

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 à 6 seront rendues complétées : vous y écrirez votre numéro d'anonymat.

Exercice n°1 - Pompage - 10 pts

Nous avons eu cet hiver une période de crue de certains cours d'eau en France. Le débit de la Seine est passé de $500 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, fin décembre 2017, à plus de $1250 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, le 22 janvier 2018.

Afin de limiter ces crues, on pourrait envisager de pomper l'eau d'une rivière en crue pour l'acheminer vers une rivière qui ne déborde pas.

On s'intéresse donc au pompage entre 2 réservoirs où l'eau (de masse volumique ρ et de viscosité cinématique ν) est considérée immobile pour simplifier : le circuit est représenté FIG. 1 ; Les réservoirs schématisent le lit des 2 rivières.

L'entrée de pompe est un tuyau court de diamètre $3D$, la sortie de pompe est un tuyau de diamètre D , de longueur L considéré rectiligne. Le coefficient de perte de charge singulière à l'entrée du tuyau de diamètre $3D$ est K_e . Le coefficient de perte de charge singulière à la sortie du tuyau de diamètre D est K_s . La rugosité absolue de la paroi du tuyau de diamètre D est noté ϵ .

On donne les altitudes z_i des différents points de l'installation et les autres données :

$z_0 = 105 \text{ m}$	$z_1 = z_2 = 100 \text{ m}$	$z_3 = 303 \text{ m}$	$z_4 = 305 \text{ m}$		$\rho = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$
$\epsilon = 1 \text{ mm}$	$D = 200 \text{ mm}$	$L = 70 \text{ km}$	$K_e = 0.5$	$K_s = 1$	$\nu = 10^{-6} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$

On notera v la vitesse moyenne dans le tuyau de diamètre D .

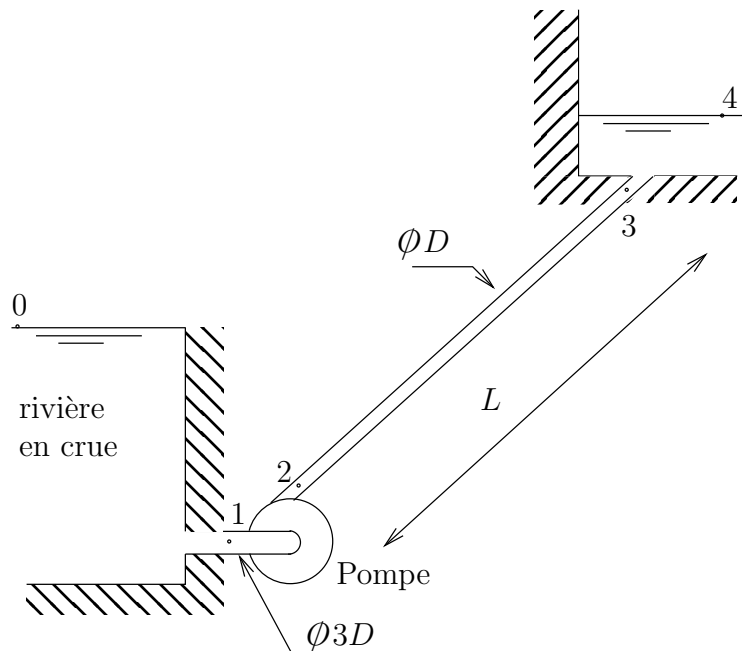


FIG. 1 – Schématisation du circuit de pompage.

- 1) Déterminez l'expression du gain de charge ΔX_i que doit fournir la pompe. Quelle doit être la valeur de ΔX_i dans le cas où le débit est quasi nul ?[4]

2) On envisage d'installer une pompe qui fournirait un gain de charge $\Delta X_i = 2.4 \text{ MJ.m}^{-3}$.

Après avoir évalué approximativement le coefficient de perte de charge régulière (*Friction Factor*) dans la conduite de diamètre D , calculez v puis le nombre de Reynolds \mathcal{R} dans cette conduite. En déduire alors la valeur de ce coefficient de perte de charge régulière et effectuez quelques itérations si nécessaire. Précisez les valeurs en fin d'itérations de :

- la vitesse v ;
- le coefficient de perte de charge régulière ;
- le nombre de Reynolds \mathcal{R} .

Précisez alors le point de fonctionnement sur le diagramme de Moody.

Quels sont alors le débit volumique et la puissance fournie par la pompe à l'eau ?

Pour un rendement de la pompe $\eta = 70 \%$, quelle est la puissance consommée par la pompe ?

Quelle est l'énergie consommée par la pompe en 1 h ?

Le prix du kWh étant de l'ordre de 0.1483 €, quel est le cout d'une journée d'utilisation ?

Calculez la pression effective en 2. [6]

Exercice n°2 - Profil - 10 pts

Considérons le profil cylindrique de section NACA 4220 (cf FIG. 2) de corde $c = 120 \text{ mm}$ avançant horizontalement à la vitesse V_∞ dans de l'air de masse volumique $\rho = 1.24 \text{ kg.m}^{-3}$ et de viscosité cinématique $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ avec une incidence (angle entre la direction de la vitesse et la corde) $\alpha = 8.5^\circ$. L'écoulement est plan.

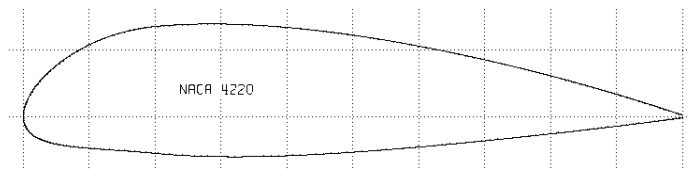


FIG. 2 – Profil NACA 4220 présenté en incidence nulle.

On donne les caractéristiques aérodynamiques de ce profil aux deux nombres de Reynolds $\mathcal{R} = 10^5$ et $1.5 \cdot 10^5$ grace aux polaires (cf FIG. 4).

On donne les résultats relatif à $\mathcal{R} = 10^5$ et à l'incidence $\alpha = 8.5^\circ$ sur les FIG. 5 et FIG. 6.

On rappelle que le coefficient de pression C_p est défini comme le rapport entre la pression effective $p(M)$ en un point quelconque M du profil et la pression effective p_{Ar} au point d'arrêt :

$$C_p = \frac{p(M)}{p_{Ar}}$$

1) A quelles vitesses V_∞ correspondent ces données ? [1]

2) Précisez l'équation permettant de calculer la pression effective au point d'arrêt sur ce profil et calculez cette pression pour chacune de ces vitesses. [1.5]

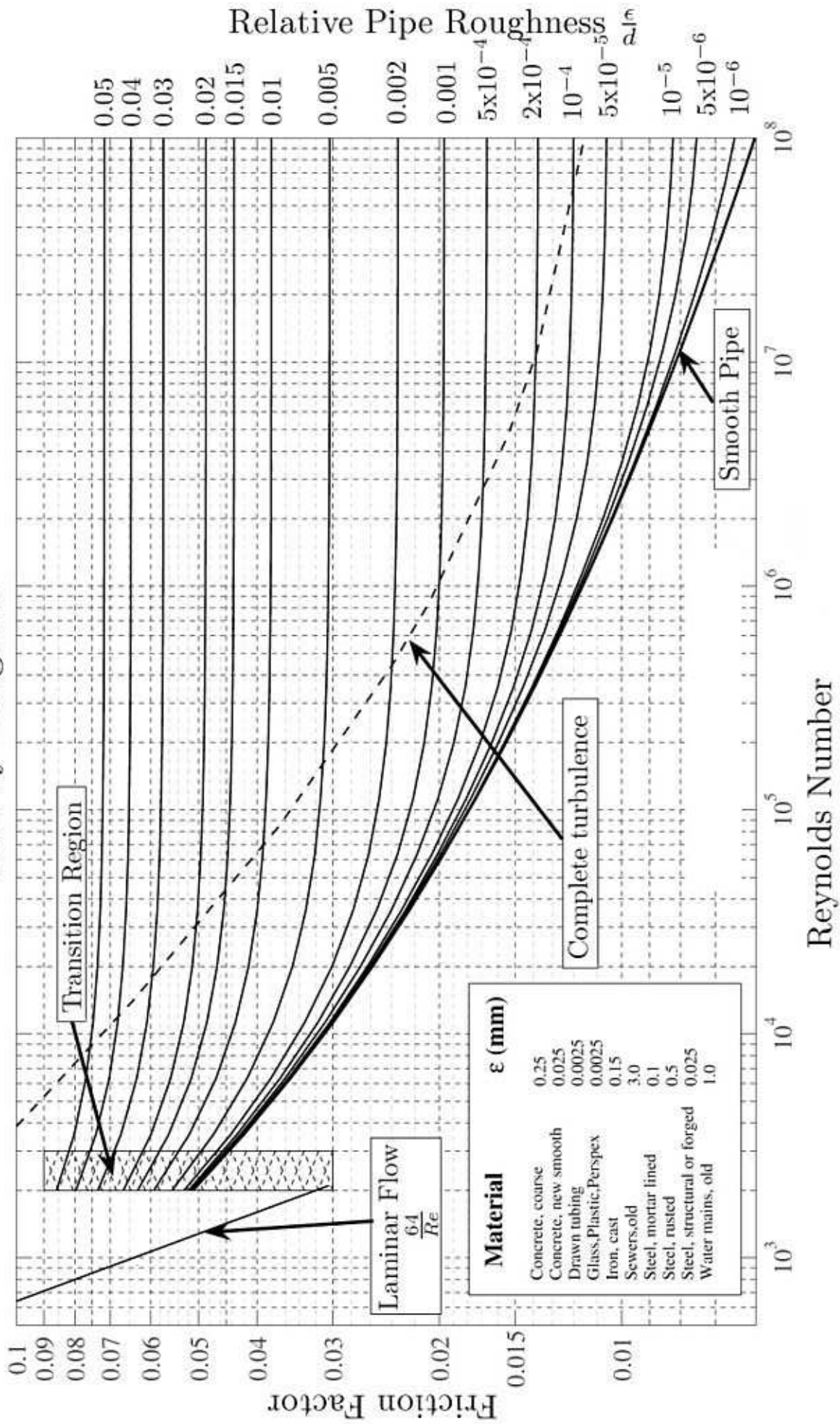
3) Calculez les composantes de trainée et de portance par unité d'envergure du profil pour chacune de ces vitesses. Précisez également la finesse du profil.

Représentez, à l'échelle, sur la FIG. 3 (qui sera rendue avec la copie), ces composantes de trainée et de portance et le vecteur force globale exercée par l'air sur ce profil (sans préciser le point d'application de cette force) ; Vous préciserez l'échelle que vous aurez utilisé en complétant et en écrivant sur la FIG. 3 ... mm \equiv ... unité de ces composantes à préciser.

Vous tracerez d'une couleur les composantes et le vecteur pour $\mathcal{R} = 10^5$ et d'une autre couleur pour $\mathcal{R} = 1.5 \cdot 10^5$. En l'absence de 2 couleurs différentes, je vous laisse mettre clairement vos légendes. [4.5]

4) Sur la FIG. 5 et sur la FIG. 6, positionnez le point d'arrêt, le point à pression effective maxi et le point à pression effective mini. Quelle est la valeur de cette pression effective maxi ? Quelle est la valeur de cette pression effective mini ? [3]

Moody Diagram



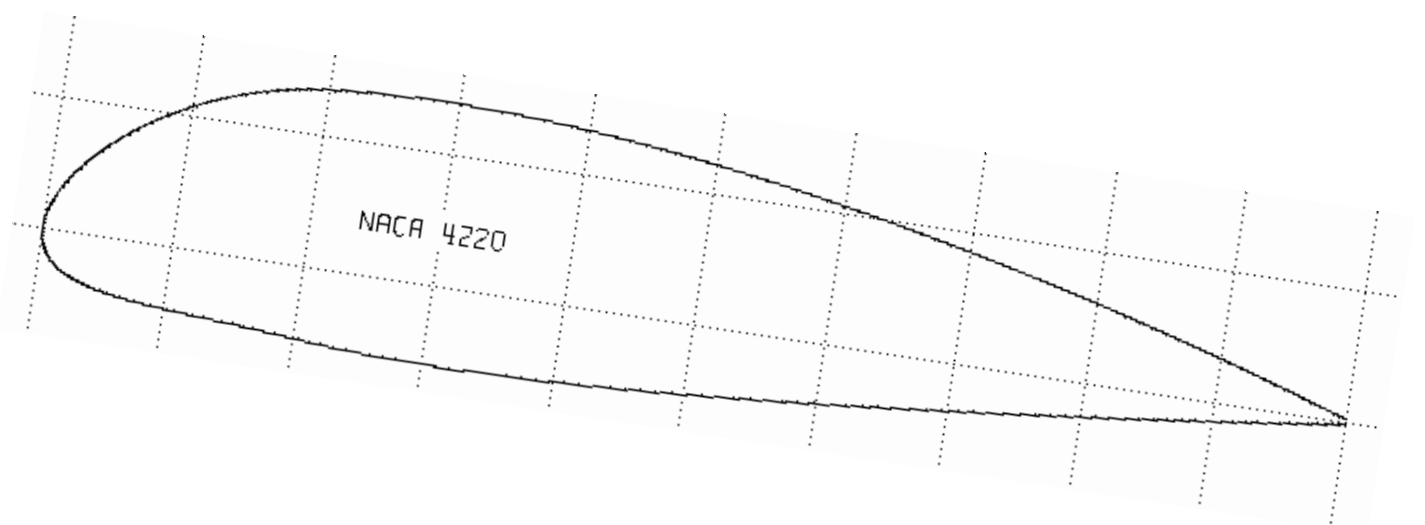


FIG. 3 – Profil NACA 4220 incliné à 8.5° par rapport aux bords horizontaux de la feuille.

NACA 4220 $Re = 150000$ $Ma = 0.000$ $N_{crit} = 9.000$
 NACA 4220 $Re = 100000$ $Ma = 0.000$ $N_{crit} = 9.000$

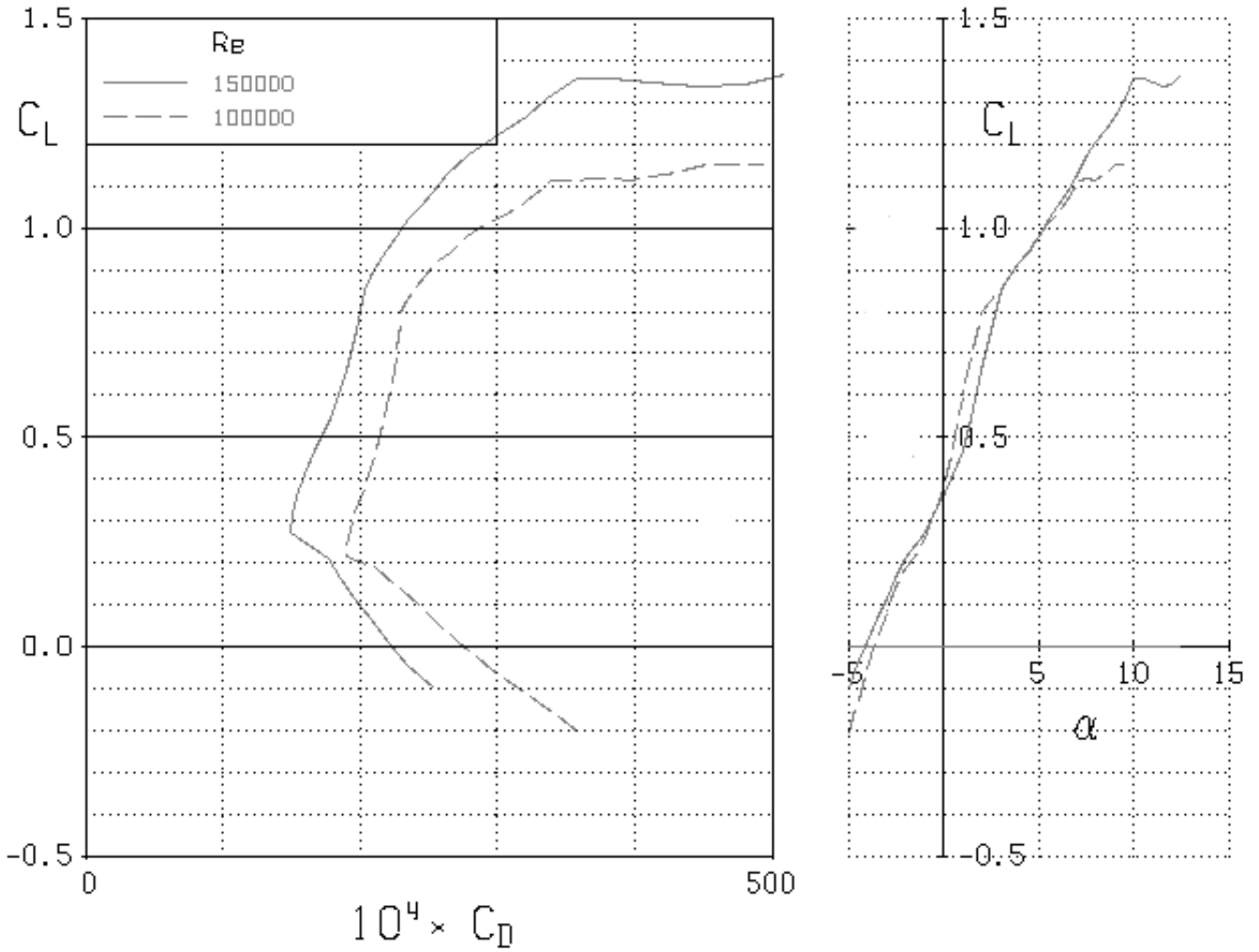


FIG. 4 – Polaires du profil NACA 4220 aux deux nombres de Reynolds ($\mathcal{R} = 1.5 \cdot 10^5$ et 10^5)

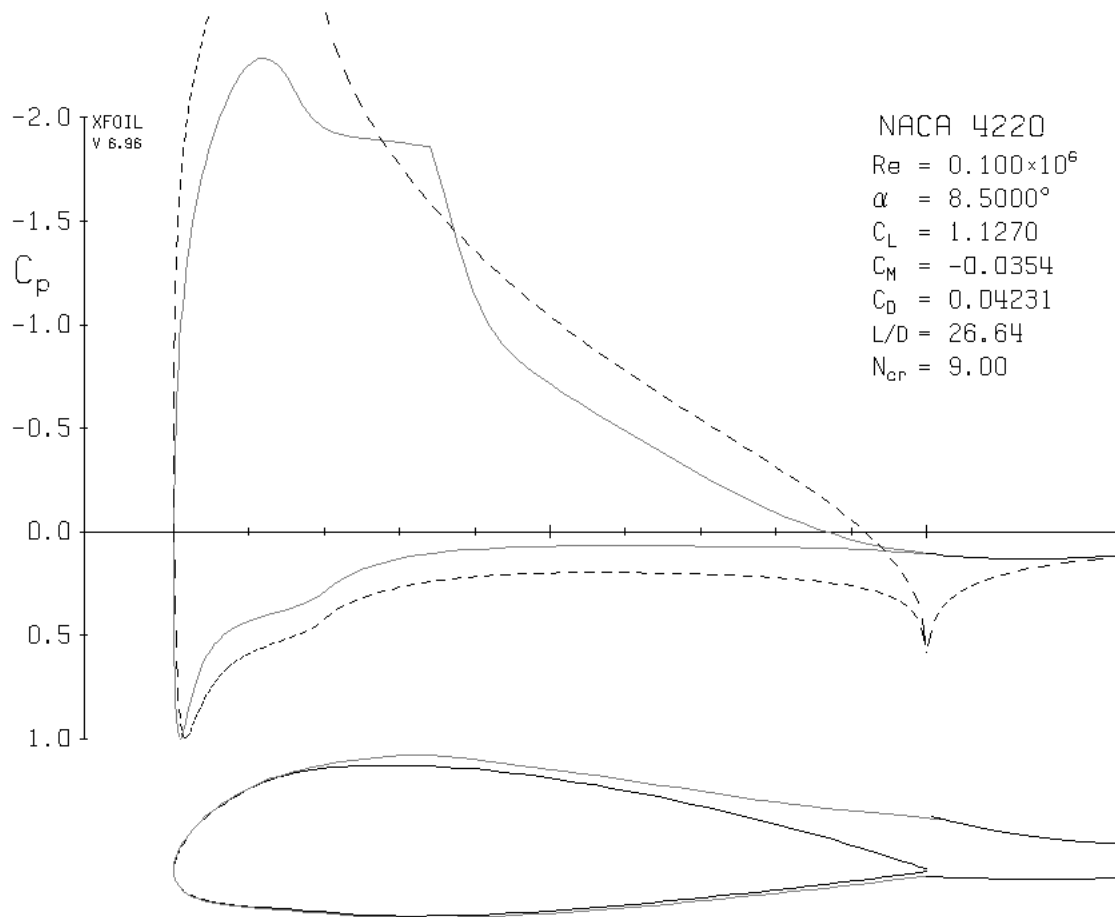


FIG. 5 – Evolution du coefficient de pression C_p pour le profil NACA 4220, pour le nombre de Reynolds $\mathcal{R} = 10^5$ et pour l'incidence $\alpha = 8.5^\circ$.

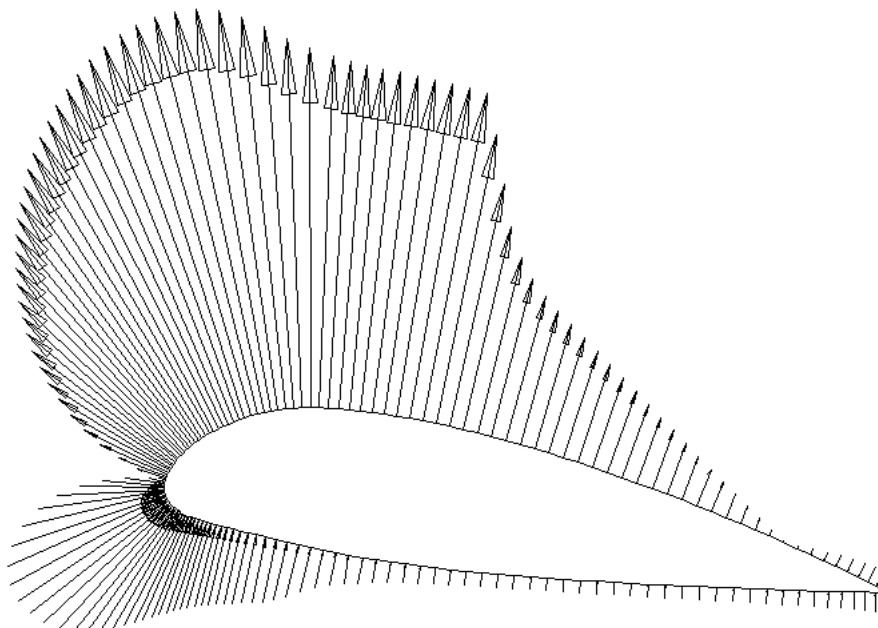


FIG. 6 – Représentation de la force répartie de pression du fluide sur le profil NACA4220, pour le nombre de Reynolds $\mathcal{R} = 10^5$ et pour l'incidence $\alpha = 8.5^\circ$.