



MECANIQUE

DES FLUIDES

DOCUMENT PEDAGOGIQUE

TP Ecoulement autour d'un profil d'aile

PLATEFORME D'INGENIERIE EXPERIMENTALE
CAMPUS DE ST CYR L'ECOLE – BATIMENT 4

On étudie l'écoulement autour d'une aile rectangulaire constituée d'un profil NACA 23012 au moyen :

- de prises de pression réparties sur l'intrados et l'extrados ;
- de la mesure des coefficients de portance et de trainée avec une balance d'efforts ;
- d'un code de calcul Euler 2D compressible fourni (ce code ne simule pas la couche limite et son éventuel décollement).

Il est alors possible de comparer les résultats issus des deux types de mesure et du calcul, et de mettre en évidence le phénomène de décollement de la couche limite, ce qui est le but du TP.

1. Profil NACA 23012 (1 heure 30 minutes)

Le profil de l'aile est muni de 24 prises de pression statique numérotées de 1 à 12 côté extrados et de 13 à 24 côté intrados (Figure 1).

L'aile a pour envergure $b = 291$ mm et pour corde $c = 100$ mm.

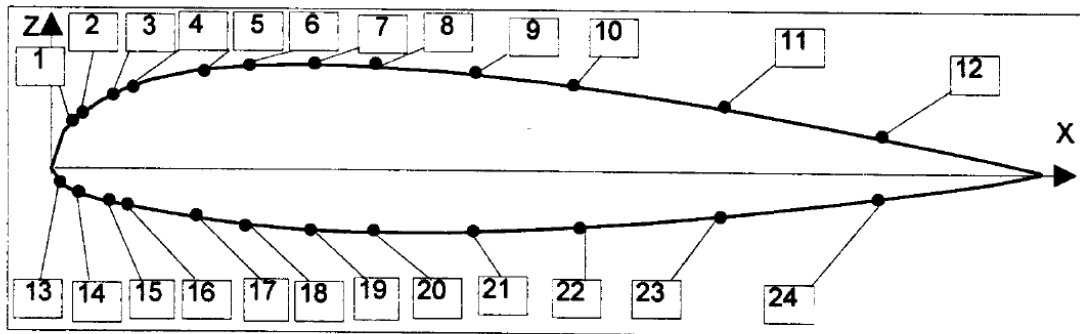


Figure 1 : Prises de pression sur le profil NACA 23012

Les coordonnées des prises de pression sont données dans le Tableau 1.

n° prise	1	2	3	4	5	6	7	8
x (mm)	2,2	3,1	6,2	8,3	15,5	20,1	26,7	33,0
z (mm)	3,4	4,0	5,3	6,0	7,1	7,5	7,7	7,7

n° prise	9	10	11	12	13	14	15	16
x (mm)	43,1	53,0	68,1	84,1	1,0	2,8	5,8	7,7
z (mm)	7,1	6,3	4,7	2,7	-1,0	-1,7	-2,3	-2,5

n° prise	17	18	19	20	21	22	23	24
x (mm)	14,7	19,6	26,3	32,6	42,7	52,6	67,7	83,7
z (mm)	-3,3	-3,8	-4,3	-4,4	-4,3	-4,1	-3,2	-1,9

Tableau 1 : Coordonnées des prises de pressions du profil NACA 23012

2. Balance d'efforts (30 minutes)

En aval du profil NACA 23012 muni de 24 prises de pression, se trouve une balance d'efforts à jauges de contraintes qui permet la mesure des efforts aérodynamiques. Elle peut recevoir un autre profil d'aile NACA 23012. Une électronique de mesure à affichage digital permet d'afficher les valeurs de :

- la portance,
- la traînée,
- le moment de tangage par rapport à l'axe de rotation de la balance

ATTENTION : Systématiquement éteindre la soufflerie pour tout changement d'incidence lorsqu'on utilise la balance d'efforts.

3. Simulation numérique (programme CAEL) (2 heures)

La configuration expérimentale est simulée numériquement par la résolution des équations d'Euler 2D au moyen d'un solveur de type volumes finis sur maillage non structuré. Les différentes étapes de la simulation sont :

1) Préparation des données

Les 2 fichiers nécessaires à l'exécution du programme CAEL sont :

- **naca.inp** : Fichier ASCII qu'on peut éditer avec gedit. Les paramètres devant être modifiés en fonction des conditions d'écoulement désirées sont :
 - la valeur de α en degrés (variable AoA)
 - la valeur du nombre de Mach d'entrée (variable Mach)

Ne pas oublier de sauvegarder le fichier naca.inp avant de lancer une nouvelle simulation.

Le nombre d'itérations par défaut est de 3000. Augmenter le nombre d'itérations si nécessaire pour des Mach inférieurs à 0.1.

- **naca_mesh.vtk** : ce fichier contient la définition de la géométrie du profil, du maillage et des conditions aux limites. Il est réalisé lors de la phase de prétraitement et ne doit pas être modifié ultérieurement.

2) Lancement d'un calcul

Le calcul se lance à l'aide de la commande `/CAEL naca.inp`

Vérifier le bon déroulement et la convergence du calcul à partir de la décroissance des résidus et de la stagnation des coefficients aérodynamiques globaux de portance C_L , et de traînée C_D .

3) Post-traitement des résultats et analyse

Les principaux fichiers utilisés pour l'analyse des résultats sont :

- **naca.res** : fichier texte contenant l'historique des résidus, de C_L , et de C_D , en fonction des itérations
- **naca.solid** : fichier texte dont la 1^{ère} colonne contient les valeurs de x/c et la 2^{ème} colonne donne les valeurs de C_p . Ces valeurs peuvent donc être copiées dans un tableur pour tracer les courbes et les comparer directement aux courbes expérimentales. On peut aussi visualiser les résultats à partir de gnuplot, par la commande :


```
> plot 'naca.solid' u 1:2 w l
```
- **naca.iso** : fichier ASCII permettant de tracer sous gnuplot les iso-contours du nombre de Mach


```
(> plot 'naca.iso' w l)
```

Attention : ces fichiers sont réinitialisés en début de simulation. Il est donc nécessaire d'en effectuer une copie si on souhaite les utiliser par ailleurs (par exemple au moyen de la commande

```
cp naca.solid naca.solid_Mach_0p1_alpha_6deg)
```

4. Travail demandé

1. Pour le profil NACA 23012 muni des prises de pression et pour quatre valeurs de l'angle d'incidence $\alpha = 0^\circ, 6^\circ, 12^\circ, 18^\circ$:
 - relever les pressions en mm d'eau pour chacune des prises situées sur l'aile ainsi qu'aux deux prises du tube de Pitot (place en dehors du sillage de l'aile). Le fichier Excel fourni permet de déduire la distribution du coefficient de pression C_p sur l'extrados et l'intrados ;
 - calculer aussi la vitesse de l'écoulement incident U_∞ à l'aide du tube de Pitot et en déduire le nombre de Reynolds $Re_\infty = U_\infty c/\nu$ et le nombre de Mach M_∞ ;
 - sur une même figure pour trois incidences bien choisies, tracer le coefficient de pression C_p en fonction de x/c (intrados et extrados) ; mettre en évidence l'effet sur la pression du décollement de la couche limite ;
 - le fichier Excel permet d'intégrer numériquement la courbe $C_p(z/c)$ pour obtenir le coefficient d'effort axial $C_{A'}$ et la courbe $C_p(z/c)$ pour obtenir le coefficient d'effort normal $C_{N'}$: en déduire, en fonction de l'angle d'incidence α , les valeurs des coefficients de portance $C_{L'}$ et de traînée $C_{D'}$. Notez que les efforts tangentiels visqueux, non mesurés, sont négligés dans ce calcul. Commenter.

2. Pour le profil NACA 23012 monte sur la balance dynamométrique :
 - mesurer les coefficients de portance et de traînée pour une quinzaine d'angles α d'incidence du profil entre -10° et 20° ;
 - tracer $C_{L'} = f(\alpha)$, $C_{D'} = f(\alpha)$ ainsi que la polaire $C_{L'} = f(C_{D'})$ de ce profil ;
 - comparer avec les résultats issus des mesures de pression.

3. Pour la partie numérique, on considère dans un premier temps que $M = 0.1$:
 - utiliser le code numérique pour tracer le coefficient de pression $C_p(x/c)$ aux mêmes incidences qu'à la question 1. *On fera des figures permettant de comparer les résultats expérimentaux et numériques.* Commenter et interpréter.
 - tracer $C_{L'} = f(\alpha)$, $C_{D'} = f(\alpha)$ ainsi que la polaire $C_{L'} = f(C_{D'})$ de ce profil. *On fera des figures permettant de comparer les résultats expérimentaux et numériques.* Commenter et interpréter.

Ajouter sur les figures précédentes les résultats numériques obtenus pour un nombre de Mach issu de la mesure sur la soufflerie si ce dernier est sensiblement différent de 0.1.

SORBONNE UNIVERSITE

Faculté des Sciences et Ingénierie
Plateforme d'Ingénierie Expérimentale
Campus de Saint-Cyr-l'Ecole
2 Place de la Gare de Ceinture
78210 SAINT CYR L'ECOLE



Campus de St Cyr - Sorbonne Université

REJOINDRE LA PLATEFORME

Accès en **train**, arrêt Saint Cyr :

Depuis Montparnasse, ligne N

Depuis La Défense, ligne U

Depuis Saint Michel ND, RER C

Prévoir ensuite 10 mn de **marche**

Accès en **voiture** :

Coordonnées GPS

N 48.80217°

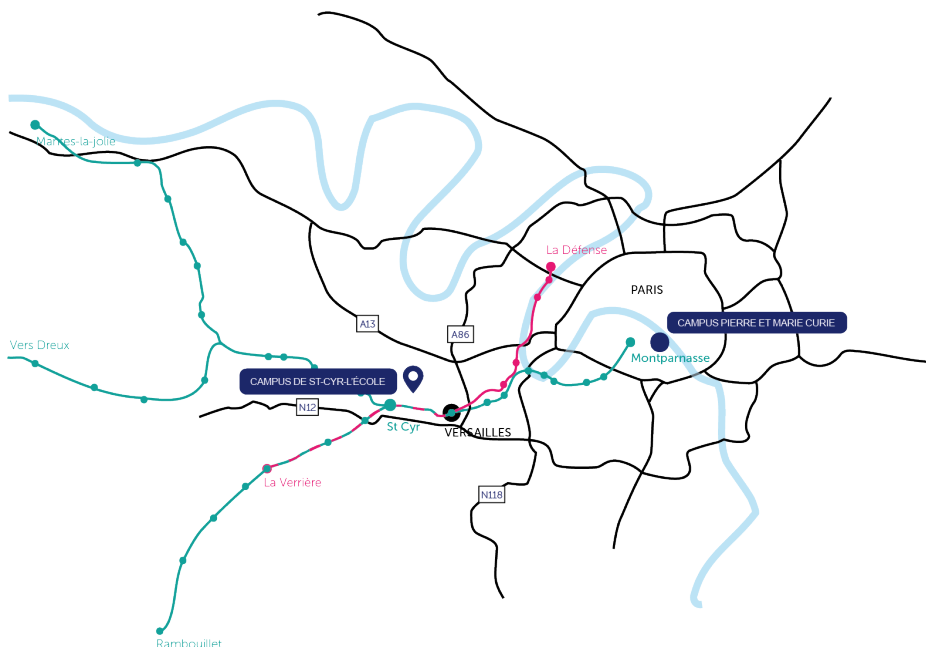
E 2.07639

Accueil campus

01.44.27.95.64

Informations et réservations TP

01.44.27.95.22



→ www.sorbonne-plateforme-ingenierie-experimentale.fr