

TP d'informatique
Première année apprentissage, mécanique des fluides
Ecrire un programme de A à Z : les profils NACA
 2 séances.

C'est un TP bilan avant d'attaquer le Bureau d'Etude. Il s'agit d'écrire un programme, qui en fonction des demandes de l'utilisateur va sauvegarder, avec une définition choisie, les coordonnées d'un profil NACA de la série à 4 et 5 chiffres.

C'est l'occasion de mettre en oeuvre les techniques et les instructions vues dans les TP précédents. On pourra par exemple, mais ce n'est pas obligatoire, ni exclusif, utiliser les allocations dynamiques, les notions de structures (type) et la notion de module.

1 Données et équations

1.1 Généralités sur un profil

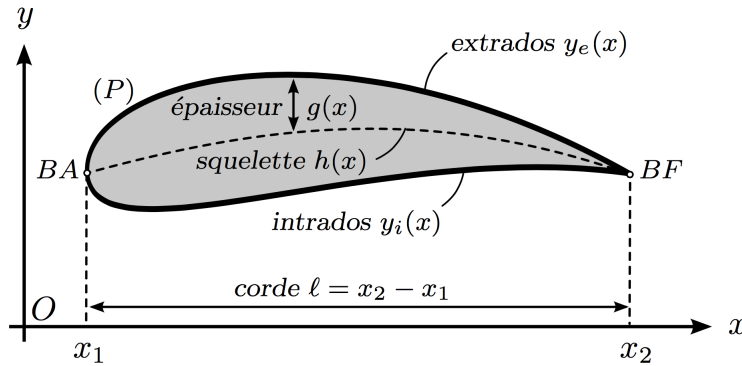


FIGURE 1 – Notations générales d'un profil d'aile

Un profil d'aile est une courbe fermée, définie entre deux positions extrêmes suivant l'axe x , le bord d'attaque en $x_1 = 0$ et le bord de fuite en $x_2 = \ell$.

La distance ℓ s'appelle la corde. La partie supérieure du profil est appelée l'extrados d'équation $y_e(x)$, et la partie inférieure, l'intrados d'équation $y_i(x)$.

La demi épaisseur du profil est notée $g(x)$ et la cambrure (la courbure ou squelette) est notée $f(x)$. Ces deux courbes sont données par les relations :

$$f(x) = \frac{y_e(x) + y_i(x)}{2}, \quad g(x) = \frac{y_e(x) - y_i(x)}{2}$$

On en déduit si on connaît la demi-épaisseur et la cambrure les équations de l'extrados et de l'intrados :

$$y_e(x) = f(x) + g(x), \quad y_i(x) = f(x) - g(x)$$

1.2 Profil NACA à 4 chiffres

La dénomination d'un profil NACA à 4 chiffres est du type $NACAabcd$, a , b , c et d sont 4 nombres entiers. Par exemple : $NACA0012$ ou $NACA4412$. Dans la dénomination anglo-saxonne on note $m = a/100$, $p = b/10$ et $t = 10c + d$.

- Lorsque les deux premiers entiers sont nuls ($a = b = 0$), le profil est symétrique par rapport à l'axe (O, x) et donc on a : $h(x) = 0$ et $y_i(x) = -y_e(x)$

Les deux derniers entiers c et d indiquent en pourcents l'épaisseur maximale du profil relative à la corde $2 \max g(x)/\ell$ qu'on nomme t/ℓ en anglais pour "thickness". Par exemple pour la $NACA0012$, le profil a une épaisseur maximale de 12% de la corde soit $2 \max g(x)/\ell = 0.12 = t/\ell$.

La loi de demi-épaisseur est donnée par l'équation :

$$\frac{g(x)}{\ell} = \frac{t}{0.2} [0.2969\sqrt{\eta} - 0.1260\eta - 0.3516\eta^2 + 0.2843\eta^3 - 0.1015\eta^4], \quad \eta = \frac{x}{\ell}$$

η varie entre 0 et 1.

- Le profil est cambré lorsque a et b sont non tous nuls. La cambrure maximale (appelée flèche, notée $f_{\max} = h_{\max}$) est donnée en pourcentage par a avec $f_{\max}/\ell = 100a$. Le point où la cambrure est maximale est donné par $100x_c/\ell = 10b$.
Son épaisseur est définie par la relation donnée pour le profil symétrique. La loi de cambrure est décomposée ainsi :

$$h(x) = m \frac{x}{p^2} (2p - \eta), \quad 0 \leq \eta < p$$

$$h(x) = m \frac{\ell - x}{(1 - p)^2} (1 + \eta - 2p), \quad p \leq \eta \leq 1$$

$$m = a/100, p = b/10 \text{ et } t = (10c + d)/100$$

Comme l'épaisseur s'applique à la perpendiculaire de la ligne moyenne les lois d'extrados et d'intrados s'écrivent sous la forme $y_e(x_e)$ et $y_i(x_i)$ avec

$$\begin{aligned} x_e &= x - g(x) \sin \theta, & y_e &= h(x) + g(x) \cos \theta \\ x_i &= x + g(x) \sin \theta, & y_i &= h(x) - g(x) \cos \theta \end{aligned}$$

avec $\theta = \arctan \frac{df}{dx}$ où

$$\frac{df}{dx} = \frac{2m}{p^2} (p - \eta), \quad 0 \leq \eta < p$$

$$\frac{df}{dx} = \frac{2m}{(1 - p)^2} (p - \eta), \quad p \leq \eta \leq 1$$

1.3 Profil NACA à 5 chiffres

Le calcul du profil est très bien présenté sur la page wikipédia. On pourra donc s'y référer et bâtir ainsi l'algorithme et la procédure qui permet d'obtenir ce profil, sur la base de ce qui a été fait dans la partie précédente.

La dénomination général est du type $NACAabcde$. Dans la littérature anglo saxonne on note $l = a, p = b, q = c$ et $t = 10c + d$.

- Les deux derniers chiffres ont le même sens que pour la série 4, à savoir ils indiquent l'épaisseur relative du profil.
- Le troisième chiffre c indique si le profil est à cambrure simple ($c = 0$) ou à cambrure double ($c = 1$)
- Le deuxième chiffre b indique l'abscisse du point de cambrure maximale par rapport au bord d'attaque et en pourcentage de corde par la relation $x_c/\ell(\%) = b/20$.
- Le premier chiffre indique le coefficient de portance maximal du profil divisé par 0.15 : $C_{L_{\max}} = 0.15 a$

L'équation de la cambrure est découpée en deux parties, à la position $x/c = m\%$. m est fixé afin que la cambrure maximale est positionnée en $x/c = p$. Pour une cambrure de 230, $p = 0.3/2 = 0.15$ et $m = 0.2025$. Le paramètre k_1 permet d'obtenir le coefficient de portance souhaité. Pour un profil de cambrure 230 (les 3 premiers numéros de la série à 5 chiffres), $k_1 = 15.957$.

L'emplacement sur la corde x et l'ordonnée y ont été normalisées par rapport à la corde.

Deux cambrures existent :

1. Profil avec une cambrure simple.

Ligne de cambrure du profil	p	m	k_1
210	0.05	0.0580	361.40
220	0.10	0.126	51.640
230	0.15	0.2025	15.957
240	0.20	0.290	6.643
250	0.25	0.391	3.230

$$\frac{f}{\ell} = \begin{cases} \frac{k_1}{6} [\eta^3 - 3m\eta^2 + m^2(3 - m)\eta], & 0 \leq \eta < m \\ \frac{k_1 m^3}{6} (1 - \eta), & m \leq \eta \leq 1 \end{cases}$$

$$\frac{df}{dx} = \begin{cases} \frac{k_1}{6} [3\eta^2 - 6m\eta + m^2(3-m)], & 0 \leq \eta < m \\ -\frac{k_1 m^3}{6}, & m \leq \eta \leq 1 \end{cases}$$

2. Profil avec une cambrure double.

$$\frac{f}{\ell} = \begin{cases} \frac{k_1}{6} \left[(\eta - m)^3 - \frac{k_2}{k_1} (1 - m)^3 \eta - m^3 \eta + m^3 \right], & 0 \leq \eta < m \\ \frac{k_1}{6} \left[\frac{k_2}{k_1} (\eta - m)^3 - \frac{k_2}{k_1} (1 - m)^3 \eta - m^3 \eta + m^3 \right], & m \leq \eta \leq 1 \end{cases}$$

$$\frac{df}{dx} = \begin{cases} \frac{k_1}{6} \left[3(\eta - m)^2 - \frac{k_2}{k_1} (1 - m)^3 - m^3 \right], & 0 \leq \eta < m \\ \frac{k_1}{6} \left[3\frac{k_2}{k_1} (\eta - m)^2 - \frac{k_2}{k_1} (1 - m)^3 - m^3 \right], & m \leq \eta \leq 1 \end{cases}$$

Le tableau suivant présente différents coefficients de lignes de cambrure :

Ligne de cambrure du profil	p	m	k_1	k_2/k_1
221	0.10	0.130	51.990	0.000764
231	0.15	0.217	15.793	0.00677
241	0.20	0.318	6.520	0.0303
251	0.25	0.441	3.191	0.1355

2 Travail à mener

1. Réfléchir à la façon de procéder, faire un algorithme simple.
2. Ecrire un fichier d'entrée contenant les paramètres principaux : dénomination du profil, nombre de points pour discrétiser le profil
Il s'appellera `profil.in`.
On se basera sur le TP précédent.
3. Ecrire le programme principal et les fonctions, modules, sous-routines pour définir la géométrie du NACA 0012 ou NACA 4412
4. On validera en comparant aux données du site **airfoiltools.com**, sur une figure.
5. Implémenter et valider de façon similaire le profil NACA 5 digits, par exemple le NACA 23012.
6. Ecrire un petit rapport de 4 pages au format pdf montrant notamment la validation (ce rapport sera fait à la maison).
7. Envoyer l'ensemble du travail dans une archive à christophe.airiau@imft.fr

3 Evaluation

L'évaluation sera individuelle. Elle se fera sur les points suivants

- Le travail effectif fait en TP
- Le fonctionnement du programme
- Les sorties : format et contenu des fichiers de sortie
- Le contenu du programme, le style, la grammaire, les fonctionnalités du fortran employée
- La rédaction du petit rapport (pas plus de 2 h de travail), en latex de préférence (il suffit de modifier le latex de l'énoncé).
- L'originalité du travail ¹

1. Copier les uns sur les autres entraînera une forte pénalité.