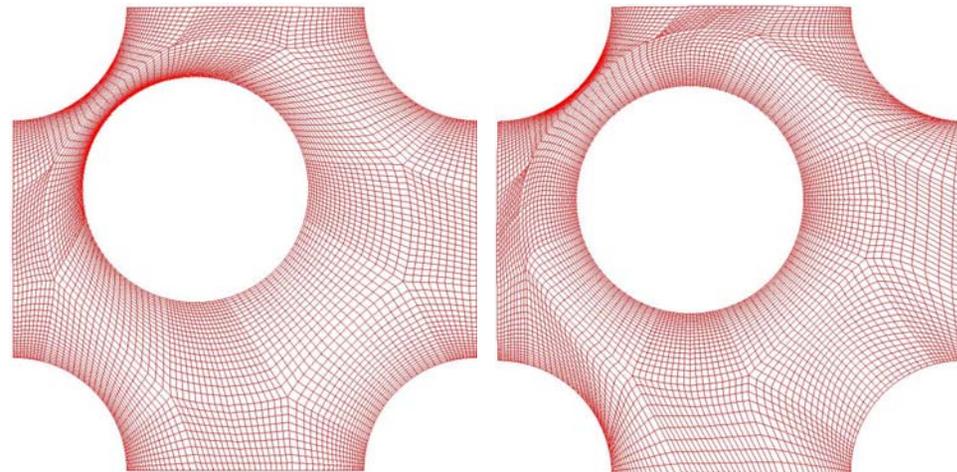
$$\nabla \cdot (\lambda \nabla w) = 0$$

$$X_i^{n+1} = X_i^n + \Delta t w_i^n$$

$$\delta X^{n+1} = \delta X^n + \Delta t \delta w^n$$

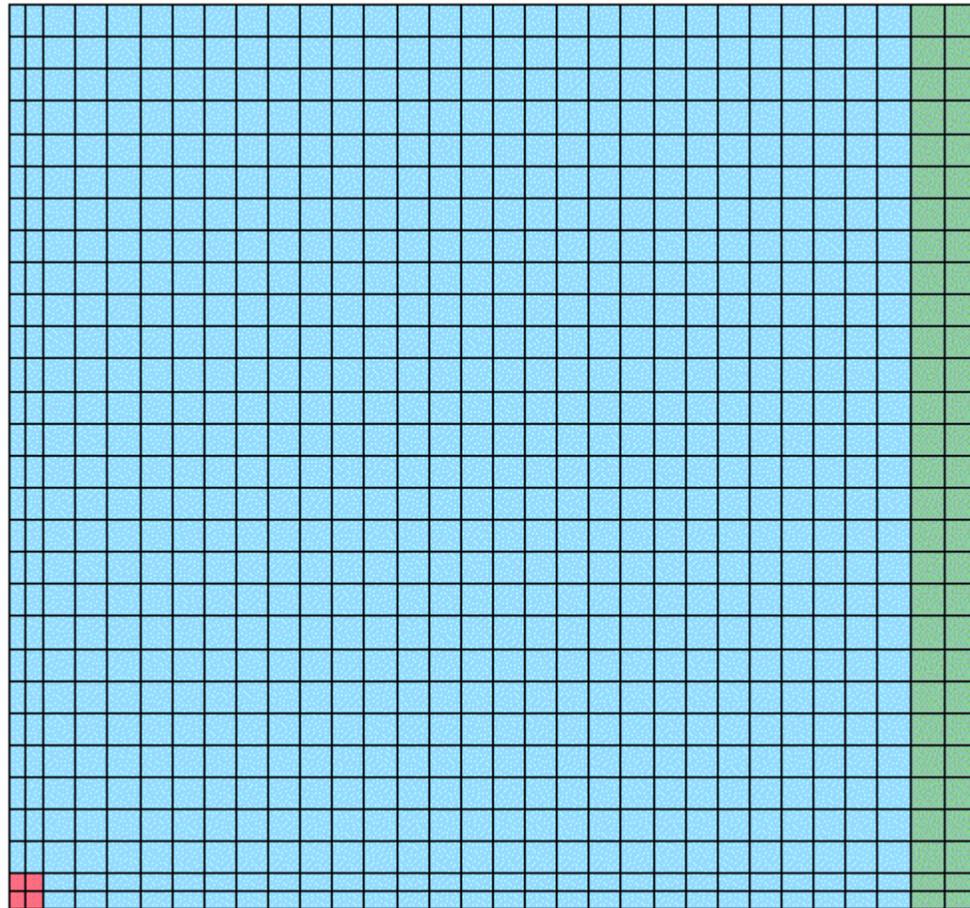
$$\delta X^{n+1} > 0$$

Algébrique



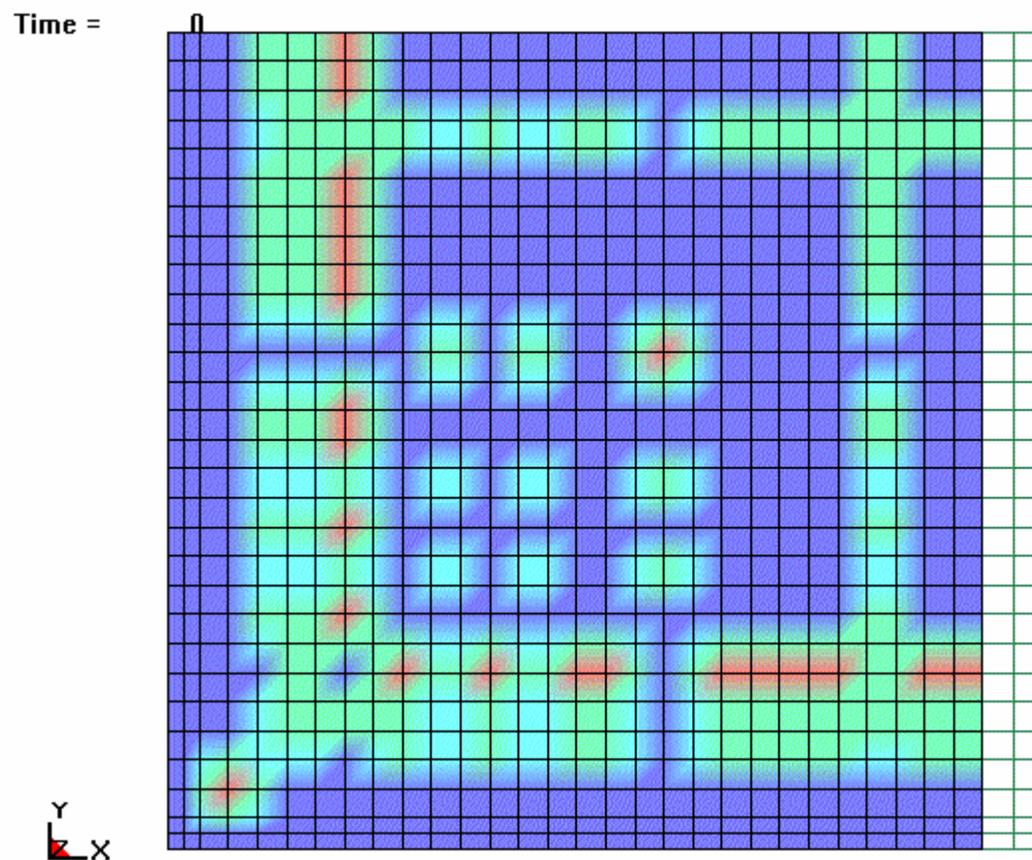
2. Coupleur IFS : méthodes numériques

Formulation lagrangienne



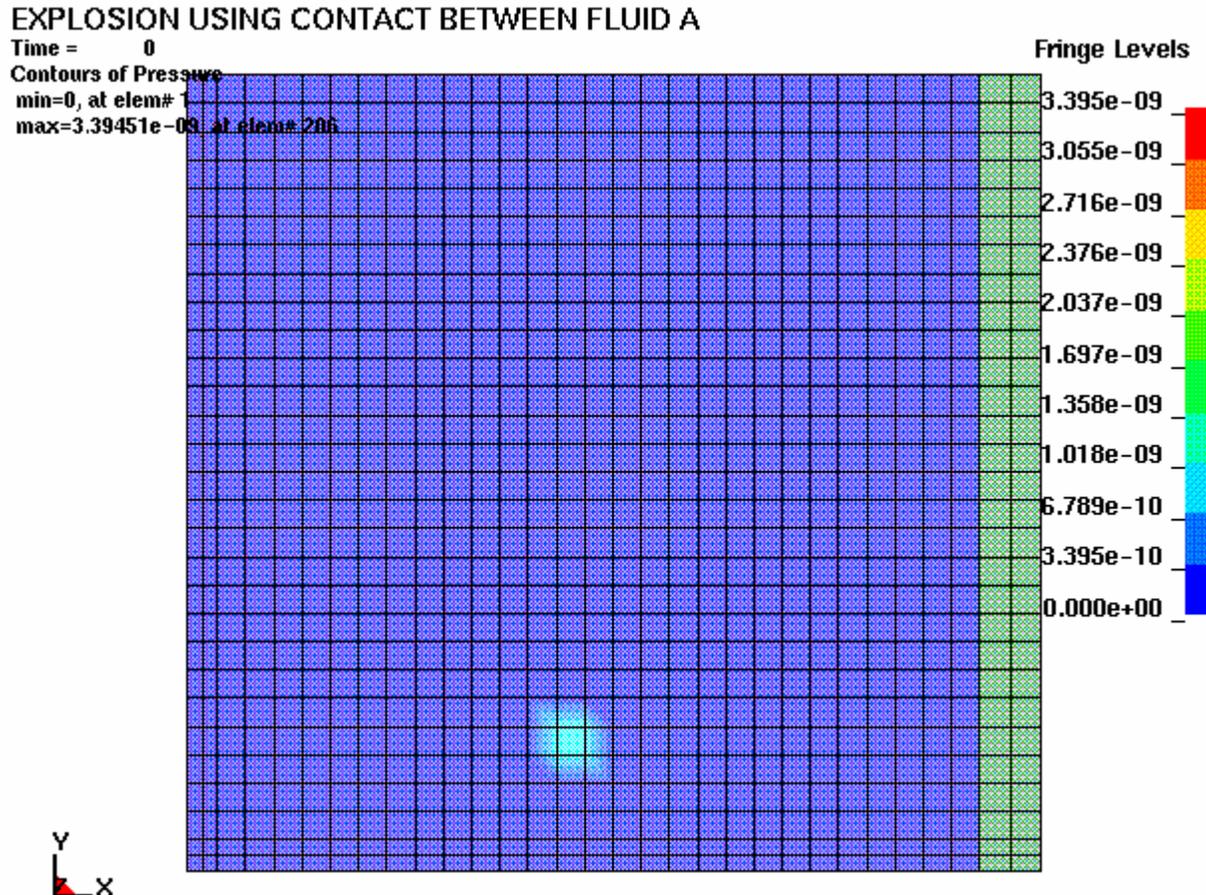
2. Coupleur IFS : méthodes numériques

Formulation eulérienne



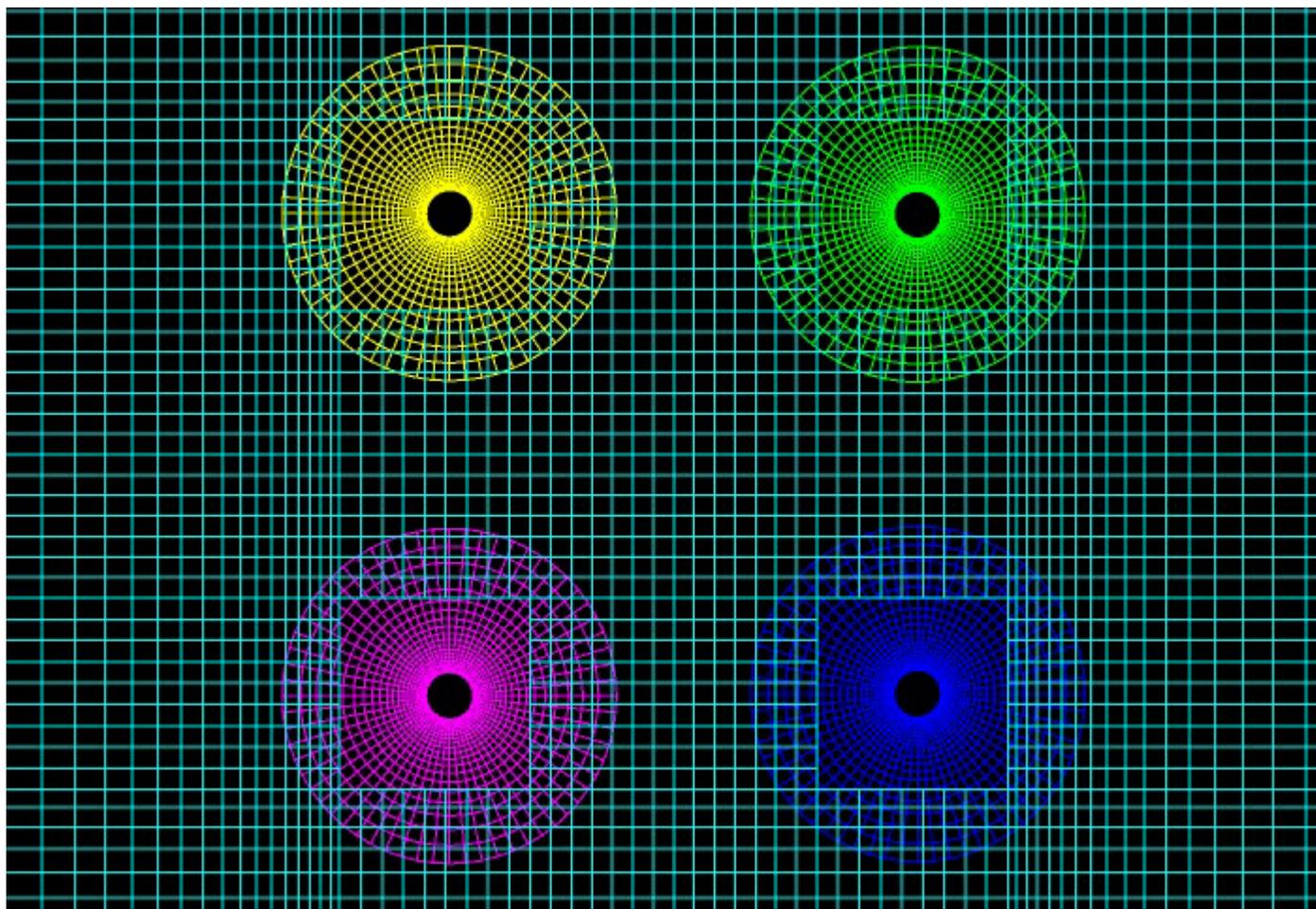
2. Coupleur IFS : méthodes numériques

Formulation mixte Arbitraire Lagrange Euler



2. Coupleur IFS : méthodes numériques

Méthodes alternatives (Superposition de maillages)



2. Coupleur IFS : méthodes numériques

Gestion de l'IFS avec le coupleur :

Pilotage du couplage (*Superviseur*) :

Procédure itérative

Avancée en temps par couplage explicite synchrone ou asynchrone, implicite avec sous-itérations fluide (gestion de l'interpolation temporelle)

Mêmes pas de temps fluide et structure

Couplage et sous-itérations possibles pour convergence du calcul statique / dynamique

Vérification du critère de convergence (sur les chargements fluide ou les déplacements structure)

Échange des données entre codes (*Convertisseurs*) :

Lecture des maillages “de peau” fluide et structure (interface)

Projections des nœuds d'intérêt (chargements fluides et vitesses, déplacements structure, gestion de la problématique des moments en 3D filaire)

Interpolations des champs 3D / 3D, 2D / 2D, 3D / 2D, 3D / 3D filaire, 2D / 3D filaire

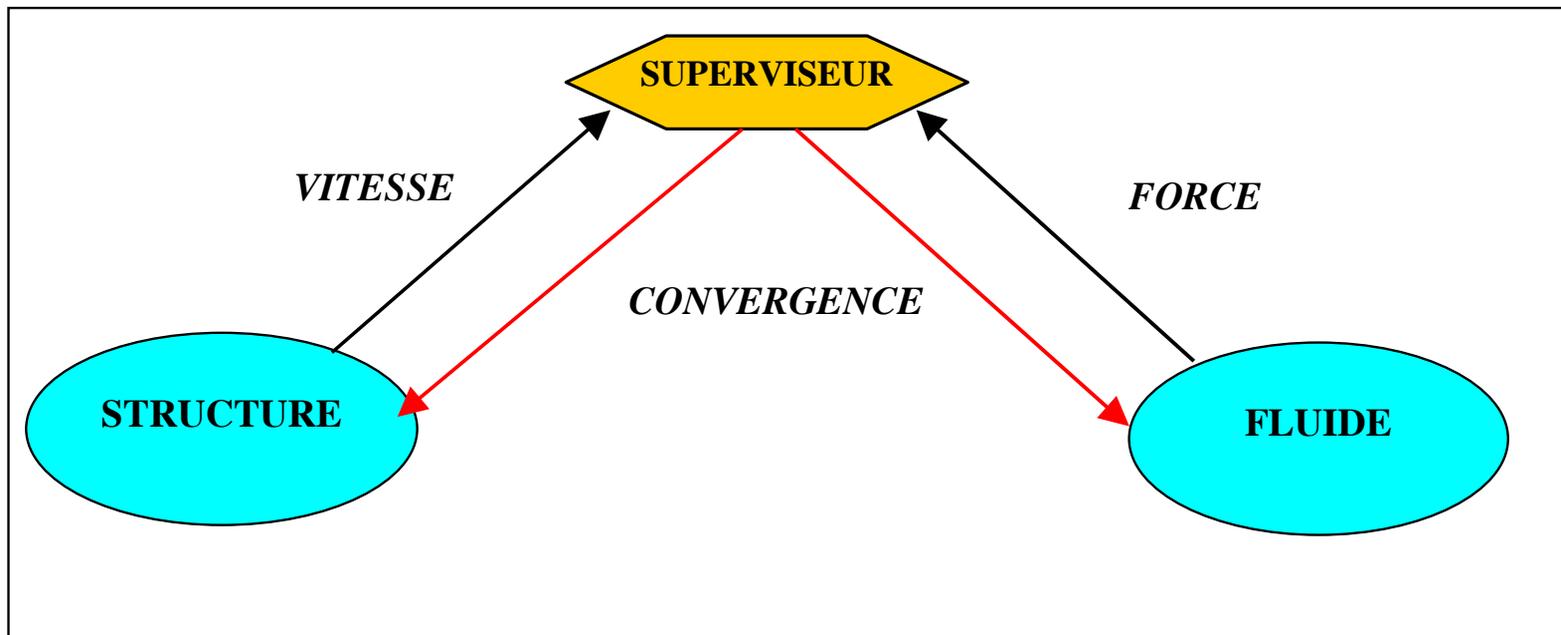
2. Coupleur IFS : méthodes numériques

Couplage fluide structure

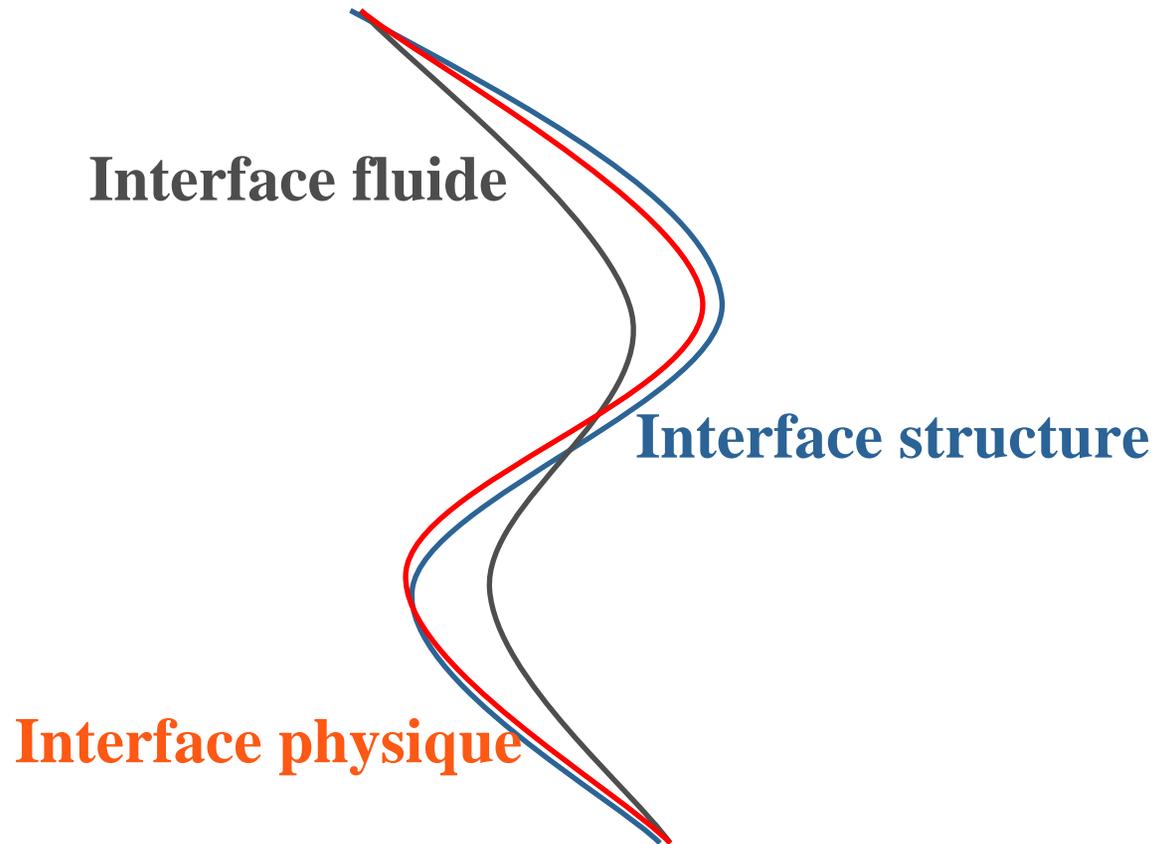


Discrétisation temporelle

Superviseur : pilotage du schéma en temps



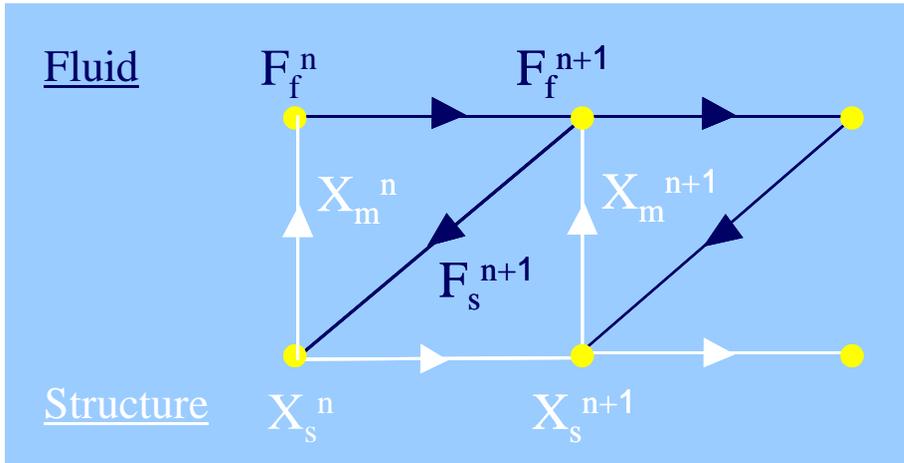
2. Coupleur IFS : méthodes numériques



$$V_m^n = ? V_s^n$$

2. Coupleur IFS : méthodes numériques

Schéma
explicite
synchrone



Fluid

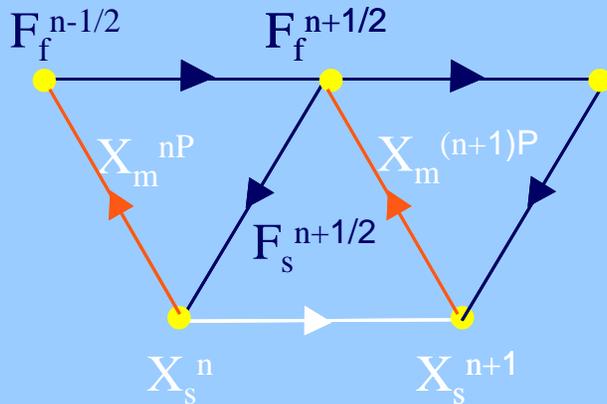
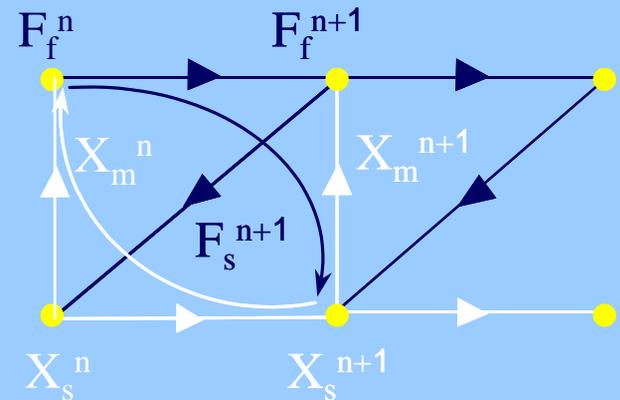


Schéma
décalé

Fluid

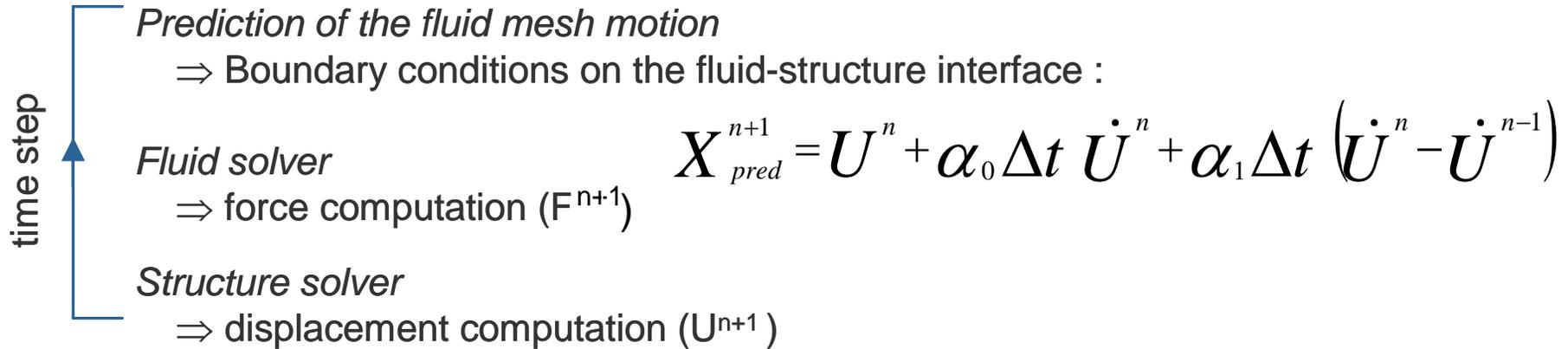


Schéma

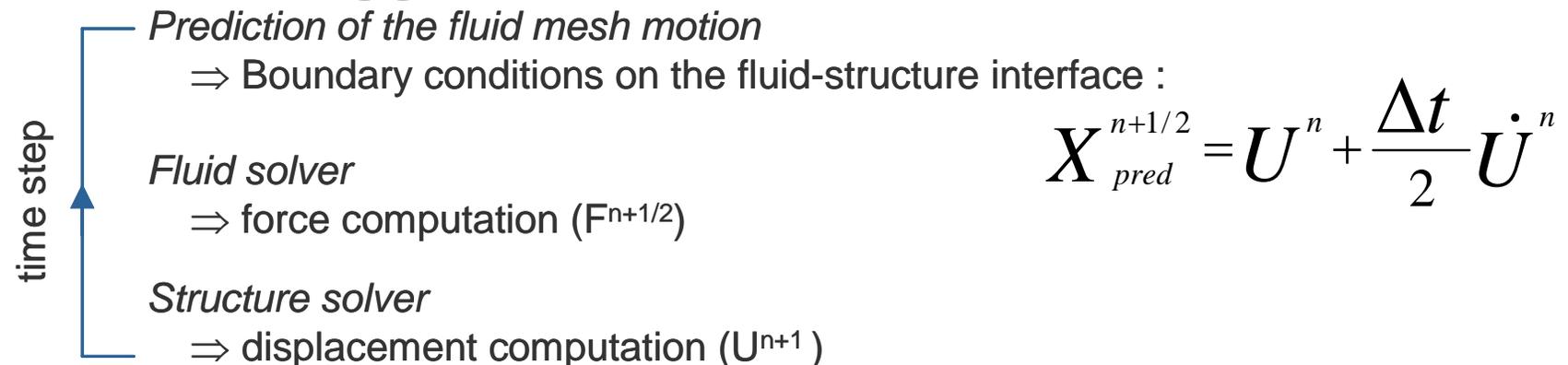
semi-implicite

2. Coupleur IFS : méthodes numériques

Explicit synchronous scheme

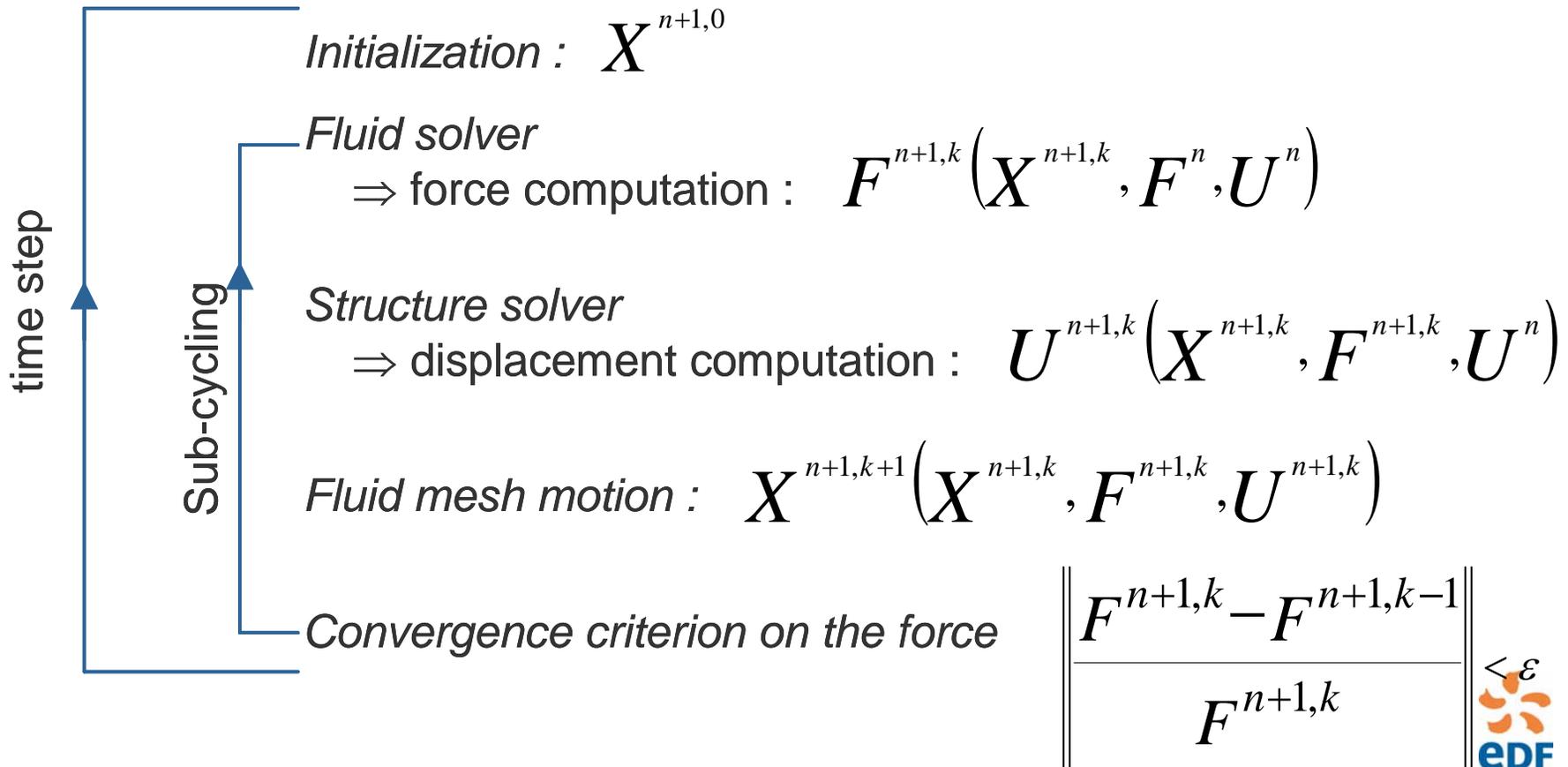


Explicit staggered scheme



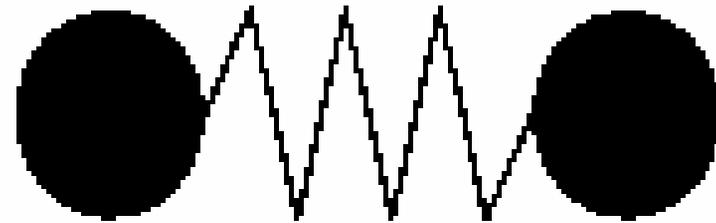
2. Coupleur IFS : méthodes numériques

Implicit scheme



2. Coupleur IFS : méthodes numériques

Schémas de couplage



$$M_{s1} \frac{d^2 U_1}{dt^2} + K_s U_1 = K_s U_2$$

$$M_{s2} \frac{d^2 U_2}{dt^2} + K_s U_2 = K_s U_1$$

$$\omega = \sqrt{3K_{s1}/M_{s1}}$$

$$M_{s2} = M_{s1}/2$$

$$U_2(0) = -2U_1(0)$$

$$\frac{dU_2}{dt}(0) = -\frac{2dU_1}{dt}(0)$$

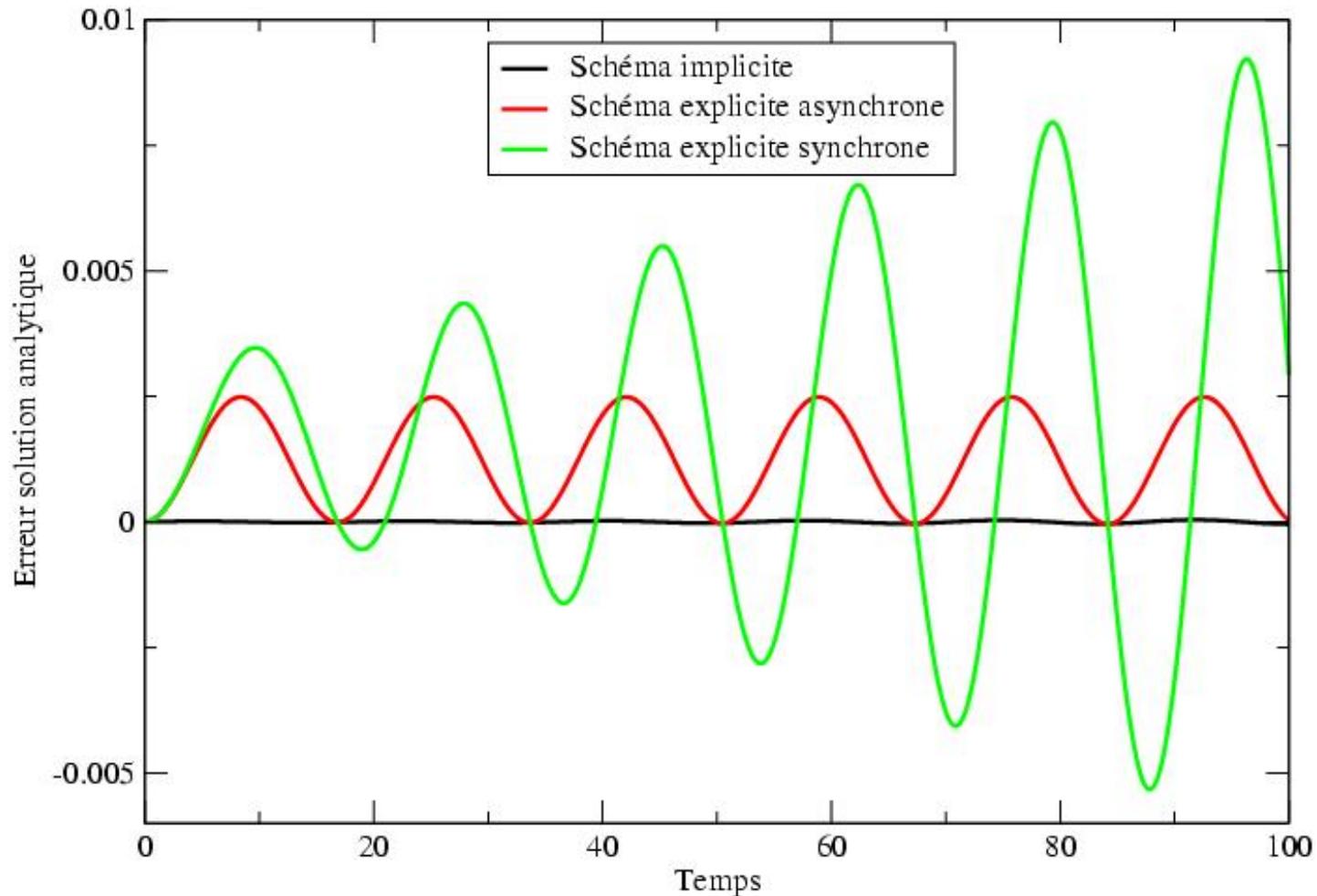
2. Coupleur IFS : méthodes numériques

Schémas de couplage

Erreur calcul / théorie (-)	f (-)	ξ (-)
Explicite synchrone	0,0	$8,0 \cdot 10^{-4}$
Explicite asynchrone	0,0	$7,0 \cdot 10^{-6}$
Implicite	0,0	$9,0 \cdot 10^{-12}$
Couplage fort	0,0	$7,0 \cdot 10^{-12}$
Analytique	0,0	0,0

2. Coupleur IFS : méthodes numériques

Schémas de couplage



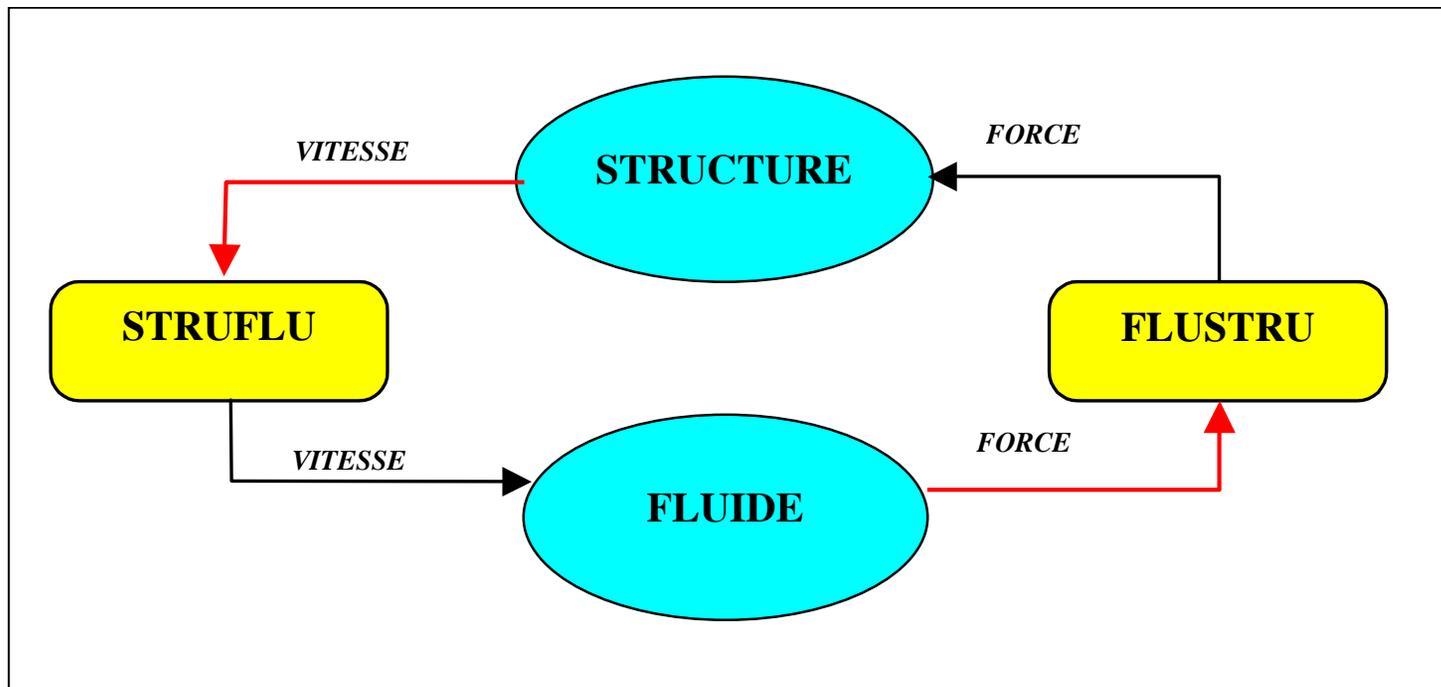
2. Coupleur IFS : méthodes numériques

Couplage fluide structure



Discrétisation spatiale

Convertisseurs : transferts des données

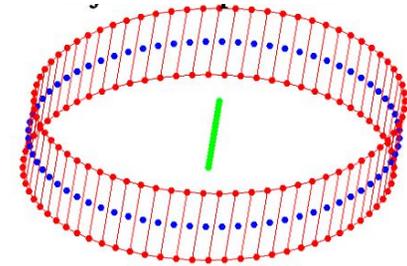
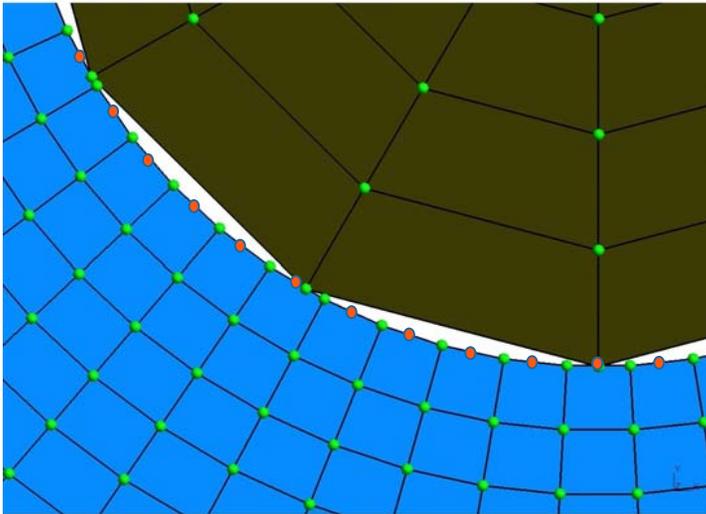


2. Coupleur IFS : méthodes numériques

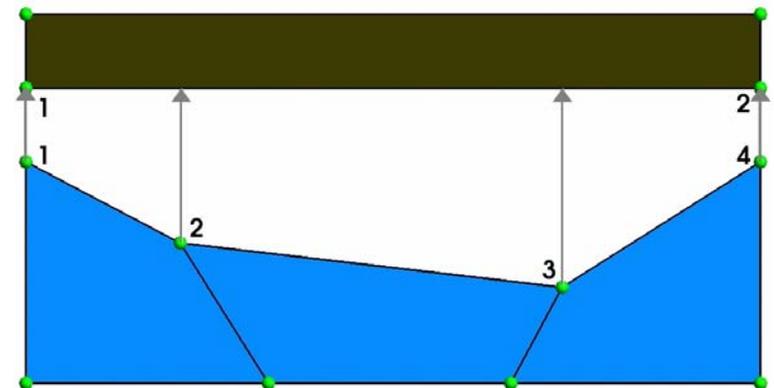
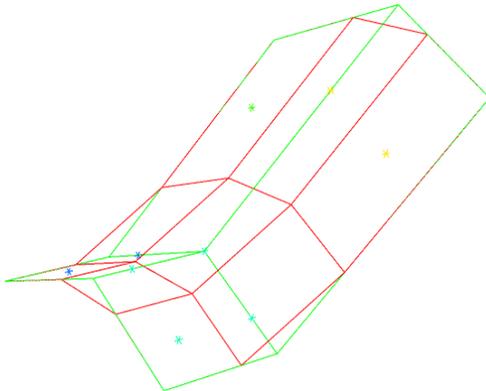
$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{u}_s = \vec{u}_f \\ \underline{\underline{\sigma}}_s \cdot \vec{n} = \underline{\underline{\sigma}}_f \cdot \vec{n} \end{array} \right.$$

2. Coupleur IFS : méthodes numériques

Maillages incompatibles



Dimensions / formulations incompatibles



2. Coupleur IFS : méthodes numériques

Méthodes de projections (interpolations / nuages de points)

Objectif :

Optimiser la conservation de l'énergie à l'interface

Conserver le bilan des efforts à l'interface

Assurer une précision correcte

Ne pas dégrader l'ordre du couplage

Ne pas affecter les performances du couplage

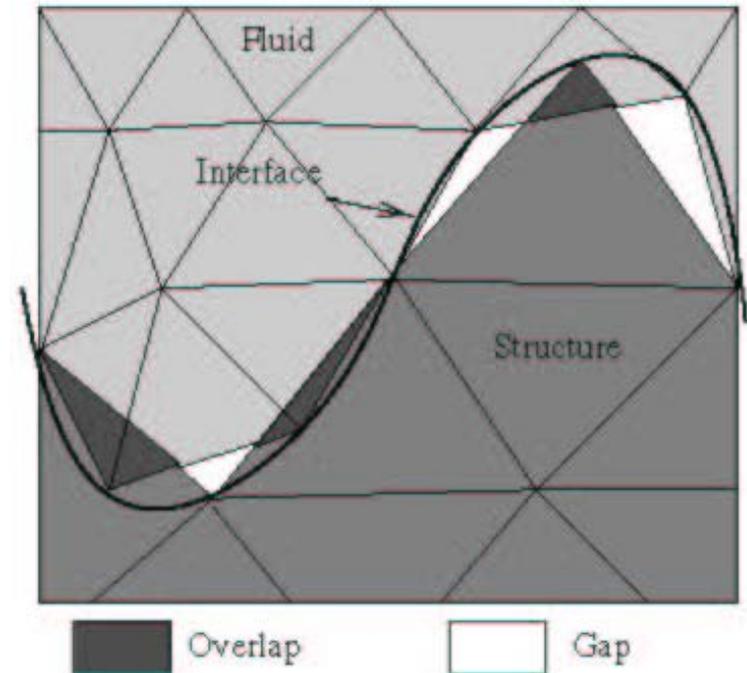


Fig. 1. Non-matching meshes in 2D.

2. Coupleur IFS : méthodes numériques

Méthodes de projections (interpolations / nuages de points)

Piperno

De Boer

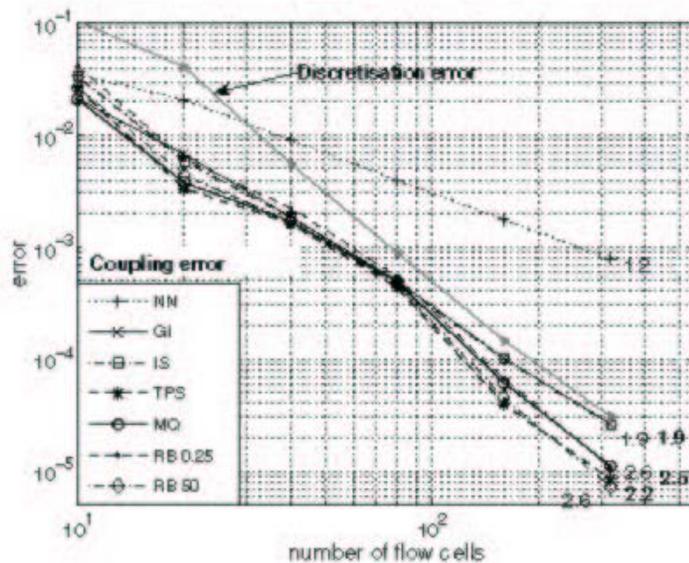


Fig. 8. Coupling error and order of the coupling error of the different methods for the quasi-ID test case.

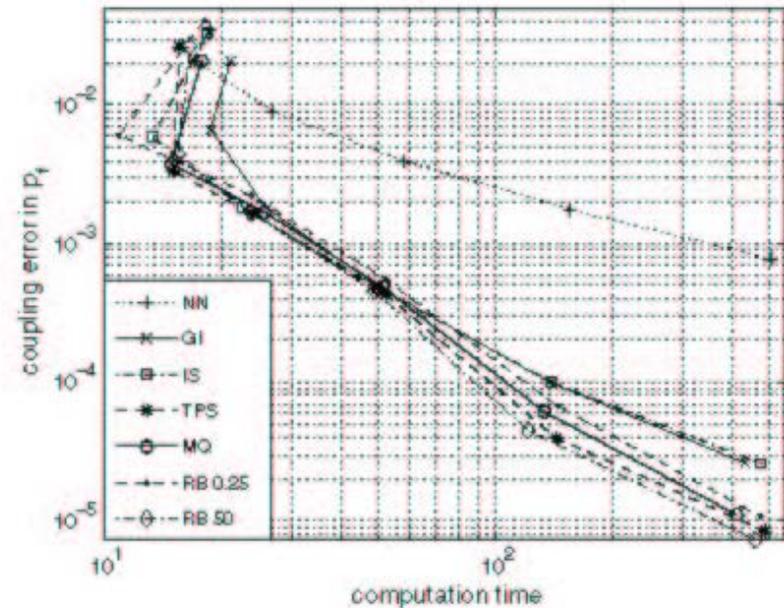


Fig. 9. Efficiency of the different methods for the quasi-ID test case.

2. Coupleur IFS : méthodes numériques

Méthodes de projections (interpolations / nuages de points)

Piperno

De Boer

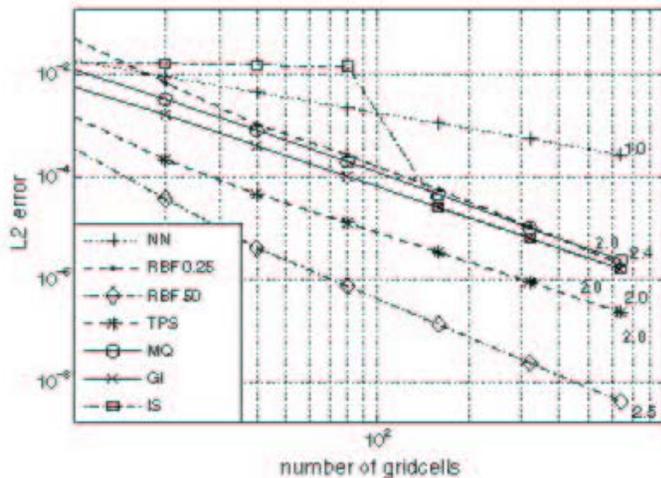


Fig. 6. Interpolation error and interpolation order of the different methods for the analytical test problem.

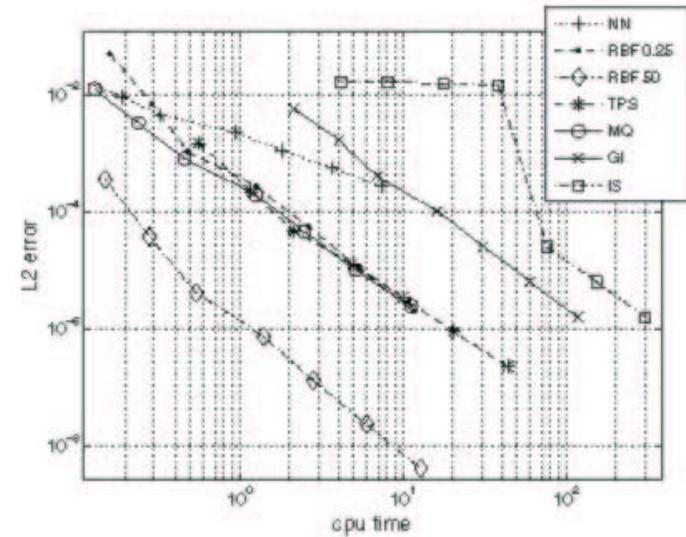


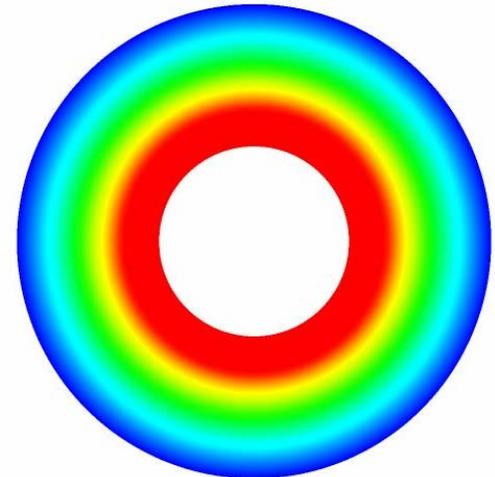
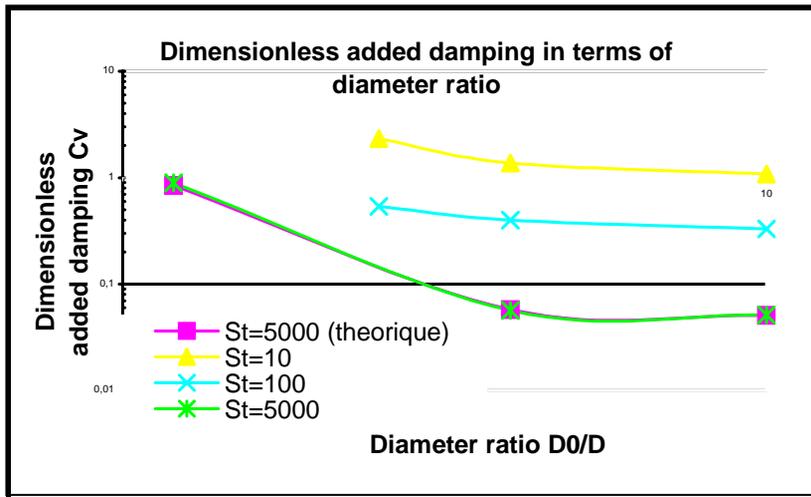
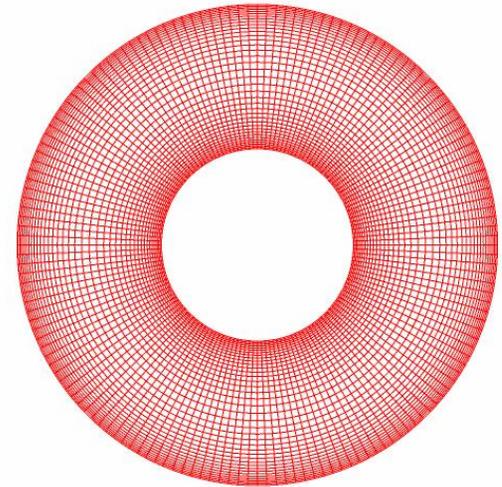
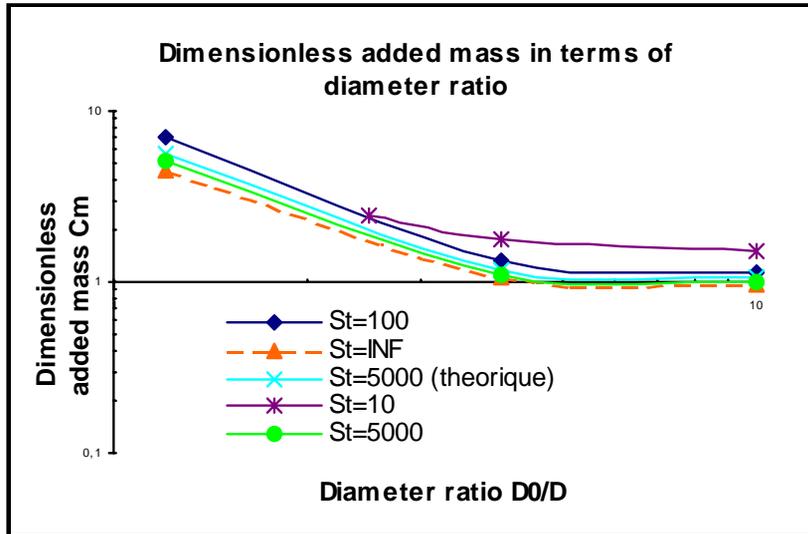
Fig. 7. Efficiency of the different methods for the analytical test problem.

3. Coupleur IFS : exemples d'applications



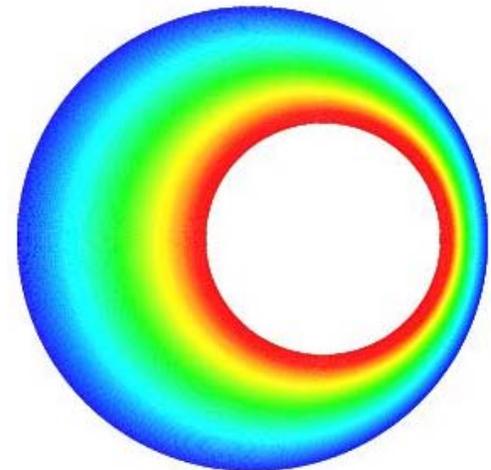
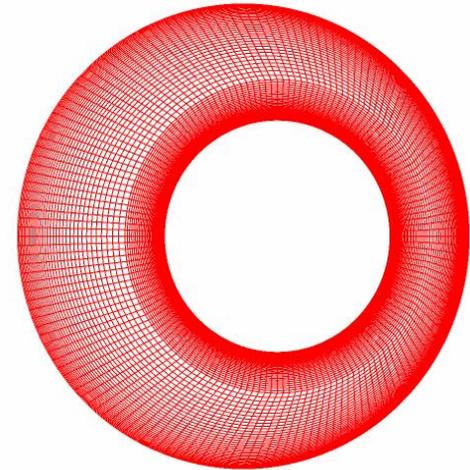
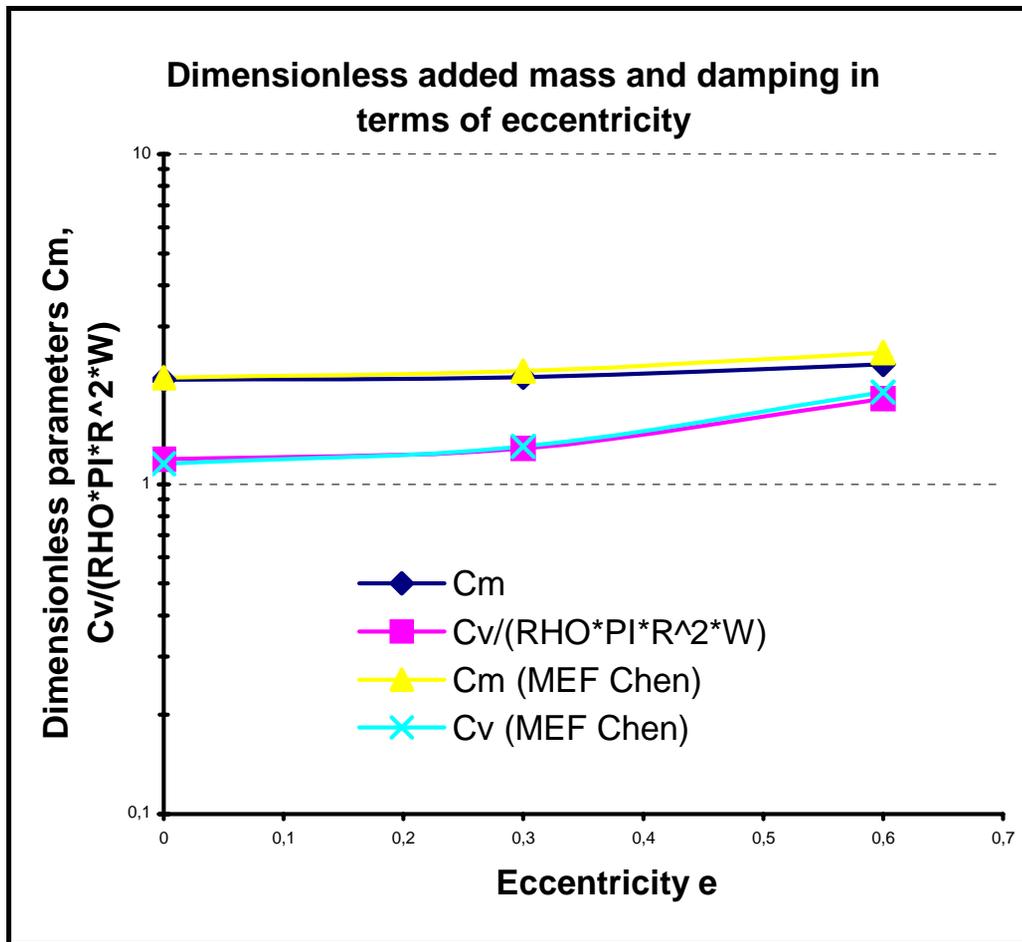
3. Coupleur IFS : exemples d'applications

Identification de coefficients de masse, amortissement ajoutés (cylindres concentriques)



3. Coupleur IFS : exemples d'applications

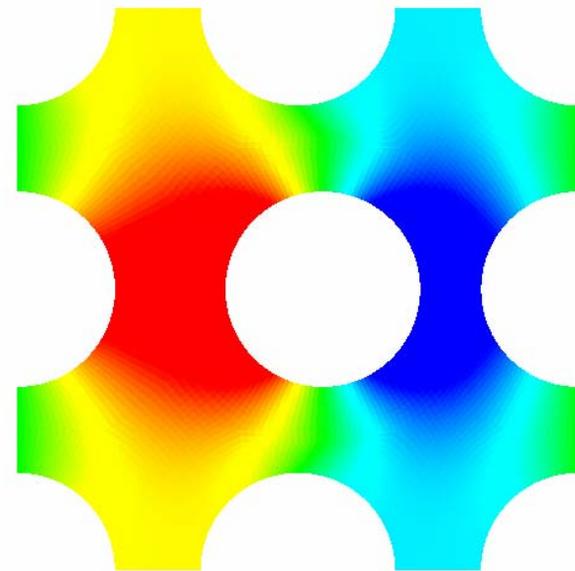
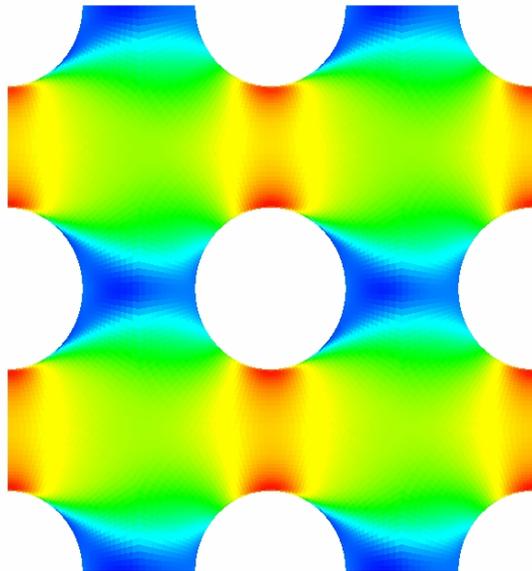
Identification de coefficients de masse, amortissement ajoutés (cylindres excentrés)



3. Coupleur IFS : exemples d'applications

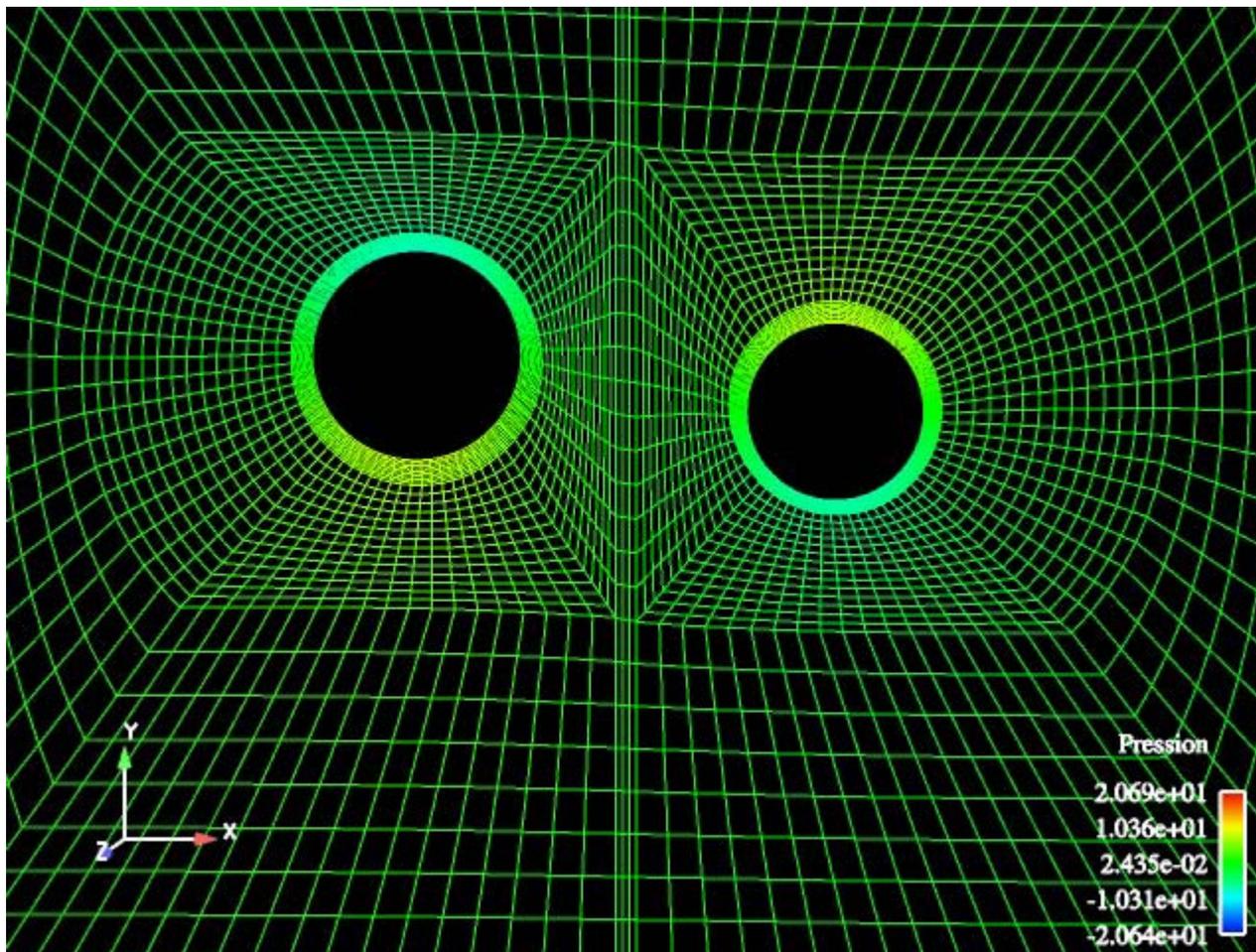
Identification de coefficients de masse, amortissement ajoutés (faisceau périodique)

	Experimental	Analytical	Numerical
Frequency (Hz)	-	20.3	20.5
Damping (Hz)	0.037 ± 0.004	0.037	0.036



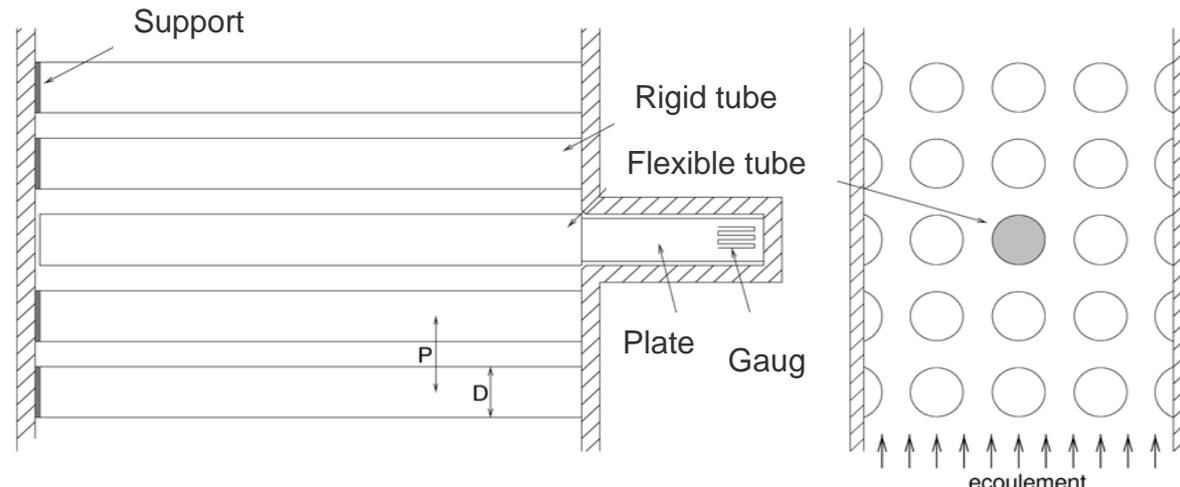
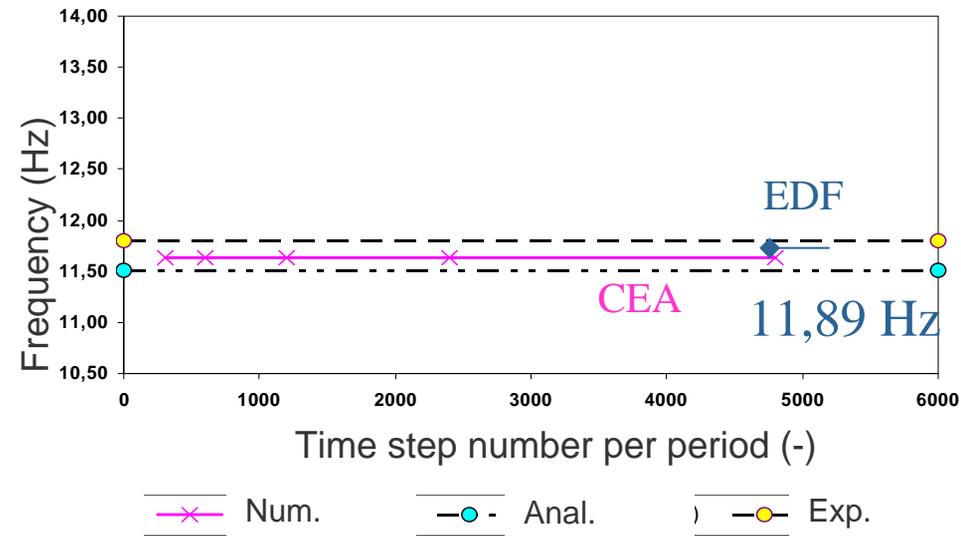
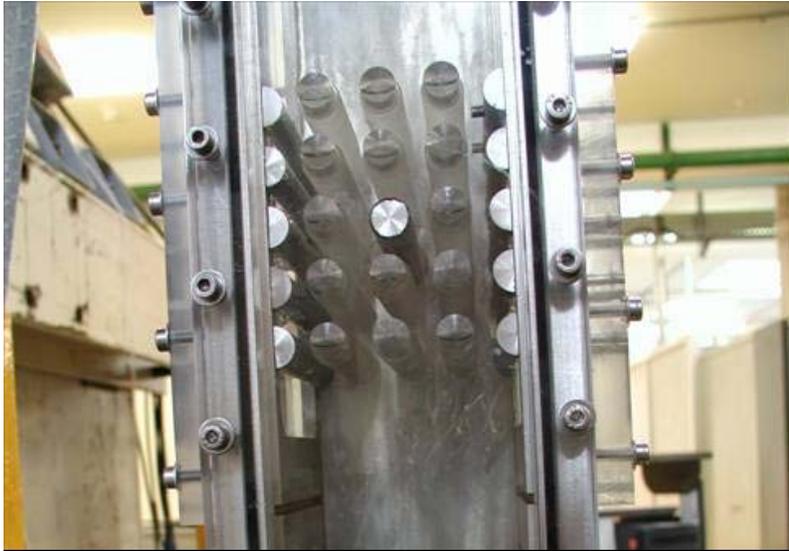
3. Coupleur IFS : exemples d'applications

Identification de couplages de modes (deux cylindres couplés)



3. Coupleur IFS : exemples d'applications

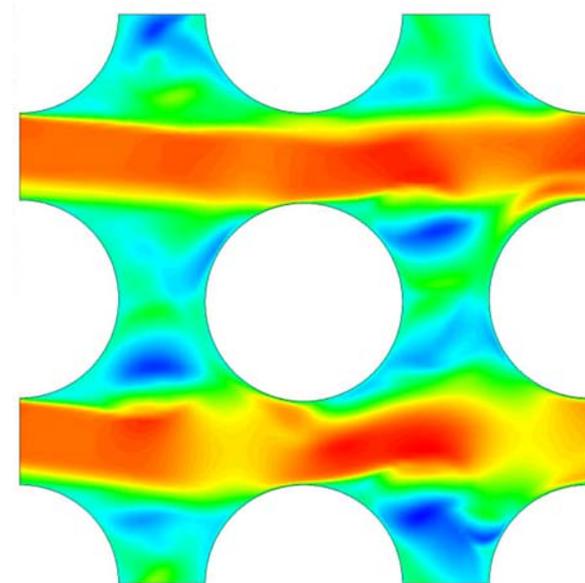
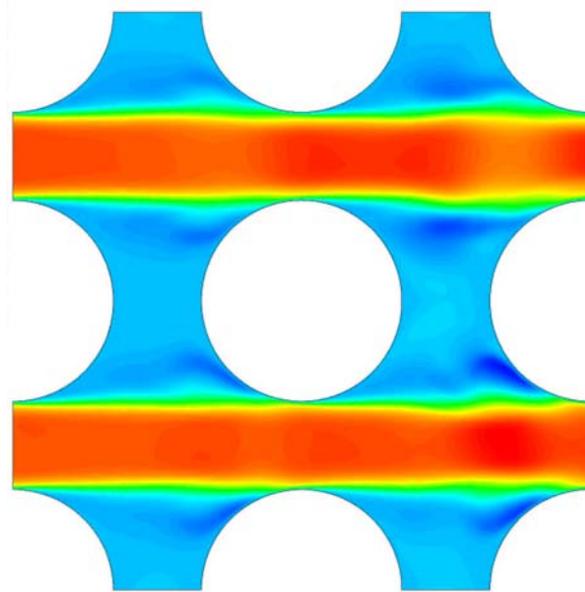
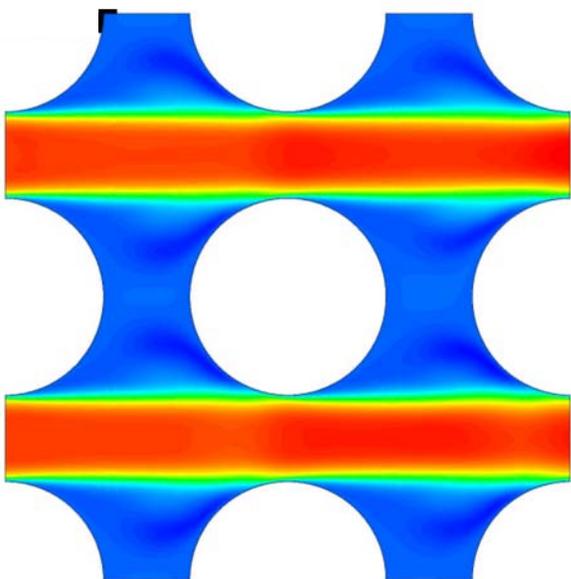
Identification de coefficients de vitesse critique de départ en instabilité (faisceau de tubes)



3. Coupleur IFS : exemples d'applications

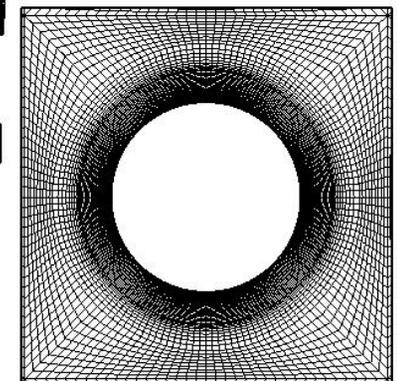
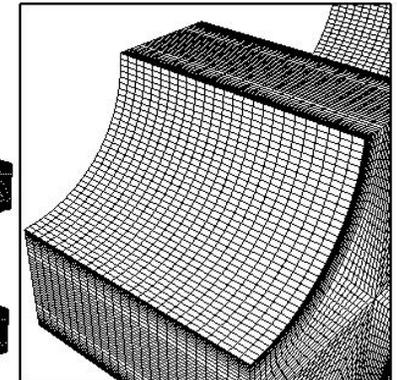
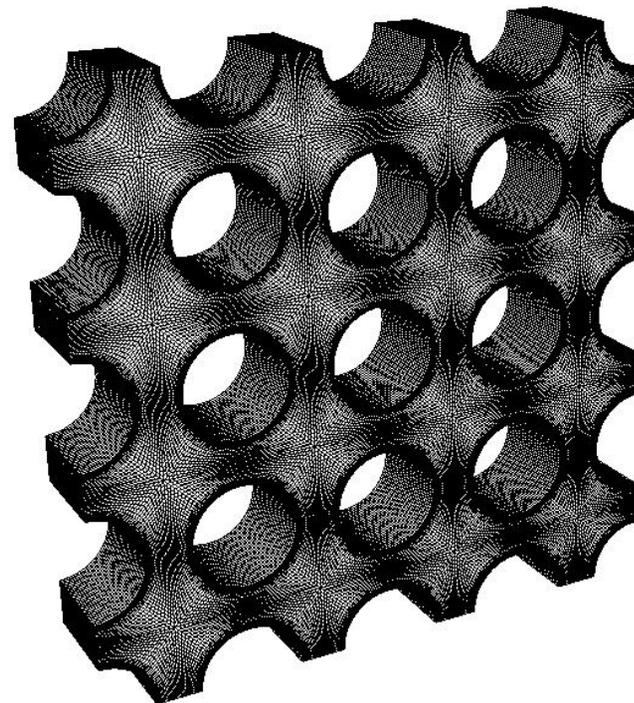
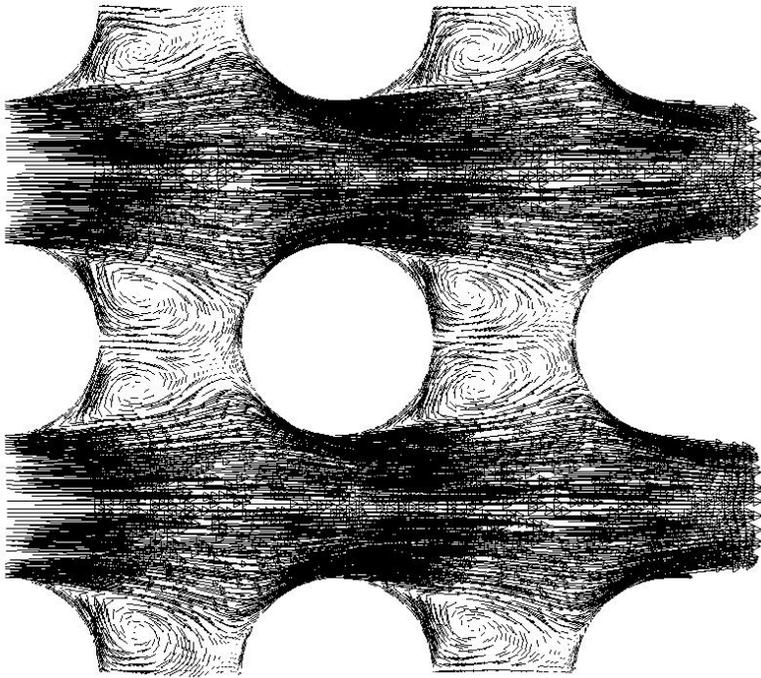


Identification de coefficients de vitesse critique de départ en instabilité (faisceau de tubes)



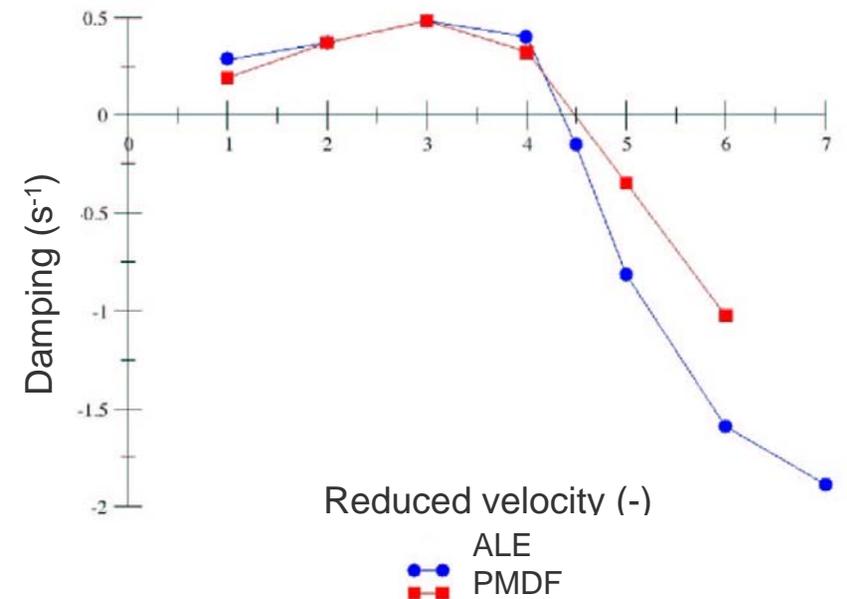
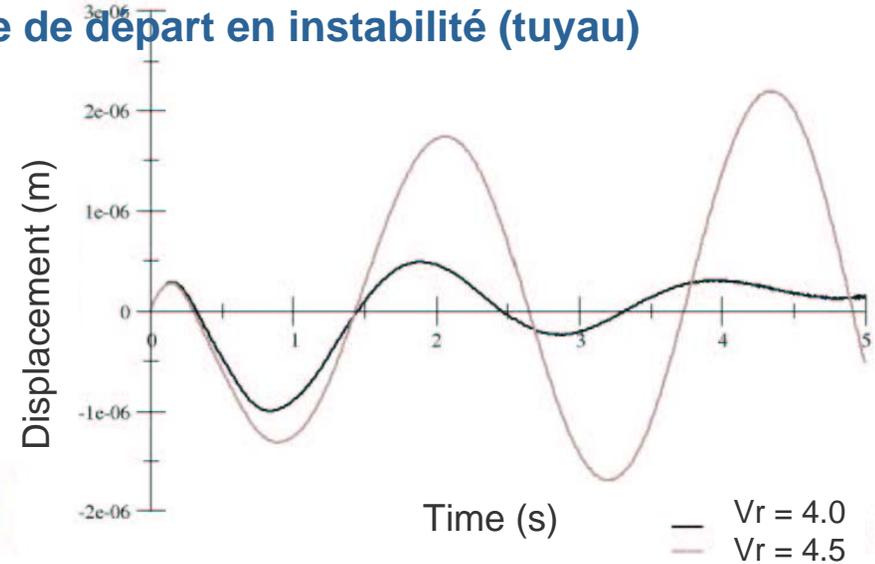
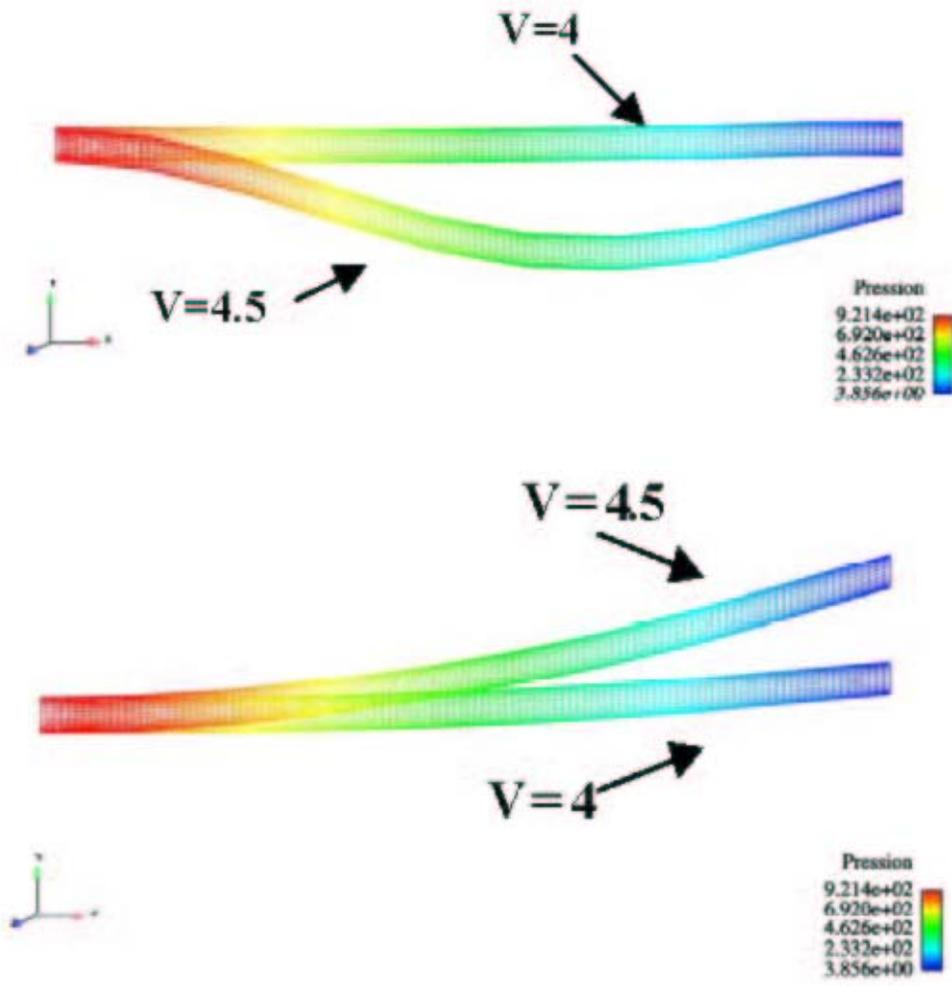
3. Coupleur IFS : exemples d'applications

Turbulence, effets 3D, vibrations induites par écoulements (faisceau de tubes)



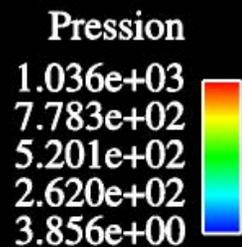
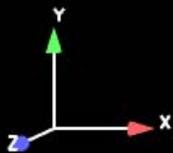
3. Coupleur IFS : exemples d'applications

Identification de coefficients de vitesse critique de départ en instabilité (tuyau)



3. Coupleur IFS : exemples d'applications

Identification de coefficients de vitesse critique de départ en instabilité (tuyau)



4. Coupleur IFS : utilisation



4. Coupleur IFS : utilisation

Démonstrateur : cas de la lame flexible

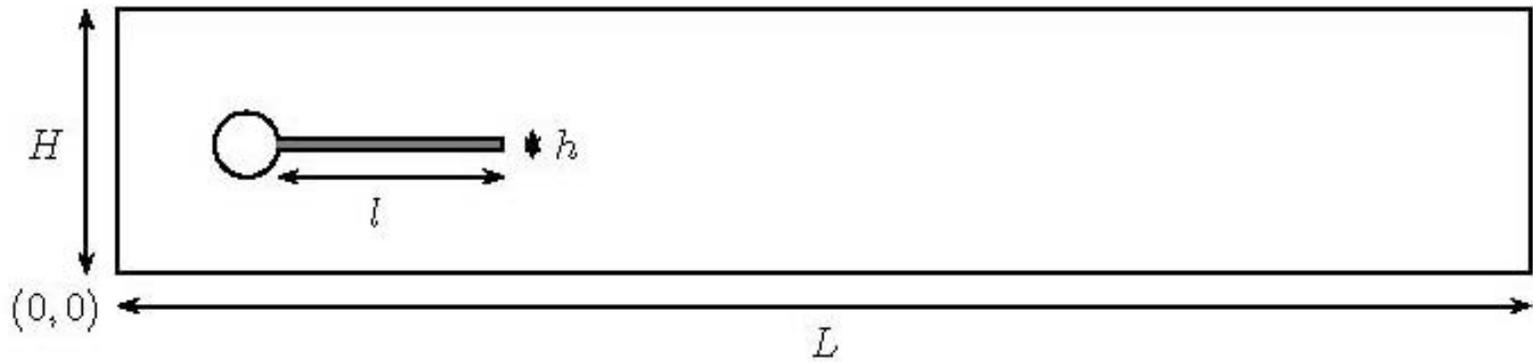


Figure1. Computational domain

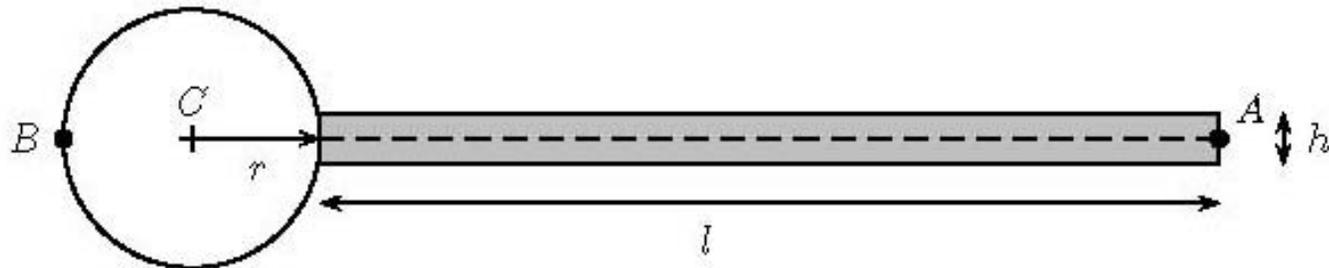
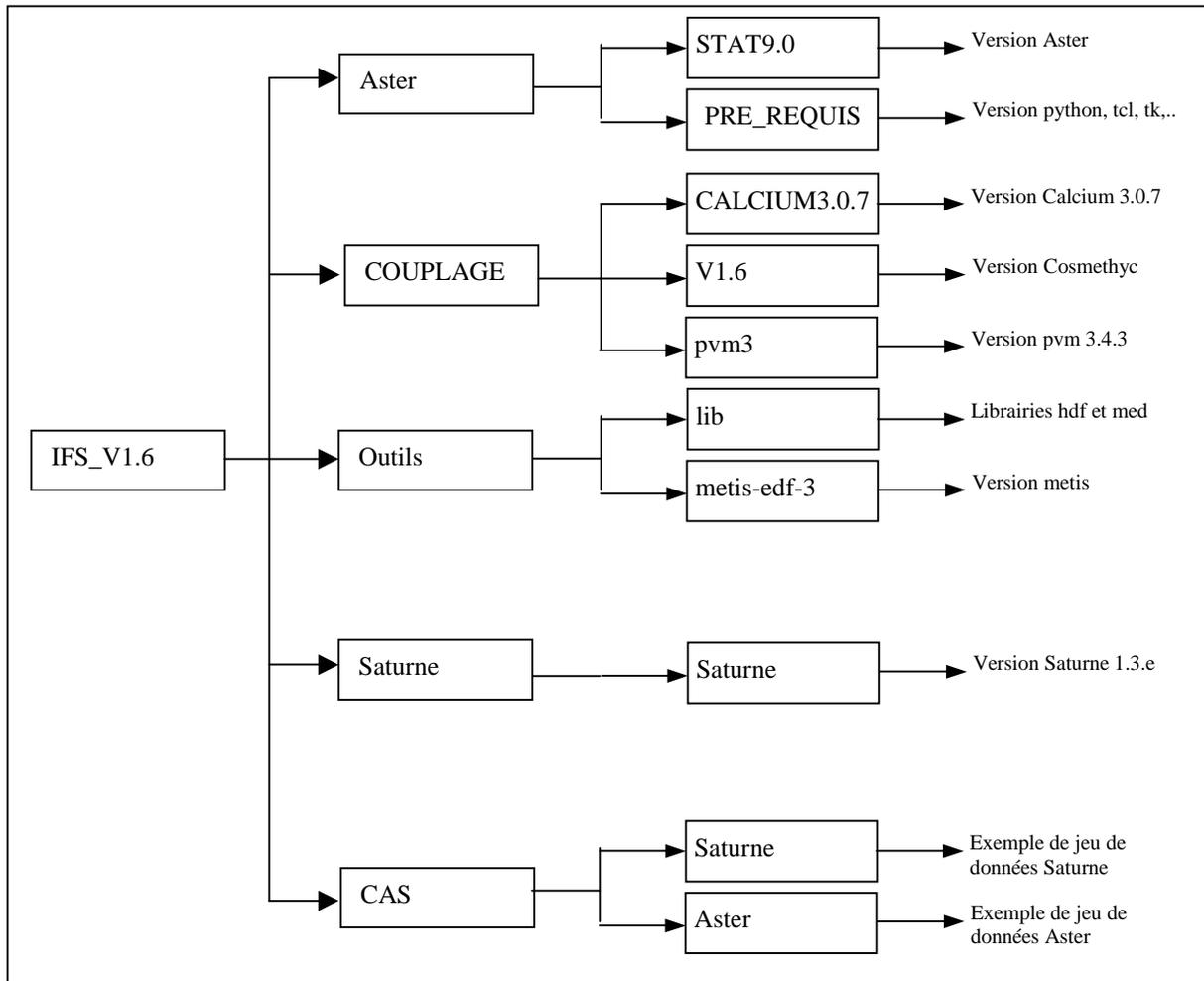


Figure2. Detail of the structure part

4. Coupleur IFS : utilisation

Démonstrateur : cas de la lame flexible

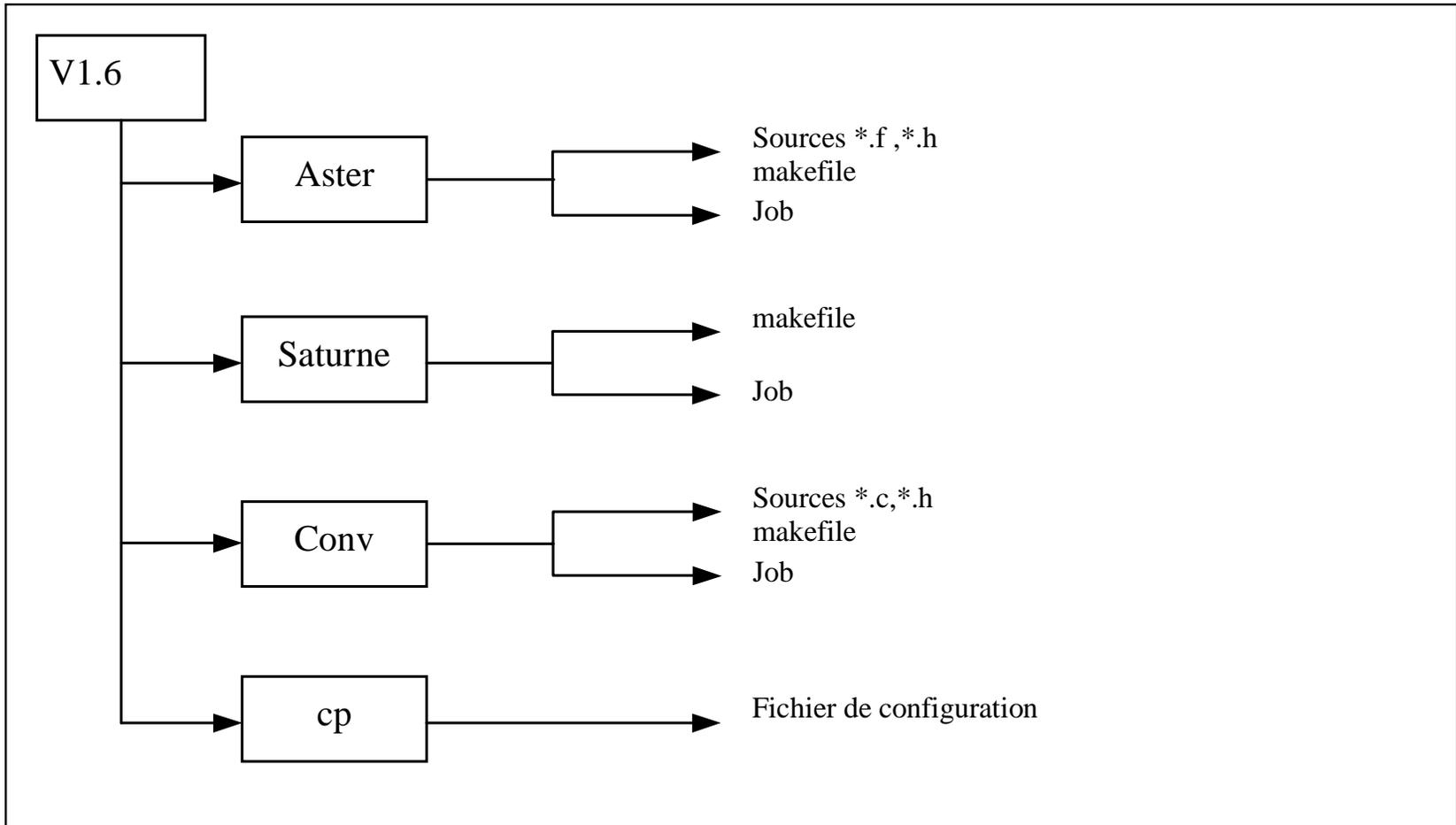
Coupleur : Mise en donnée de *Cosmethyc* :



4. Coupleur IFS : utilisation

Démonstrateur : cas de la lame flexible

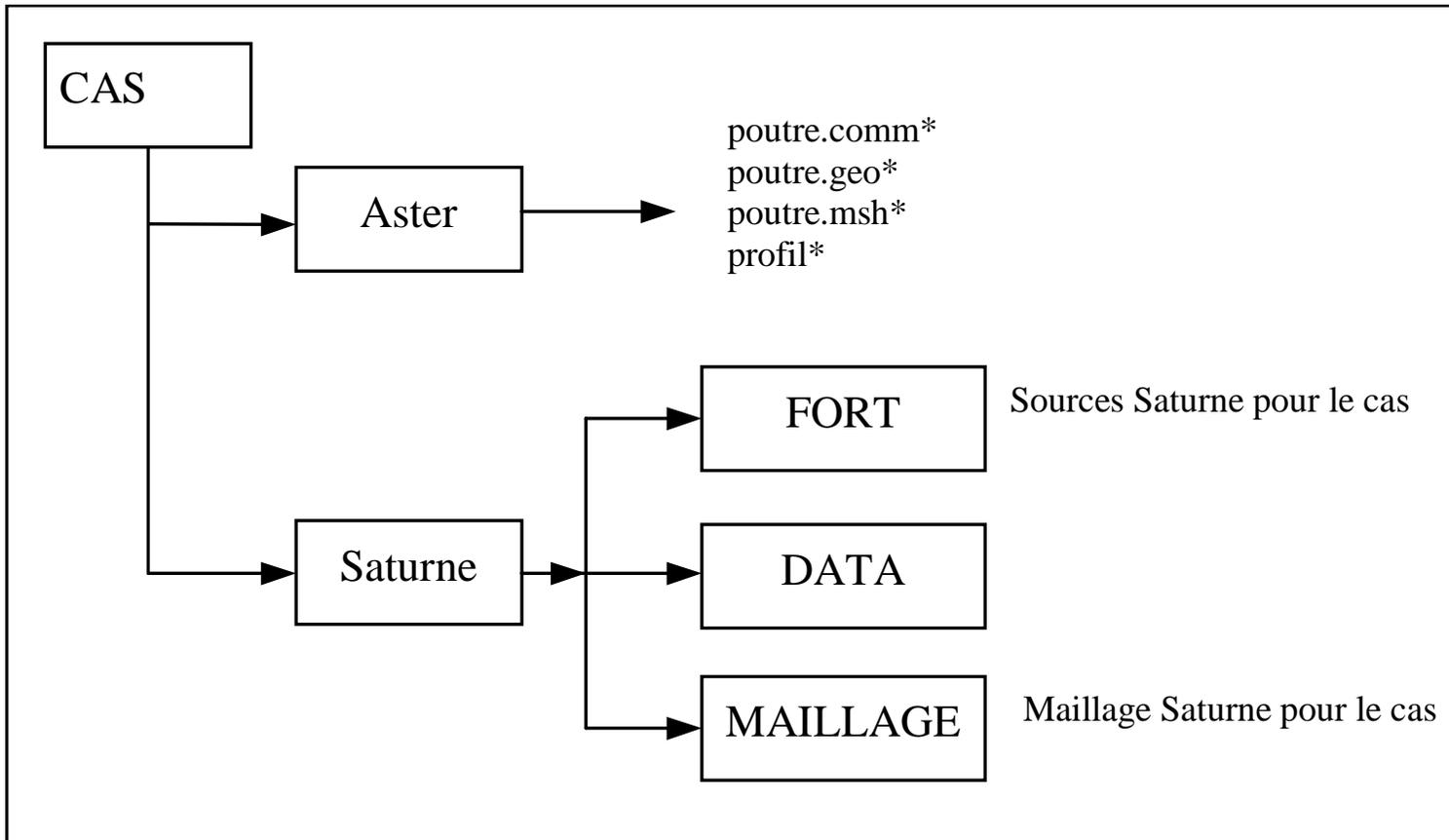
Coupleur : Mise en donnée de *Cosmethyc* :



4. Coupleur IFS : utilisation

Démonstrateur : cas de la lame flexible

Coupleur : Mise en donnée de *Cosmethyc* :



4. Coupleur IFS : utilisation

Démonstrateur : cas de la lame flexible

Coupleur : Mise en donnée de *Cosmethyc* :

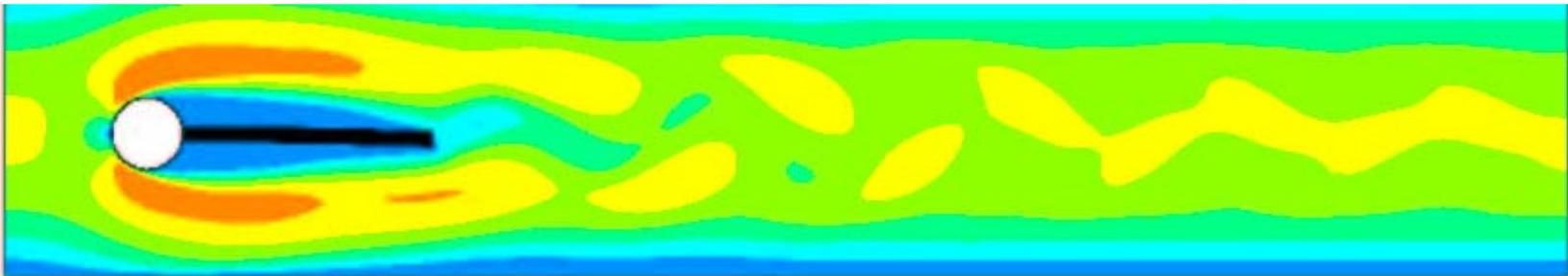
```
nbproc=2
timeout=300
ens=2
tmax=.01
seuil=1.E3
dt=1e-3
nimp=1
mode=1
MAILLAGE=poutre.des
itype=2 # Calcul explicite
mem=20
DATA_SATURNE=$DATA
RESULTATS=$RESULTATS
REPTRAV=`pwd`
```

3. Coupleur IFS : utilisation

Démonstrateur : cas de la lame flexible

Coupleur : Mise en donnée de *Cosmethyc* :

Turek, Hron 2005



4. Coupleur IFS : perspectives

Qualifications, évolutions, applications

