

Simulation numérique bidimensionnelle de l'interaction Fluide-structure

Présenté par les étudiants : Abderraouf BEZZOUZA
et Imed Eddine HACHACHNA

Proposé et dirigé par : Dr. Laïd MESSAOUDI

Université de BATNA 2
Faculté de Technologie
Département de Génie Mécanique
Spécialité : Génie Énergétique

Soutenu le 21 juin 2017

Interaction
Fluide-Structure

Abderraouf et
Imed Eddine

Introduction et
objectifs

Couplage Fluide
Structure

Simulation avec
ANSYS

Simulation avec
COMSOL

Conclusion
générale et
perspectives

Plan de l'exposé

Introduction et objectifs

Couplage Fluide Structure

Définitions

Types et Algorithmes

Système d'Équations

Position du problème

Démarche à suivre pour la simulation

Simulation avec ANSYS

Conception

Maillage

Résultats

Simulation avec COMSOL

Conception

Maillage

Résultats

Conclusion générale et perspectives

Interaction
Fluide-Structure

Abderraoof et
Imed Eddine

Introduction et
objectifs

Couplage Fluide
Structure

Simulation avec
ANSYS

Simulation avec
COMSOL

Conclusion
générale et
perspectives

Introduction

Interactions fluide-structure c'est une définition d'un phénomène qui représente l'effet de la dynamique des fluides sur les structures ou bien l'influence de la déformation des structures sur le comportement du fluide.

La mécanique des interactions fluide-structure est née d'un besoin, d'une nécessité de compréhension des phénomènes complexes faisant intervenir plusieurs disciplines scientifiques.

Interaction
Fluide-Structure

Abderrraouf et
Imed Eddine

Introduction et
objectifs

Couplage Fluide
Structure

Simulation avec
ANSYS

Simulation avec
COMSOL

Conclusion
générale et
perspectives

7

Introduction

Généralement :

- ▶ En mécanique des solides, les fluides sont considérés comme ayant une influence négligeable ou alors modélisés de manière très grossière.
- ▶ En mécanique des fluides, les solides sont vus uniquement comme des frontières d'analyse.

L'expérience a prouvé que ces approximations étaient parfaitement valides dans de nombreux cas, mais elle a montré aussi que dans certaines situations cette vision ne suffit plus ; les interactions entre solides et fluides doivent être prises en compte.

On parle alors de couplage F-S.

Interaction
Fluide-Structure

Abderrraouf et
Imed Eddine

Introduction et
objectifs

Couplage Fluide
Structure

Simulation avec
ANSYS

Simulation avec
COMSOL

Conclusion
générale et
perspectives

Domaine d'utilisation

La mécanique des interactions fluide-structure intervient dans des plusieurs domaines.

Aéronautique



Interaction
Fluide-Structure

Abderraoof et
Imed Eddine

Introduction et
objectifs

Couplage Fluide
Structure

Simulation avec
ANSYS

Simulation avec
COMSOL

Conclusion
générale et
perspectives

⌂

Domaine d'utilisation

La mécanique des interactions fluide-structure intervient dans des plusieurs domaines.

Maritime



Interaction
Fluide-Structure

Abderraoof et
Imed Eddine

Introduction et
objectifs

Couplage Fluide
Structure

Simulation avec
ANSYS

Simulation avec
COMSOL

Conclusion
générale et
perspectives

Γ:

Domaine d'utilisation

La mécanique des interactions fluide-structure intervient dans des plusieurs domaines.

Transport des huiles



Interaction
Fluide-Structure

Abderraoof et
Imed Eddine

Introduction et
objectifs

Couplage Fluide
Structure

Simulation avec
ANSYS

Simulation avec
COMSOL

Conclusion
générale et
perspectives

Domaine d'utilisation

La mécanique des interactions fluide-structure intervient dans des plusieurs domaines.

Construction civile



Interaction
Fluide-Structure

Abderraoof et
Imed Eddine

Introduction et
objectifs

Couplage Fluide
Structure

Simulation avec
ANSYS

Simulation avec
COMSOL

Conclusion
générale et
perspectives

Domaine d'utilisation

La mécanique des interactions fluide-structure intervient dans des plusieurs domaines.

Énergie



Interaction
Fluide-Structure

Abderraoof et
Imed Eddine

Introduction et
objectifs

Couplage Fluide
Structure

Simulation avec
ANSYS

Simulation avec
COMSOL

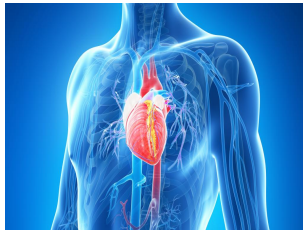
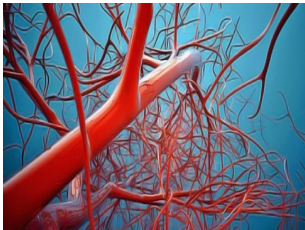
Conclusion
générale et
perspectives

□

Domaine d'utilisation

La mécanique des interactions fluide-structure intervient dans des plusieurs domaines.

Biomécanique



Interaction
Fluide-Structure

Abderraoof et
Imed Eddine

Introduction et
objectifs

Couplage Fluide
Structure

Simulation avec
ANSYS

Simulation avec
COMSOL

Conclusion
générale et
perspectives

□

Objectif

L'objectif de notre travail est de simuler l'écoulement autour d'une structure rigide et la compréhension de la modélisation de l'interaction entre un fluide en écoulement et une structure déformable.

Interaction
Fluide-Structure

Abderrahouf et
Imed Eddine

Introduction et
objectifs

Couplage Fluide
Structure

Simulation avec
ANSYS

Simulation avec
COMSOL

Conclusion
générale et
perspectives

Interactions Fluide Structure

Interaction
Fluide-Structure

Abderrraouf et
Imed Eddine

Introduction et
objectifs

Couplage Fluide
Structure

L'interaction fluide-structure est un phénomène qui traduit les effets réciproque de deux milieux continus, fluide et solide. Le couplage des deux milieux est imposé par un ensemble de conditions qui contraignent leurs mouvements relatifs de telle sorte que l'évolution de chaque milieu dépend de celle de l'autre. Il est donc nécessaire de simuler numériquement l'évolution du fluide et de la structure. Le développement et/ou l'utilisation d'un code numérique est nécessaire.

Simulation avec
ANSYS

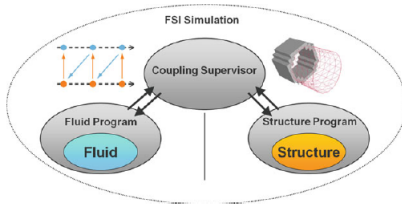
Simulation avec
COMSOL

Conclusion
générale et
perspectives

Interactions Fluide Structure

De façon générale, la simulation numérique de problèmes couplés fluide/structure utilisera les éléments suivants :

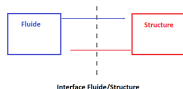
- ▶ Un code de dynamique des structures
- ▶ Un code de dynamique des fluides
- ▶ Une interface de couplage en espace
- ▶ Une interface de couplage en temps



Types et algorithmes de couplages

Couplage faible

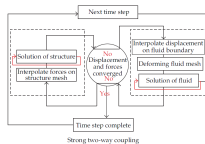
- ▶ Les conditions de continuité à l'interface ne sont pas assurées exactement à chaque pas de temps.
- ▶ Les échanges d'énergie ne vérifient pas strictement le principe d'action/réaction.



Types et algorithmes de couplages

Couplage fort

- ▶ Les équations sont résolues simultanément.
- ▶ Les échanges d'énergies entre les deux systèmes vérifient de façon exacte le principe d'action/réaction.



Strong two-way coupling

Systeme d'équations

Interaction
Fluide-Structure

Abderraoof et
Imed Eddine

Introduction et
objectifs

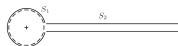
Couplage Fluide
Structure

Le problème globale .

- ▶ Équations de sous problème Fluide.
- ▶ Équations de sous problème solide.
- ▶ Conditions de couplage.

Simulation avec
ANSYS

Simulation avec
COMSOL



Conclusion
générale et
perspectives

□

Équations du Fluide

Interaction
Fluide-Structure

Abderrraouf et
Imed Eddine

Introduction et
objectifs

Couplage Fluide
Structure

On considère que l'écoulement du fluide est :

- ▶ Bidimensionnelle.
- ▶ Instationnaire.
- ▶ Incompressible.
- ▶ Laminaire.

Simulation avec
ANSYS

Équations de Navier-Stokes

$$\rho^f \frac{\partial \vec{v}^f}{\partial t} + \rho^f \left(\vec{v}^f \cdot \nabla \right) \vec{v}^f = -\vec{\nabla} p + \mu \nabla \cdot \left(\nabla \vec{v}^f \right)$$

Simulation avec
COMSOL

Conclusion
générale et
perspectives

Équations du Fluide

Interaction
Fluide-Structure

Abderraoof et
Imed Eddine

Introduction et
objectifs

Couplage Fluide
Structure

On considère que l'écoulement du fluide est :

- ▶ Bidimensionnelle.
- ▶ Instationnaire.
- ▶ Incompressible.
- ▶ Laminaire.

Simulation avec
ANSYS

Équation de continuité

$$\frac{\partial \rho^f}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho^f \vec{v}^f) = 0$$

Simulation avec
COMSOL

Conclusion
générale et
perspectives

Équations du Solide

On considère que :

- ▶ Élastique.
- ▶ Compressible (Déformable).

Equation d'elasticité

$$\rho^s \frac{\partial v^s}{\partial t} + \rho^s (\nabla v^s) v^s = \operatorname{div}(\sigma^s) + \rho^s g$$

$$\rho^s \frac{\partial^2 u^s}{\partial t^2} = \operatorname{div}(J \sigma^s F^{-T}) + \rho^s g$$

u^s Déplacement

$v^s = \frac{\partial u^s}{\partial t}$ Vitesse

$F = I + \nabla u^s$ Tenseur du gradient de déformation

Équations de Couplage

- ▶ Conditions d'adhérence pour le fluide.
- ▶ Conservation des efforts sur l'interface.

Conditions de couplage

$$\sigma^f n = \sigma^s n$$

$$v^f = v^s$$

Géométrie et Dimensions

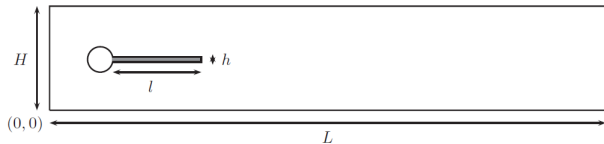
Interaction
Fluide-Structure

Abderraouf et
Imed Eddine

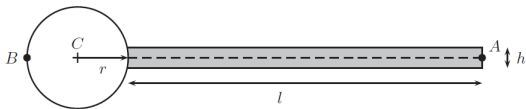
Introduction et
objectifs

Couplage Fluide
Structure

Les paramètres géométriques de notre problème sont :



Simulation avec
ANSYS



Simulation avec
COMSOL

Conclusion
générale et
perspectives

Γ:

Conditions Limites et Initiales

- ▶ Conditions d'adhérence aux niveau du parois exterieur .
- ▶ Conditions d'adhérence pour le fluide aux niveau de l'interface du domaine solide.
- ▶ Aux niveau du solveur on ne fait rien pour la condition du sortie
- ▶ Dans les cas stationnaire la vitesse d'entre est défini par le profile suivant :

$$v^f(y, 0) = 1.5 \cdot \bar{U} \cdot \frac{y \cdot (H - y)}{\left(\frac{H}{2}\right)^2}$$

- ▶ Dans les cas instationnaire la vitesse d'entre est défini par le profile suivant :

$$v^f(y, t) = \begin{cases} 1.5 \cdot \bar{U} \cdot \frac{y \cdot (H - y)}{\left(\frac{H}{2}\right)^2} \cdot \frac{1 - \cos\left(\frac{\pi}{2} t\right)}{2} & \text{si } t < 2 \\ 1.5 \cdot \bar{U} \cdot \frac{y \cdot (H - y)}{\left(\frac{H}{2}\right)^2} & \text{si } t \geq 2 \end{cases}$$

Profile parabolique

```
#include "prof.h"  
void F_PROFILE(intIter, thread, nv)  
{  
  float x[3];  
  float y[3];  
  float z[3];  
  F_PROFILE(thread, nv) = CL.5*VM*y*(CL-Cy/H3)/(H/433);  
}  
end_f_loop(F, thread)
```

Variations de la vitesse =f(t)

```
#include "prof.h"  
void F_PROFILE(intIter, thread, nv)  
{  
  float x[3];  
  float y[3];  
  float z[3];  
  F_PROFILE(thread, nv) = CL.5*VM*y*(CL-Cy/H3)/(H/433)+CL*cos(PI*t/233)/2;  
}  
end_f_loop(F, thread)
```

Tableaux des configurations

Teste CFD

		CFD1	CFD2	CFD3
Structure		Rigide		
Fluide	Vitesse $\left[\frac{m}{s}\right]$	0.2	1	2
	Régime	$v^f = C^{te}$	$v^f = C^{te}$	$v^f = f(t)$

Teste IFS

		IFS1	IFS2	IFS3
Structure		Flexible (Déformable)		
Fluide	Vitesse $\left[\frac{m}{s}\right]$	0.2	1	2
	Régime	$v^f = C^{te}$	$v^f = f(t)$	$v^f = f(t)$

Conception

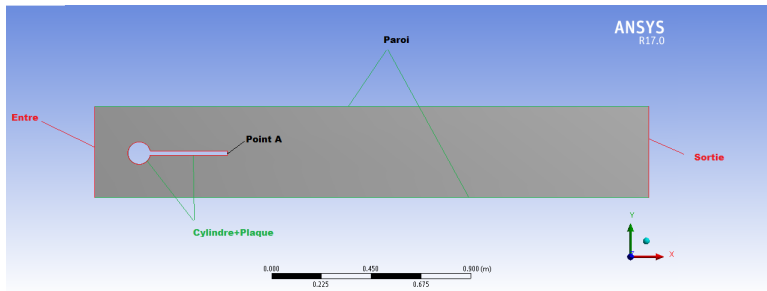
Interaction
Fluide-Structure

Abderraouf et
Imed Eddine

Introduction et
objectifs

Couplage Fluide
Structure

La conception de la géométrie ainsi que du domaine de calcul est réalisée à l'aide du module "Design-modeler".



Simulation avec
ANSYS

Simulation avec
COMSOL

Conclusion
générale et
perspectives

Maillage

Interaction
Fluide-Structure

Abderrraouf et
Imed Eddine

Introduction et
objectifs

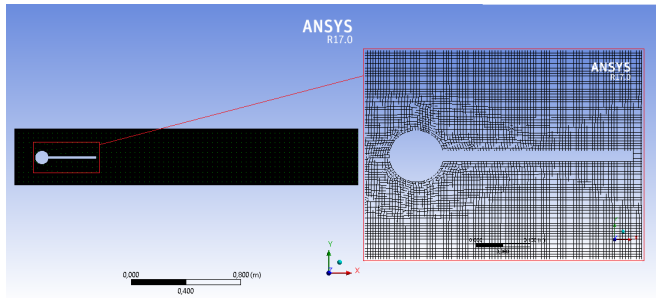
Couplage Fluide
Structure

Simulation avec
ANSYS

Simulation avec
COMSOL

Conclusion
générale et
perspectives

Le maillage du domaine de calcul est réalisé avec
“Ansys-Meshing”.



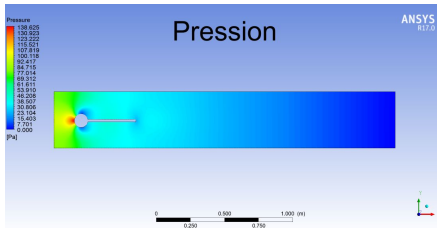
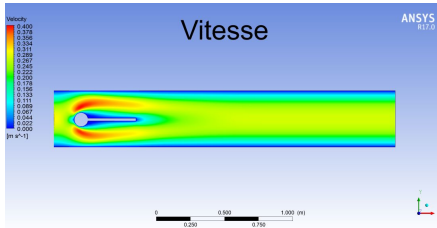
CFD 1

Interaction
Fluide-Structure

Abderraouf et
Imed Eddine

Introduction et
objectifs

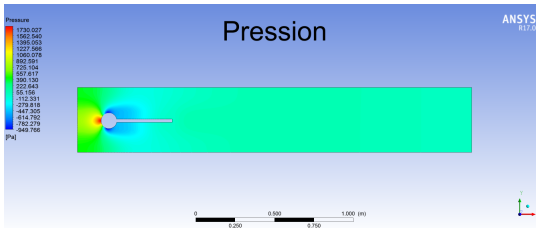
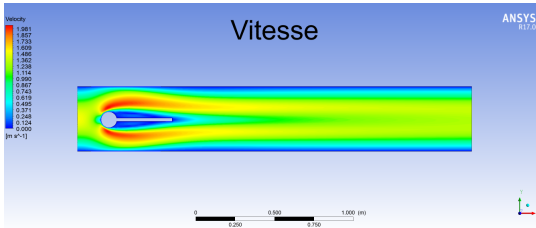
Couplage Fluide
Structure



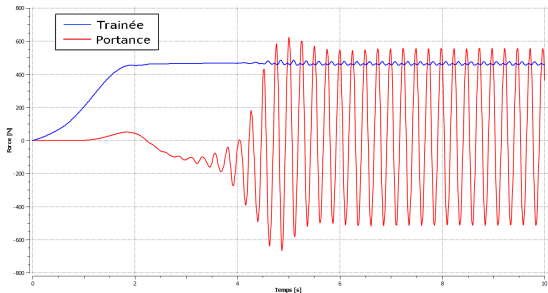
Simulation avec
ANSYS

Simulation avec
COMSOL

Conclusion
générale et
perspectives



Les calculs de ce test prennent 2 heures et 7 minutes.



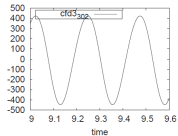
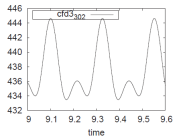
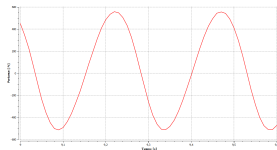
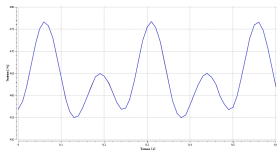
CFD 3

Interaction
Fluide-Structure

Abderraouf et
Imed Eddine

Introduction et
objectifs

Couplage Fluide
Structure



Simulation avec
ANSYS

Simulation avec
COMSOL

Conclusion
générale et
perspectives

Conception

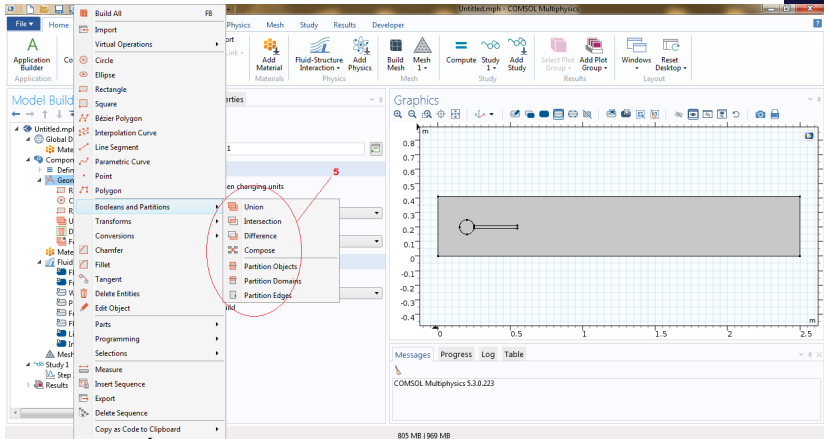
La conception de la géométrie est réalisée à l'aide du module de Design intégré dans "COMSOL".

Interaction
Fluide-Structure

Abberreraouf et
Imed Eddine

Introduction et
objectifs

Couplage Fluide
Structure



ulation avec
YS

ulation avec
MSOL

clusion
rale et
perspectives

Maillage

Interaction
Fluide-Structure

Abderraouf et
Imed Eddine

Introduction et
objectifs

Maillage Fluide
Structure

Simulation avec
ANSYS

Simulation avec
COMSOL

Conclusion
générale et
perspectives

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics software interface. The top menu bar includes File, Home, Definitions, Geometry, Materials, Physics, Mesh, Study, Results, and Developer. The ribbon contains various tool icons for Application Builder, Component, Parameters, Import, Add Material, Fluid-Structure Interaction, Add Physics, Build Mesh, Compute, Study, Add Study, Select Plot Group, Add Plot Group, Windows, and Reset Desktop.

The **Model Builder** pane on the left shows the **Mesh** node selected. The **Properties** pane for the **Mesh** node is visible, with the **Build All** button circled in red and labeled **Clic**. The **Mesh Settings** section shows the **Sequence type** set to **Physics-controlled mesh** and the **Element size** set to **Coarser**. Red arrows point from the text labels to these settings:

- Maillage a modifier** points to the **Build All** button.
- Maillage automatique** points to the **Physics-controlled mesh** option.
- Niveau du maillage** points to the **Coarser** option in the **Element size** dropdown.

The **Graphics** pane on the right shows a 3D visualization of a bone model with a mesh applied. The axes are labeled in meters (m), ranging from 0 to 2.5 on the x-axis and -0.5 to 0.9 on the y-axis.

The **Messages** pane at the bottom shows the following text:

```
COMSOL Multiphysics 5.3.0.223
Formed union of 2 solid objects.
Finalized geometry has 3 domains, 13 boundaries, and 12 vertices.
```

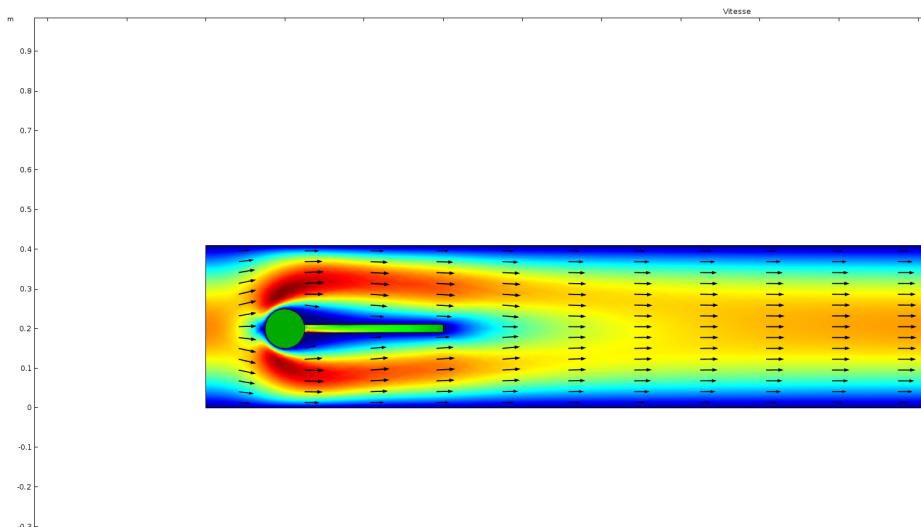
The status bar at the bottom indicates 774 MB | 896 MB.

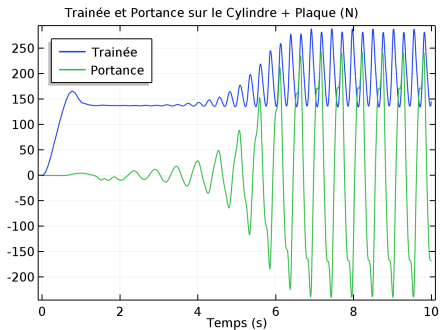
FSI 1

Interaction
Fluide-Structure

Abderraoof et
Imed Eddine

Introduction et
objectifs





FSI 2

Interaction
Fluide-Structure

Abderraouf et
Imed Eddine

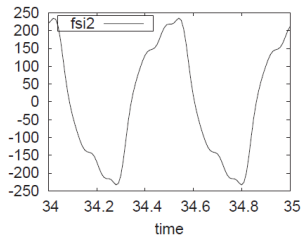
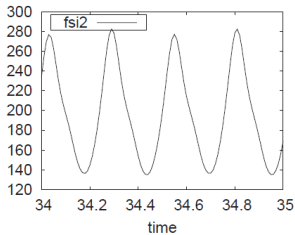
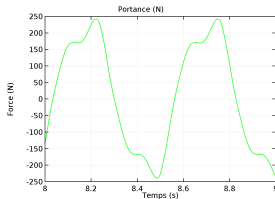
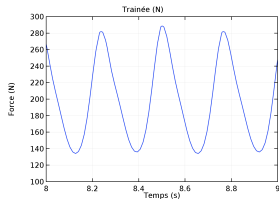
Introduction et
objectifs

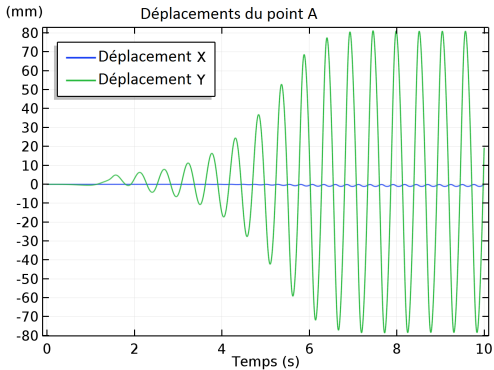
Couplage Fluide
Structure

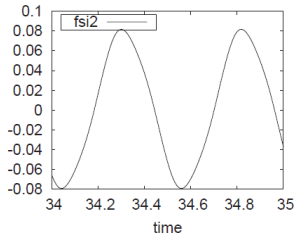
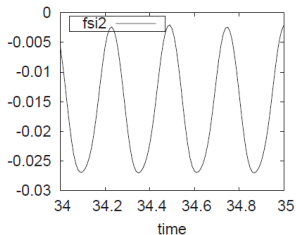
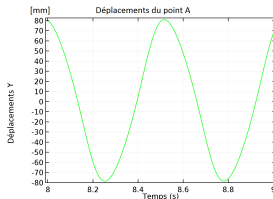
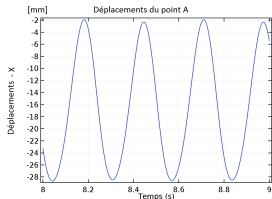
Simulation avec
ANSYS

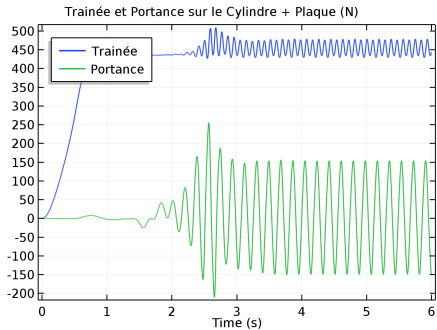
Simulation avec
COMSOL

Conclusion
générale et
perspectives









FSI 3

Interaction
Fluide-Structure

Abderraouf et
Imed Eddine

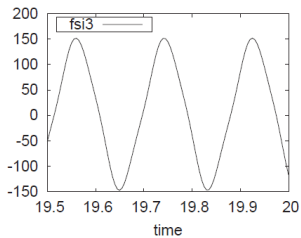
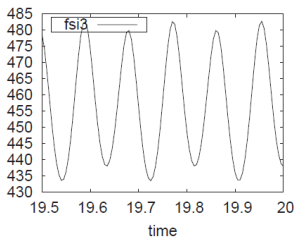
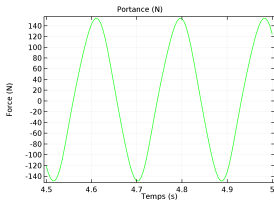
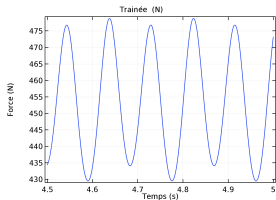
Introduction et
objectifs

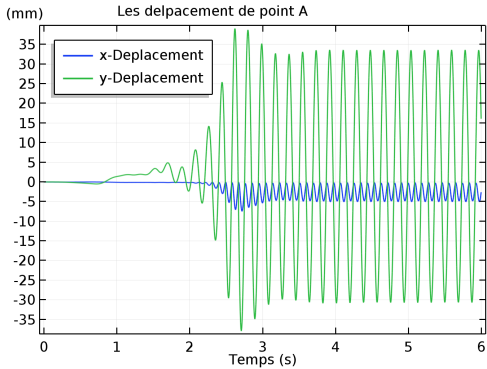
Couplage Fluide
Structure

Simulation avec
ANSYS

Simulation avec
COMSOL

Conclusion
générale et
perspectives





FSI 3

Interaction
Fluide-Structure

Abderraoof et
Imed Eddine

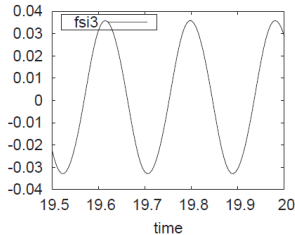
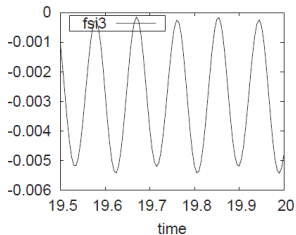
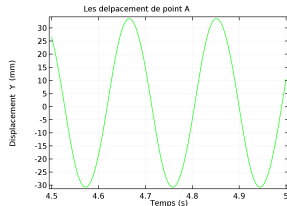
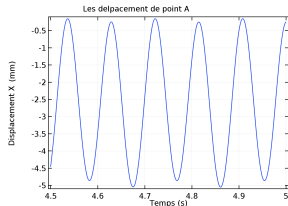
Introduction et
objectifs

Couplage Fluide
Structure

Simulation avec
ANSYS

Simulation avec
COMSOL

Conclusion
générale et
perspectives



Conclusion

Vu les moyens dont nous disposons, nous pouvons conclure que nous avons trouvé des résultats cohérents avec ceux qu'on trouve dans la bibliographie et surtout avec l'article [1] que nous avons pris comme référence.

Aussi, le manque de résultats expérimentaux dans la littérature laisse le champ ouvert aux simulations numériques qui, à moindre coûts, permettent d'étudier et de caractériser l'écoulement.

Interaction
Fluide-Structure

Abderrraouf et
Imed Eddine

Introduction et
objectifs

Couplage Fluide
Structure

Simulation avec
ANSYS

Simulation avec
COMSOL

Conclusion
générale et
perspectives

Fin

Merci pour votre
attention :) :)

Interaction
Fluide-Structure

Abderrraouf et
Imed Eddine

Introduction et
objectifs

Couplage Fluide
Structure

Simulation avec
ANSYS

Simulation avec
COMSOL

Conclusion
générale et
perspectives

Fi



Site internet

Aérodynamique : La trainée.

[http : //www.lavionnaire.fr/AerodynTrainee.php](http://www.lavionnaire.fr/AerodynTrainee.php)