

## Séance de Travaux Dirigés 11

### Stabilité d'un profil NACA4412 avec et sans stabilisateur

#### Objectifs de cette séance

1. Mettre en place un modèle pour mener une étude d'Interaction Fluide/Structure associant des mouvements de corps rigides d'un solide et une technique de déformation de maillage (*Morpher*) afin de garantir la condition de compatibilité cinématique avec le solide,
2. Appliquer le modèle à l'analyse de stabilité d'un profil porteur de masse  $m$ , assujéti à une rotation de corps rigide nommé *pitching* autour d'un axe situé le long de la corde. Il sera notamment montré l'effet bénéfique de l'ajout d'un stabilisateur en aval du profil sur la stabilité de l'ensemble.

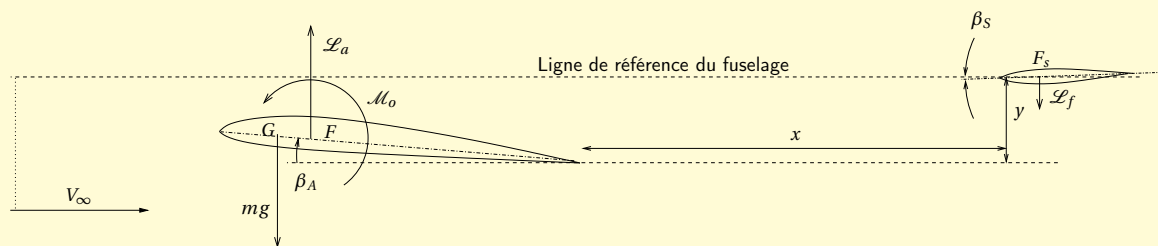


Figure 1 – Illustration générale de l'équilibre des moments (cas déporteur) d'un ensemble profil + stab

On note  $F$  le foyer aérodynamique localisé depuis le bord de fuite à une distance égale au quart de la corde soit  $(L/4)$ .

Quelques principes généraux :

- les calculs seront menés sur des CAO 3D afin de pouvoir bénéficier de toutes les fonctionnalités disponibles pour une analyse de type IFS<sup>1</sup>, ce que ne permet pas encore complètement une analyse 2D sur l'outil,
- afin de ne pas être pénalisé au niveau du maillage, l'épaisseur d'extrusion sera prise suffisamment petite pour obtenir un maillage de type tranche/slice composé de 2 éléments maxi. dans l'épaisseur ( $z$ ).

Le déroulement de cette séance sera progressif et s'appuiera sur les deux étapes suivantes :

1. mise en place de la technique de déformation de maillage *Morpher* de l'outil en s'appuyant sur des mouvements de corps rigides selon  $x$  et  $y$  appliqués au profil seul. Ces mouvements de corps rigides seront successivement :
  - des déplacements imposés axiaux selon les axes  $x$  et  $y$ , s'appuyant sur la création de *Field Functions*,
  - une rotation basée sur la combinaison imposée des deux déplacements selon  $x$  et  $y$ .
2. mise en pratique concrète pour l'analyse de la stabilité en rotation d'un profil de type NACA4412, de masse  $m = 1 \text{ kg}$  et d'inertie  $\mathcal{I}_z = 1 \text{ kg/m}^2$ . Ce dernier est mobile selon le degré de liberté<sup>2</sup> en rotation selon  $z$  (nommé *pitching*). Une première étape consistera à étudier le profil seul, auquel un stabilisateur sera rajouté lors d'une seconde étape pour démontrer l'effet bénéfique de ce dernier sur la stabilité en rotation.

#### Création des CAO

Afin d'éviter la création multiple de CAO, une seule et unique CAO composée d'un domaine fluide incluant un profil et un stabilisateur sera générée dès le début : c'est la désactivation du stabilisateur qui permettra d'étudier la technique de déformation de maillage *morpher* sans son influence puis la stabilité du profil seul. Il vous appartient donc de générer une CAO incluant :

1. Interaction Fluide/Structure  
2. abrégé ddl

- le profil du NACA4412 importé à partir du même fichier .csv que pour la séance de TD3. Ce profil est délimité par les abscisses  $x = 0$  et  $x = 1\text{ m}$ .

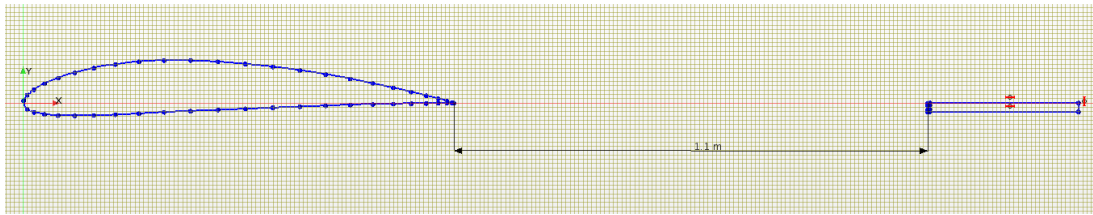


Figure 2 – Profil et stabilisateur

- un plan de stabilisateur simplifié de section rectangulaire ( $0.35\text{ m} \times 0.02\text{ m}$ ), positionné sur l'axe des  $x$  dont le bord d'attaque est situé  $1.1\text{ m}$  en aval du bord de fuite du NACA.

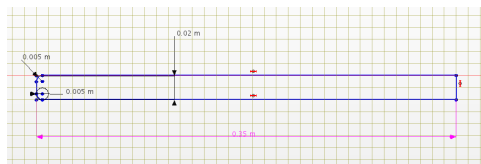


Figure 3 – Dimensions du stabilisateur

- le domaine fluide est un parallépipède s'appuyant sur un domaine rectangulaire délimité par les coins :

Pt1.  $[-1., -1.2]$

Pt2.  $[3.5, +1.3]$

et extrudé sur une épaisseur de  $5\text{ mm}$ .

Les frontières seront toutes nommées en identifiant en particulier *Profil* et *Stab*.

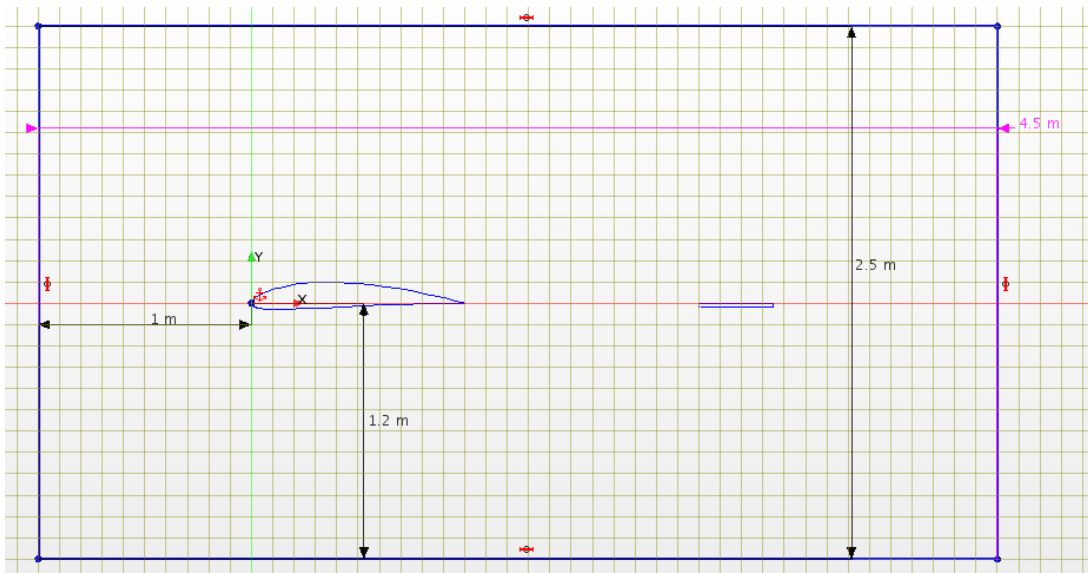
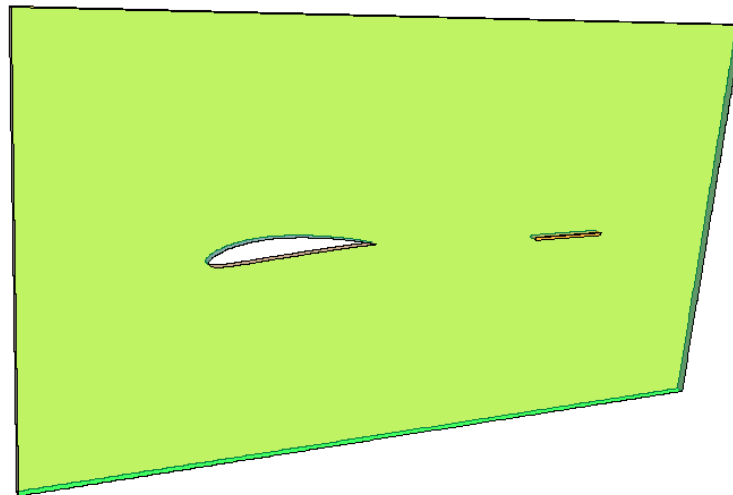


Figure 4 – Vue d'ensemble

Libre à vous d'ajouter une zone de raffinement autour de l'ensemble profil+stabilisateur.

La suite est classique :

- création des **Geometry Parts**,
- création des **Regions**,
- identification des conditions aux limites.

Figure 5 – *Geometry Scene*

## Génération des maillages

Créer un maillage volumique *Automated Mesh* en spécifiant :

- ▷ Surface Remesher,
- ▷ Trimmed Cell Mesher,
- ▷ Prism Layer Mesher.

avec les valeurs suivantes :

- ▷ **Base Size** :  $0.05\text{ m}$
- ▷ **Number of Prism Layers** : 5
- ▷ **Volume Growth Rate** : *fast*

afin de garantir un maillage ne pénalisant pas le temps de calcul (ce n'est pas l'objet de cette session).

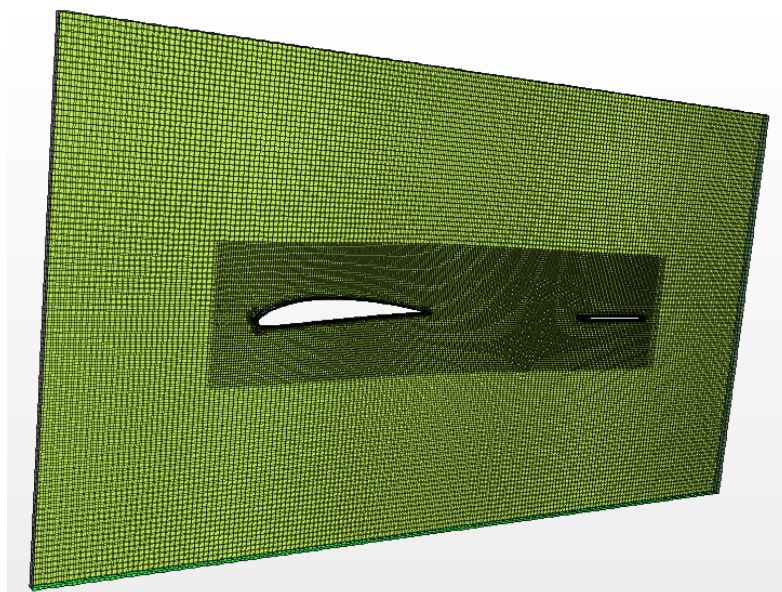


Figure 6 – Maillage volumique trimmé et zone de raffinement

## Choix des modèles physiques

Sélectionner les modèles physiques pour une analyse 3D instationnaire sans modèle de turbulence (qui ne sont pas très compatibles avec une approche transitoire sur maillage mobile). On considère une vitesse horizontale d'écoulement de  $20\text{ m/s}$ .

## Mise en place d'une technique de *morphing* avec mouvements imposés du profil

Cette section vise juste à détailler la mise en place de la technique *Morpher* de déformation de maillage, rendue nécessaire pour garantir la compatibilité des frontières fluides avec le mouvement imposé du profil. Les mouvements imposés sont périodiques et ne servent qu'à illustrer la mise en place de la technique de *Morphing*.

- A l'aide de *Field functions* de type *scalar*, définir deux mouvements imposés *motion-x* et *motion-y* en imposant respectivement les définitions :

$$0.1 * \sin(2 * 3.1415 * 5 * \$Time), \quad 0.2 * \sin(2 * 3.1415 * 8 * \$Time)$$

- Dans **Tools**, clic-droit pour **New > Morphing** pour activer la déformation du maillage,
- Dans **Regions > Fluid > Physics Values > Motion specification** sélectionner **Morphing** pour l'associer au domaine fluide.

Il reste à imposer les mouvements prédéfinis à la frontière *Profil* :

- Dans **Regions > Fluid > Boundaries > Profil > Physics Conditions > Morpher Specification**, sélectionner l'option **Displacement**,
- Dans **Regions > Fluid > Boundaries > Profil > Physics Conditions > Morpher Displacement Specification**, sélectionner l'option **Total** pour considérer un déplacement imposé par rapport à la position d'origine,
- Dans **Physics Values > Morpher Total Linear Displacement** sélectionner l'option *Composite* pour imposer des déplacements selon plusieurs directions.
- Renseigner les *Field Functions* précédemment créées selon *x* et *y* dans **Composite...**

Puis à lancer les calculs :

- Initialiser le calculs
- Créer une *Scalar Scene* et visualiser le champ *Morpher Displacement*
- Lancer le calcul et observer la déformation du maillage.

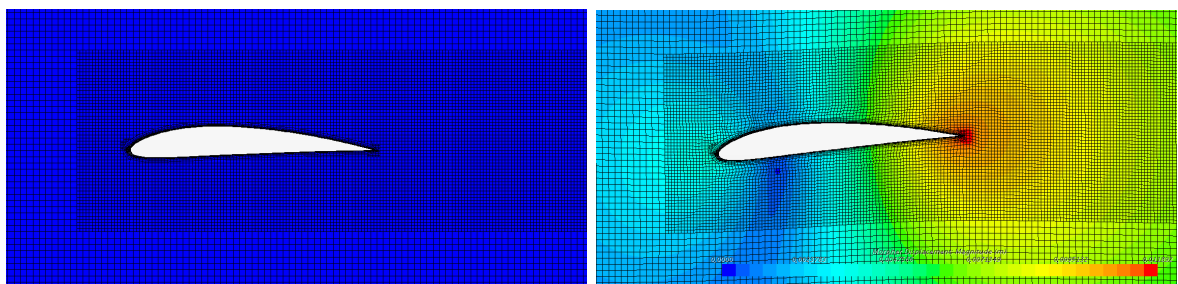


Figure 7 – Déformation du maillage autour du profil

## Couplage IFS

Cette section détaille la mise en place de la technique DFBI pour *Dynamic Fluid Body Interaction* destinée à étudier les effets d'interaction entre un fluide en écoulement et un solide animé de mouvements de corps rigides. La mise en évidence du caractère stable ou instable de la structure sera étudiée au cours des deux étapes :

1. analyse du profil seul,
2. puis prise en compte (*activation*) du stabilisateur.

Procéder comme suit :

- ▷ Dans Tools, clic-droit pour **New > Morphing DFBI**
- ▷ Dans **Regions > Fluid > Physics Values > Motion specification > Motion**, sélectionner l'option **DFBI Morphing**
- ▷ Pour chaque frontière (Profil en premier lieu puis Stab lors d'une seconde étape), dans : **Physics Conditions > Six DOF Morpher Specification > Method** sélectionner l'option **6 DOF Body** pour garantir la compatibilité cinématique entre les mouvements solides et les frontières du domaine fluide.
- ▷ Vérifier qu'un onglet **DFBI** vient d'être créé
- ▷ Clic-droit pour **DFBI > 6-DOF Bodies > New > 3D Body**
- ▷ Renseigner **Body Surface** en sélectionnant Profil (*ne pas considérer pour l'instant le stabilisateur !*)
- ▷ Dans les différents sous-menus de **Body 1**, renseigner :
  - Body mass :  $1\text{ kg}$ ,
  - Center of Mass :  $[0.25, 0, 0]$ ,
  - Moment of Inertia :  $1\text{ kg/m}^2$  (seule la 3ème composante importe).

Afin de faciliter le suivi du calcul, mettre en place les indicateurs suivants explicitant les problèmes de stabilité :

- ▷ Créer un Reports pour visualiser **DFBI Orientation Angle** à superposer sur la *scalar scene*
- ▷ Créer des Reports pour visualiser le moment des efforts exercés sur les composants mobiles (Profil puis Stab plus tard)
- ▷ Afficher la position du centre de masse avec **Scenes > Scalar Scene > Displayers** et sélectionner **New Displayer > DFBI**  
Sélectionner **DFBI 1 > Parts** et renseigner **Parts to 6-DOF Bodies > Profil**.
- ▷ Afficher la composante **Force and Moment** sur le point  $F$  avec **Scenes > Scalar Scene > Displayers** et sélectionner **New Displayer > DFBI**  
Sélectionner the **DFBI 2 > Parts** et renseigner **Parts to 6-DOF Bodies > Profil > External Forces and Moments > Fluid Force and Moment**.

L'existence d'une solution d'équilibre d'une structure en rotation est en effet garantie par l'équilibre des moments autour de l'axe pivot  $F$  situé en  $(L/4)$  :

$$\sum_i \mathcal{M}_i|_F = 0.$$

## Initialisation et calculs

Avant toute analyse d'IFS entre l'écoulement et le solide, il est important d'intégrer une phase préliminaire consistant à calculer une solution CFD convergée en "bloquant" le mouvement du solide :

- ▷ dans le menu **DFBI > 6-DOF Bodies > Body 1 > Body Motion Option**, sélectionner :
  - ▷ l'option *Equilibrium* pour figer la structure,
  - ▷ ou bien l'option *Free Motion* pour rendre à la structure sa mobilité (en deuxième étape).
- ▷ Lancer le calcul et vérifier que quelle que soit la position du centre de masse, la configuration est instable (angle croissant).

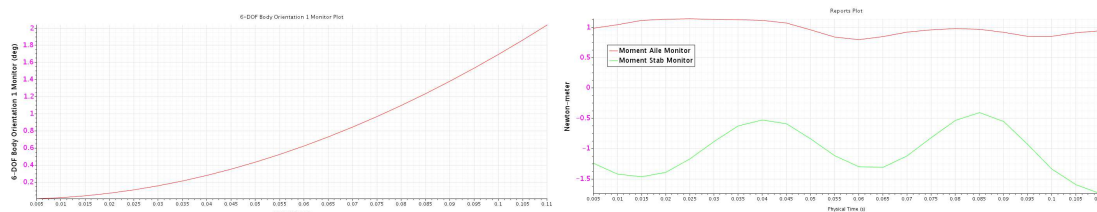


Figure 8 – Historique des indicateurs de stabilité : inclinaison et moments

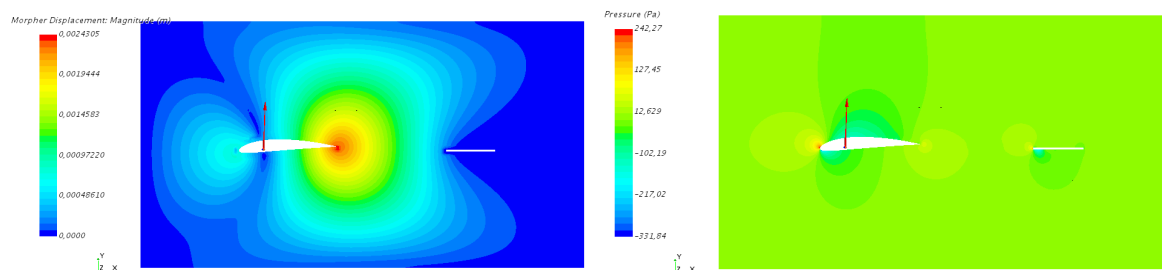


Figure 9 – Champ de déformation du maillage et champ de pression

Afin de palier à cette instabilité, reprendre les calculs en procédant successivement :

1. par l'ajout d'un ressort de torsion dont vous déterminerez la raideur par vous même pour stabiliser la rotation :  
**DFBI > 6-DOF Bodies > Body 1 > External Forces and Moments** puis clic-droit **New > Torsional Spring Moment**
2. puis par l'intégration *physique* du stabilisateur dans la DFBI en :
  - complétant la condition à la limite *Stab*,
  - en ajoutant le composant *Stab* au **DFBI > Body Surface**.

Pour ce second cas, ne pas oublier d'effacer le ressort de torsion !