

On donne pour tous les exercices :

- l'accélération de la pesanteur : $g = 9.81 \text{ m.s}^{-2}$;
- la pression atmosphérique : $p_a = 1.013 \text{ bar} = 101.3 \text{ kPa}$.

Des points seront attribués à l'écriture de vos hypothèses, à la provenance de vos équations, à la justification de vos simplifications et à la clarté des pages rendues.

Les pages 3, 5 et 6 seront rendues complétées : vous y écrirez votre numéro d'anonymat.

Exercice n°1 - Conduite hydraulique - 10 pts

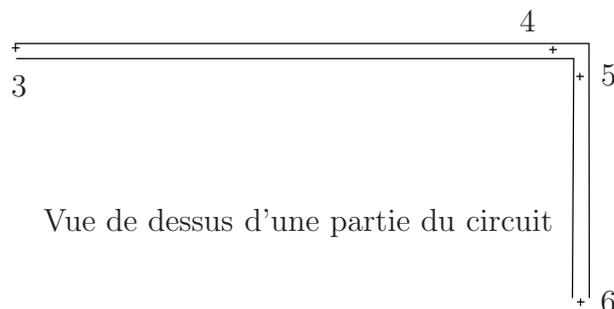
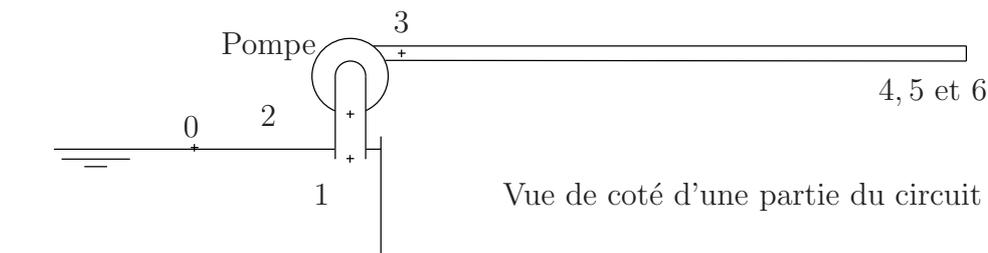
La conduite véhiculant de l'eau boueuse est constituée d'un tuyau de diamètre intérieur $2D$ avant la pompe et d'un autre tuyau de diamètre intérieur D après la pompe. La rugosité absolue ε des 2 tuyaux est la même. Ce circuit comprend dans l'ordre de l'écoulement :

- Une conduite rectiligne (diamètre $2D$) de longueur L_1 plongée dans un grand réservoir dont la surface libre, qui est à la pression atmosphérique p_a , reste à une altitude constante : le coefficient de perte de charge singulière à l'entrée de la conduite est estimée par ξ_e ;
- une pompe de rendement $\eta = 70 \%$ délivrant un gain de charge ΔX_i ;
- une conduite rectiligne (diamètre D) de longueur $2L$;
- un coude à 90° de coefficient de perte de charge singulière ξ_c ;
- et une conduite rectiligne (diamètre D) de longueur L qui débouche à l'air libre à la pression atmosphérique p_a .

L'eau de masse volumique ρ et de viscosité cinématique ν possède le débit volumique q_v du fluide dans la conduite.

On donne les altitudes z_i des différents points du circuit et les valeurs des données :

$z_0 = 0$	$z_1 = -0.05 \text{ m}$	$z_2 = 0.20 \text{ m}$	$z_3 = z_4 = z_5 = z_6 = 5 \text{ m}$	
$\rho = 1050 \text{ kg.m}^{-3}$	$\nu = 10^{-6} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$	$D = 4 \text{ cm}$	$\varepsilon = 0.08 \text{ mm}$	$q_v = 37.7 \text{ l.mn}^{-1}$
$L_1 = 0.25 \text{ m}$	$L = 500 \text{ m}$	$\xi_e = 0.64$	$\xi_c = 0.8$	



1) Calculez les vitesses moyennes et les nombres de Reynolds relatif à cet écoulement dans les tuyaux.

- 2) Déterminez, à l'aide du diagramme de Moody fourni, les coefficients de perte de charge régulière relatif à cet écoulement dans les tuyaux ; Vous préciserez les points de fonctionnement sur ce diagramme qui sera rendu.
- 3) Etablissez l'expression du gain de charge ΔX_i que doit délivrer la pompe pour assurer ce débit.
- 4) Calculez ΔX_i et la puissance fournie \mathcal{P}_n au fluide par la pompe ainsi que la puissance consommée par la pompe.
- 5) Calculez l'énergie consommée en une année pour un fonctionnement 24h sur 24 ainsi que le coût de fonctionnement correspondant pour un prix de 0.1483 € / kWh.

Exercice n°2 – American Class 50 pieds (AC50) – 10 pts

Les bateaux engagés sur la 35^{ème} coupe de l'America, en mai 2017, étaient des AC50 de 50 pieds de long soit environ 15 mètres (cf FIG. ??). La masse du bateau est 2400 kg sans l'équipage qui est composé de 6 personnes de 80 kg.

Ces bateaux sont capables de dépasser les 40 noeuds de vitesse (1 noeud (= 1 kt) = 1 mille nautique par heure (= 1 mph) = 1.852 km/h) et déjaugent (s'élèvent au dessus des eaux) dès que leur vitesse dépasse les 15 kts environ, grace à leurs ailerons latéraux. La plupart du temps, il n'y a qu'un seul aileron latéral immergé. On ne considèrera pas (dans les calculs demandés) les ailerons arrières qui permettent de stabiliser et diriger le bateau.

Cet aileron latéral n'est ni cylindrique (les génératrices ne sont pas parallèles) ni de corde constante. Nous simplifierons l'étude en considérant un aileron cylindrique de corde $c = 480$ mm et d'envergure L à déterminer et de profil constant. Le profil de cet aileron est un NACA3210 (FIG. ??). L'écoulement est considéré plan : on néglige les effets de bord. La FIG. ?? présente 4 polaires de ce profil aux nombres de Reynolds $\mathcal{R} = 10^6, 2 \cdot 10^6, 3 \cdot 10^6$ et $4 \cdot 10^6$.

On souhaite que la portance de cet aileron compense totalement le poids total du bateau et de l'équipage.

L'eau de mer possède une masse volumique $\rho = 1025$ kg.m⁻³ et une viscosité cinématique $\nu = 10^{-6}$ m².s⁻¹.

- 1) On s'intéresse à la vitesse qui permet le décollage soit $v = 15$ kts en ligne droite. L'incidence du profil est telle que le coefficient de portance est $C_z = C_L = 0.9$. Calculez la portance nécessaire que doit assurer l'aileron. Calculez la surface nécessaire de l'aileron puis son envergure L . Calculez le nombre de Reynolds relatif à l'écoulement autour du profil de cet aileron. Évaluez l'incidence que doit posséder le profil ; Vous préciserez le point sur le graphe fourni (cf FIG. ??). Évaluez le coefficient de trainée du profil ; Vous préciserez le point sur ce même graphe. Déterminez alors la trainée de l'aileron ainsi que la puissance perdue correspondante. Précisez la finesse du profil.

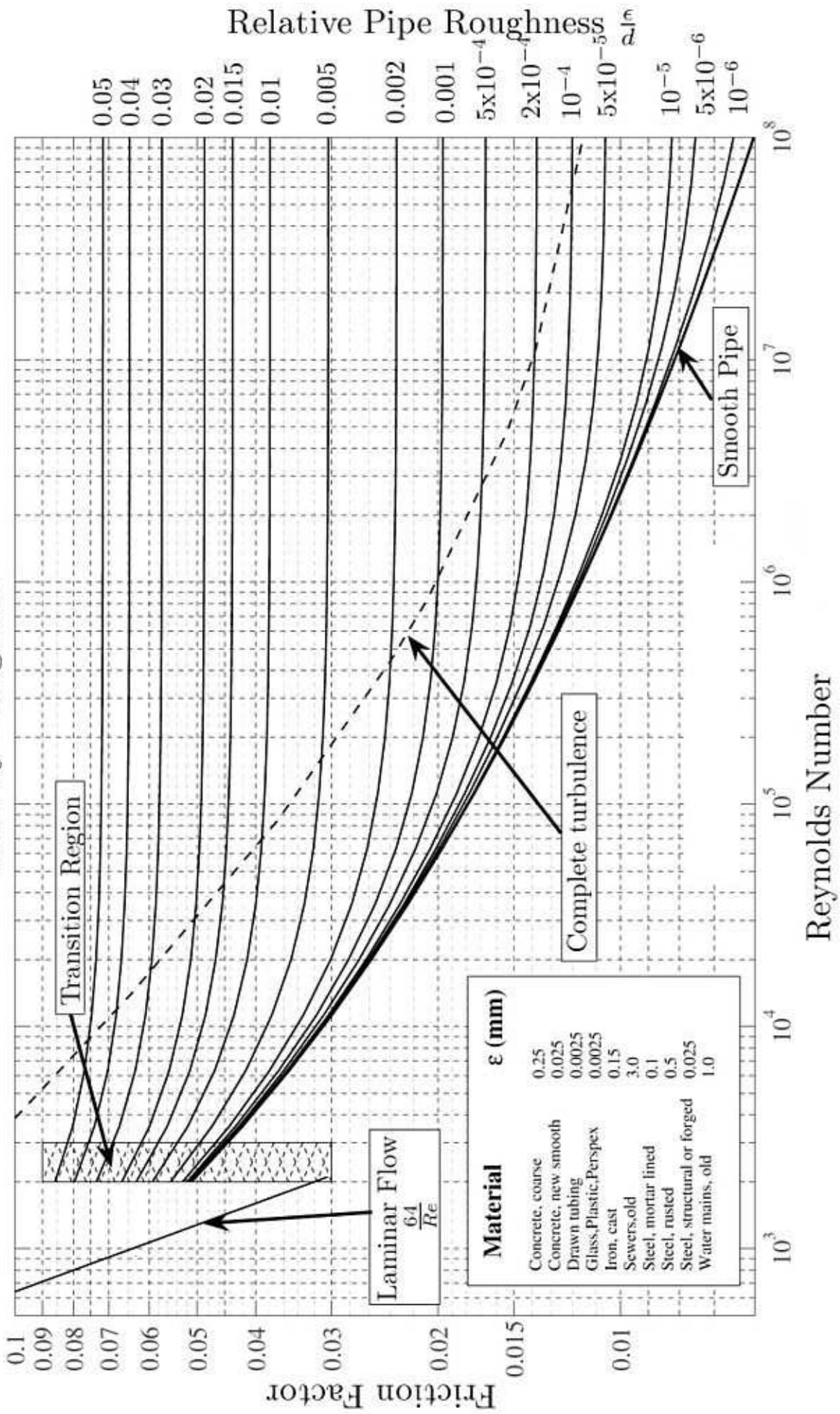
2) La FIG. ?? représente (en haut) l'évolution du coefficient de pression C_p qui compare la pression effective en un point du profil à la pression effective au point d'arrêt sur le profil ainsi que (en bas) l'évolution de la répartition de pression effective sur tous les points du profil et cela pour l'incidence et le nombre de Reynolds qui nous intéresse. La vitesse de l'eau par rapport au profil arrive horizontalement (parallèle aux bords inférieur et supérieur de la feuille) sur ce profil.

Positionnez précisément sur ces 2 parties de cette FIG. ?? :

- le point d'arrêt A ;
- le point de dépression maxi D : calculez cette dépression maxi ;
- le (ou les) point(s) de pression nulle E .

Représentez précisément (sur la partie du bas de la FIG. ??) le vecteur force exercée par l'eau sur le profil calculée précédemment et ses 2 composantes de trainée et de portance à une échelle que vous préciserez : on ne demande pas de préciser le point d'application de ce vecteur. Représentez éventuellement la vitesse de l'eau par rapport au profil loin de celui-ci.

Moody Diagram



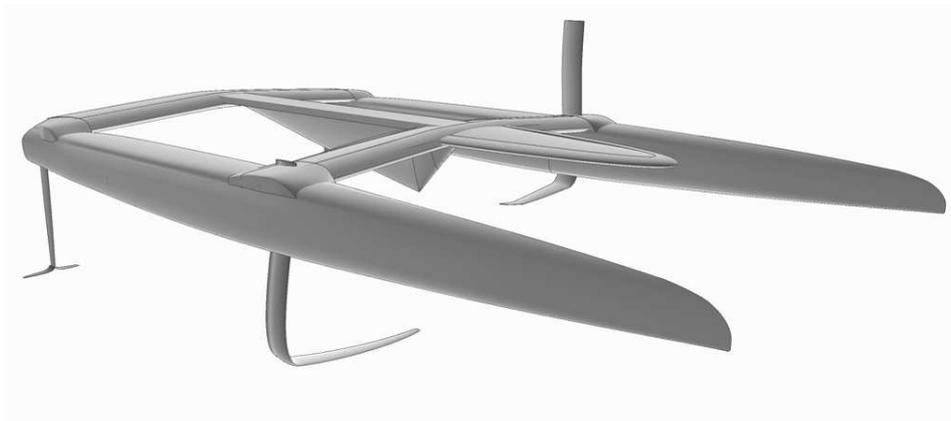


FIG. 1 – Coque de l'AC50 : on voit l'aileron de coque babord rétracté, l'aileron de coque tribord abaissé et l'aileron arrière tribord (l'aileron arrière babord est caché par la coque).

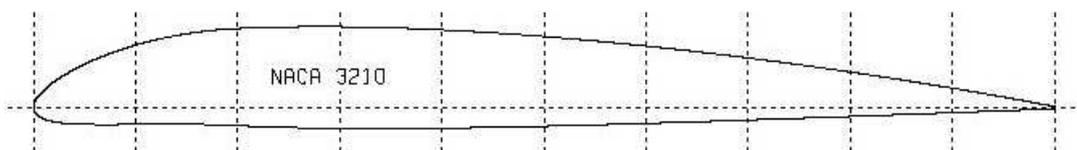


FIG. 2 – Profil NACA3210.

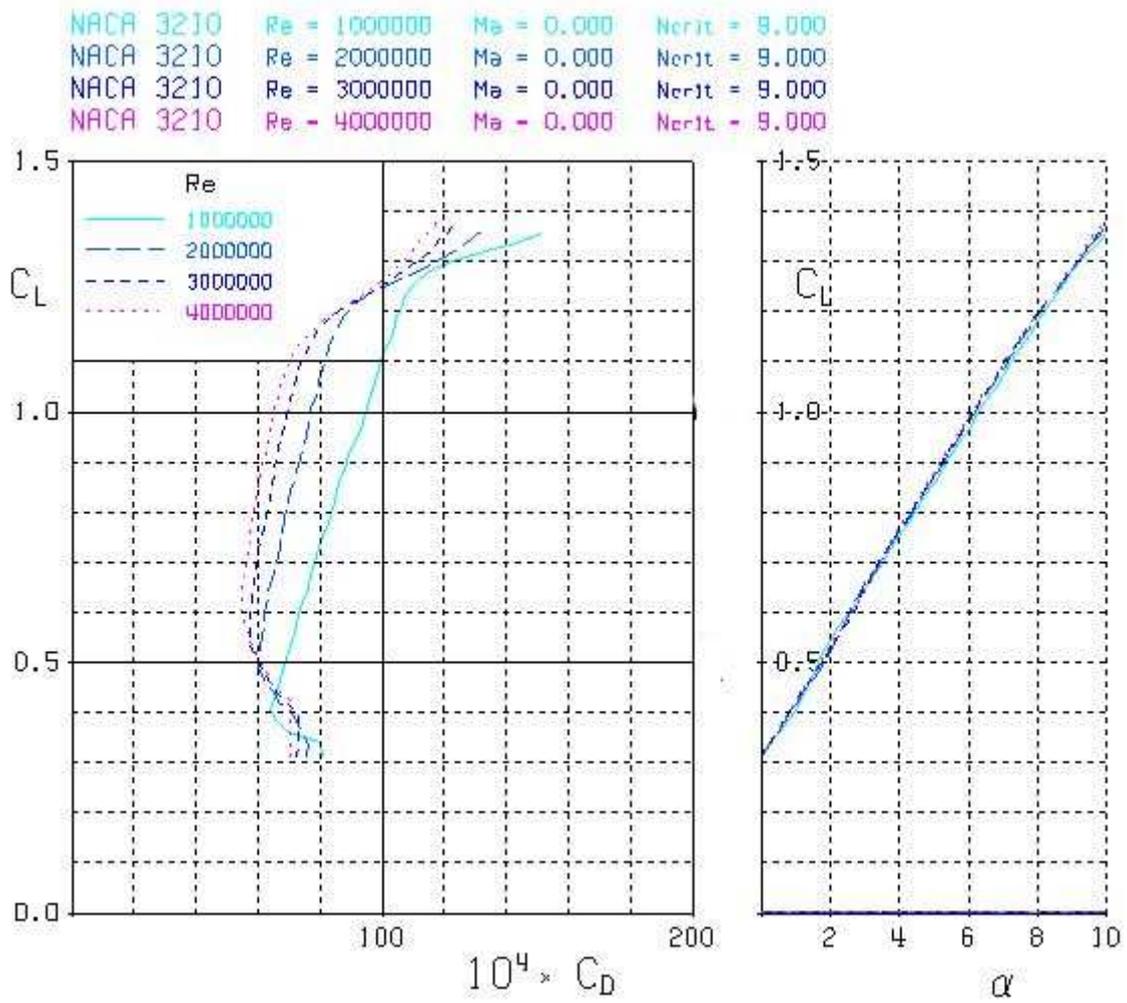


FIG. 3 – Polaires du profil NACA3210 aux 4 nombres de Reynolds 10^6 , $2 \cdot 10^6$, $3 \cdot 10^6$ et $4 \cdot 10^6$

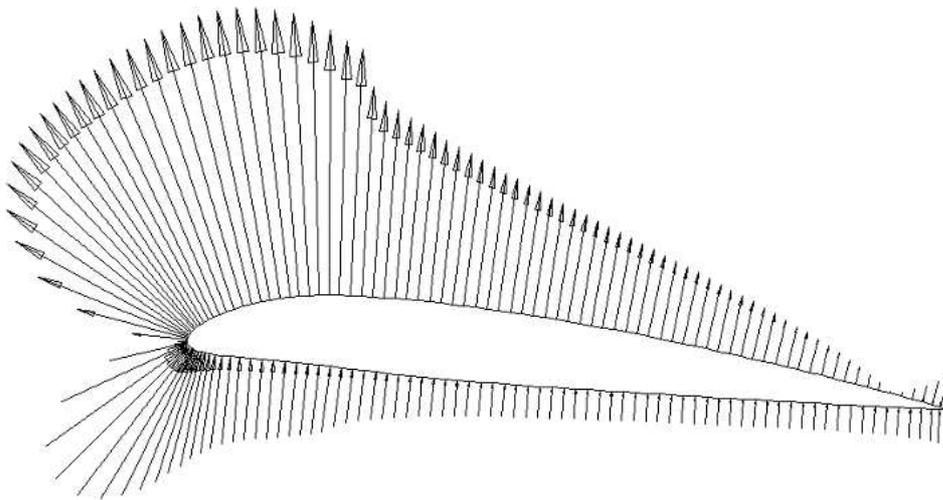
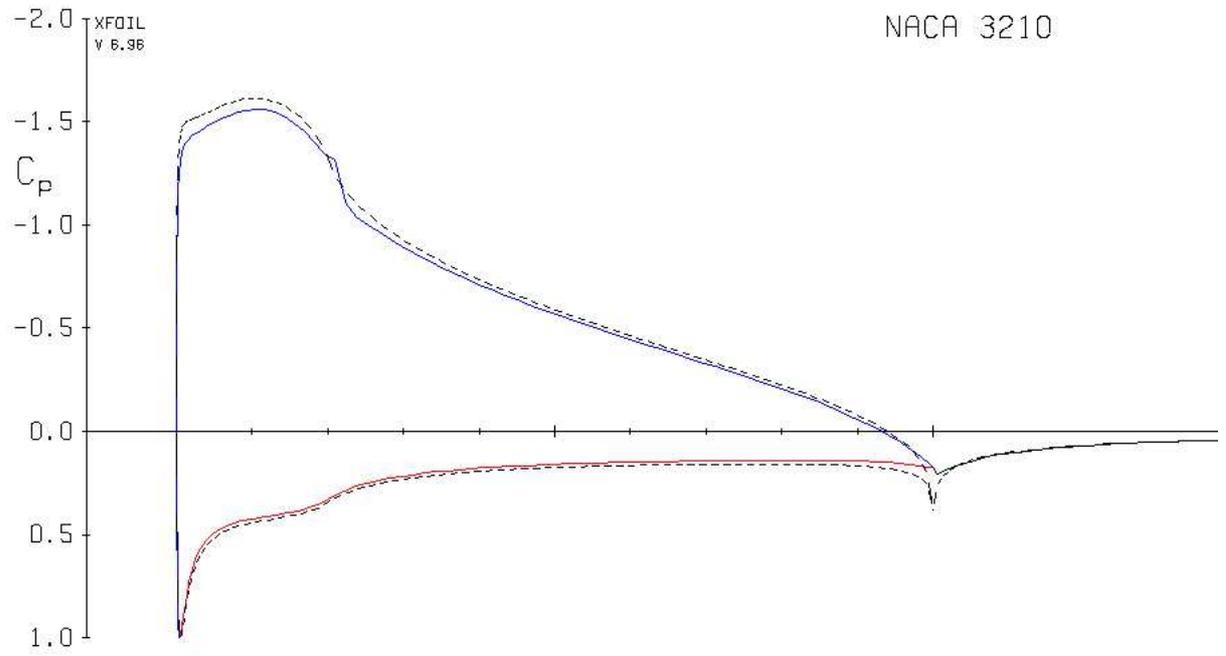


FIG. 4 – Graphe à compléter.