UNIVERSITÉ DE RENNES 1

Licence L2 - Mécanique des Fluides
1$^{\text{ère}}$ session 2014-2015 – Durée : 2h00
Responsable : L. Blanchard
Documents interdits – Calculatrice autorisée

On donne pour les exercices 1 et 2 :
- l'accélération de la pesanteur : $g = 9.81$ m.s^{-2} ;
- la pression atmosphérique : $p_a = 1.013$ bar $= 101.3$ kPa.

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

Exercice n°1 – 8.5 pts

On étudie le circuit alimentant un jet d'eau vertical présenté sur la Fig. 1.
Un réservoir de grande section alimenté constamment possède une surface libre à la pression atmosphérique qui reste à une altitude z_0.
Le circuit alimentant le jet d'eau comporte dans l'ordre de l'écoulement :
- la sortie du réservoir de perte de charge singulière $\xi_e = 0.5$ qui aboutit à l'entrée de la pompe par une tuyauterie de diamètre $2D = 20$ cm de longueur négligeable ;
- une pompe fournissant au fluide une énergie volumique notée ΔX_i et possédant un rendement de 60 % ;
- une longueur rectiligne $L = 50$ m de tuyauterie de diamètre D et de rugosité absolue $\varepsilon = 1$ mm ;
- et un coude à 90° de perte de charge singulière $\xi_c = 0.2$: l'eau débouche alors à l'air libre à la pression atmosphérique p_a.

Le jet d'eau monte alors jusqu'à une altitude notée z_5. La position des points de l'écoulement est précisée sur la Fig. 1. On considèrera pour simplifier que $z_1 = z_2 = z_3 = z_4 = 0$. On donne $z_0 = 25$ m.

On nommera v_i (respectivement $\mathcal{R}_i$) la vitesse du fluide (respectivement le nombre de Reynolds) dans la section i et q_v le débit volumique circulant dans la pompe.

On donne la masse volumique de l'eau $\rho = 1000$ kg.m^{-3} et sa viscosité cinématique $\nu = 10^{-6}$ m^2.s^{-1}.

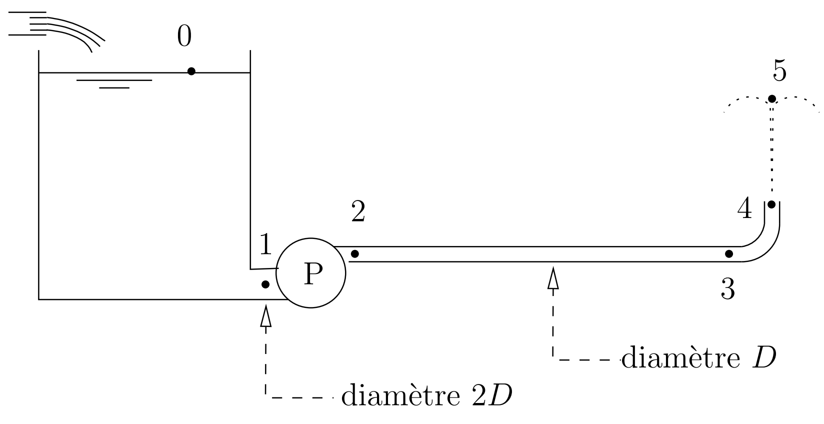

Fig. 1 – Circuit alimentant un jet d'eau.

On rappelle que le coefficient de perte de charge régulière λ peut être évalué par l'une des équations suivantes suivant la valeur du nombre de Reynolds $\mathcal{R}$:
- si $\mathcal{R} < 2000$:

$$\lambda = \frac{64}{\mathcal{R}}$$

- si $2000 < \mathcal{R} < 10^5$:

$$\lambda = (100\mathcal{R})^{-\frac{1}{4}}$$

- si $\mathcal{R} > 10^5$:

$$\lambda = \left[2\log\left(3.71\frac{D}{\varepsilon}\right)\right]^{-2}$$

1) Nommez et écrivez les relations relative au tube de courant de 0 à 4.
En déduire la relation permettant de calculer ΔX_i connaissant v_2 et λ. .... **[3]**

2) Nommez et écrivez la relation permettant de relier v_4 à z_5. .... **[0.5]**

3) On souhaite avoir une hauteur de jet de $z_5 = 4$ m.
Déterminez v_2, $\mathcal{R}_2$ et q_v. Déterminez λ et ΔX_i. Déterminez la puissance consommée par la pompe. **[3.5]**

4) On envisage de supprimer la pompe de ce circuit pour la remplacer par un simple raccord entre les 2 diamètres. En négligeant la perte dans ce raccord, quel serait la hauteur z_5 du jet d'eau ? .. **[1.5]**

Exercice n°2 – 6.5 pts

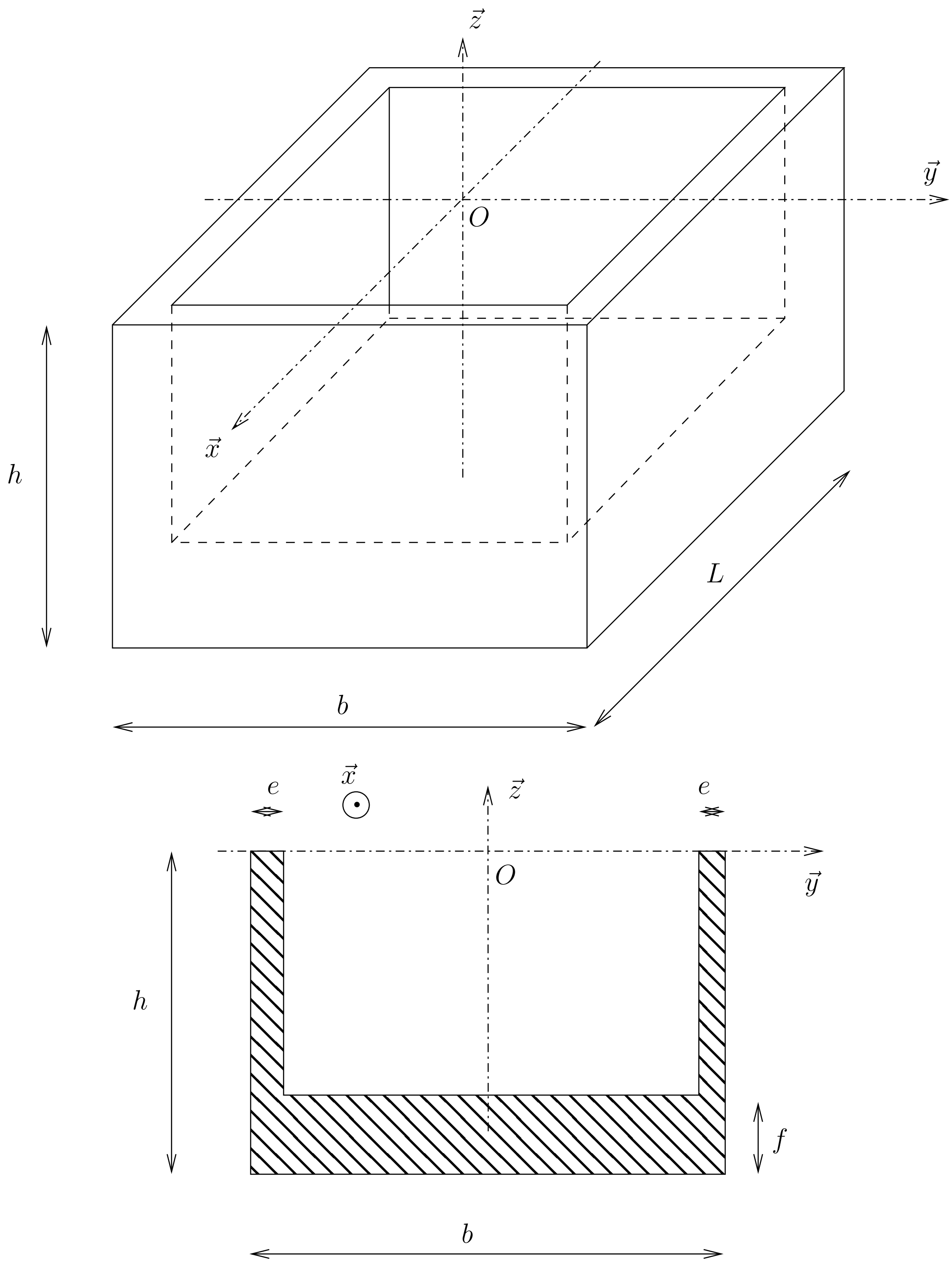

Fig. 2 – Vue en perspective et en section de la coque de béton.

On s'intéresse à un système de flottaison d'habitation et à sa stabilité lorsqu'il est horizontal.

Considérons une coque formée par un parallélépipède de béton de largeur $b = 6$ m, de longueur $L = 8$ m et de hauteur $h = 5$ m et dont l'épaisseur de paroi latérale est $e = 30$ cm et dont l'épaisseur du fond est $f = 1.9$ m ; L'épaisseur de béton est donc différente sur tout le pourtour et au fond de la coque.

Le point O est positionné au centre de la surface rectangulaire supérieure de cette coque.

La masse volumique du béton utilisée est $\rho' = 2000$ kg.m^{-3}.

Une maison peut reposer sur la partie supérieure du bloc qui doit flotter sur de l'eau de mer de masse volumique $\rho = 1030$ kg.m^{-3}.

1) Déterminez le volume $\mathcal{V}$, la masse m et la position du centre de gravité G de cette coque de béton : vous exprimerez $\vec{OG}$. . . . . **[2.75]**

2) Déterminez le tirant d'eau t de cette coque de béton, c-à-d la profondeur immergée, lorsqu'elle ne supporte pas de maison. L'équilibre de cette coque est'il stable ? Justifiez numériquement. . . . . . . **[2.75]**

3) Quelle masse de maison supportée par cette coque aboutit à un tirant d'eau égale à la hauteur h ?**[1]**

Exercice n°3 – 5 pts

Le Solar-Impulse 2 (cf FIG. 3) a réalisé son premier tour de la terre par escales en mars 2015. Sa vitesse de vol est situé entre 28 et 87 mph (1 mile per hour = 1 mph = 1.609344 km/h) suivant l'altitude. La masse de l'avion est $M = 2300$ kg, son envergure $L = 72$ m, la corde des ailes au niveau du fuselage (à l'emplanture) et sur une grande partie de la longueur des ailes est $c_1 = 4.1$ m, la corde au "saumon" de l'aile c-à-d aux extrémités des ailes est $c_2 = 3$ m, la surface alaire est $S = 270$ m^2.
Le fuselage possède une surface de maitre couple $S_f = 3.1$ m^2 et un coefficient de trainée $C_{xf} = 0.35$.
Cet avion possède 4 moteurs d'une puissance maximale de 15 cv chacun (1 cv = 732 W).
Les caractéristiques de l'air sont donnés par le TAB. 1.

altitude h (m)	accélération de la pesanteur g (m/s^2)	masse volumique ρ (kg/m^3)	T (K)	T (°C)	viscosité à l'altitude / viscosité au sol $\nu(h)/\nu(h=0)$ avec : $\nu(h=0) = 15\,.10^{-6}$ m^2/s
0	9,8066	1,22	288	15	1,00
1000	9,8036	1,11	281	8	1,08
2000	9,8005	1,00	275	2	1,17
3000	9,7974	0,90	268	-5	1,27
4000	9,7943	0,82	262	-11	1,38

TAB. 1 – Caractéristiques de l'atmosphère avec l'altitude.

On envisage de mettre un profil NACA4312 (cf FIG. 4) sur toute la longueur des ailes.

L'évolution des coefficients aérodynamiques de trainée C_D et de portance C_L de ce profil sont données par les "polaires" aux 3 nombres de Reynolds $\mathcal{R} = 2\,10^6$, $5.5\,10^6$ et $9\,10^6$ sur la FIG. 5.

On considère un vol horizontal à 2 km d'altitude pour une vitesse de l'avion par rapport à l'air de 50 km/h.

1) Calculez le coefficient de portance du profil, supposé constant sur toute l'aile, qui permet de réaliser ce vol. . . . . **[1]**

2) Calculez les nombres de Reynolds relatif aux écoulements autour du profil d'aile à l'emplanture et au saumon. . . . . **[1]**

3) Evaluez l'angle d'incidence α du profil qui permet d'obtenir ce coefficient de portance. . . . . **[0.5]**

4) Pour cette incidence, surévaluez le coefficient de trainée du profil. . . . . **[0.5]**

5) Quelle est alors la force de trainée sur l'ensemble de l'avion ? . . . . **[1]**

6) Quelle est la puissance perdue par cette trainée sur l'ensemble de l'avion ?
Vous parait elle raisonnable ? . . . . **[1]**

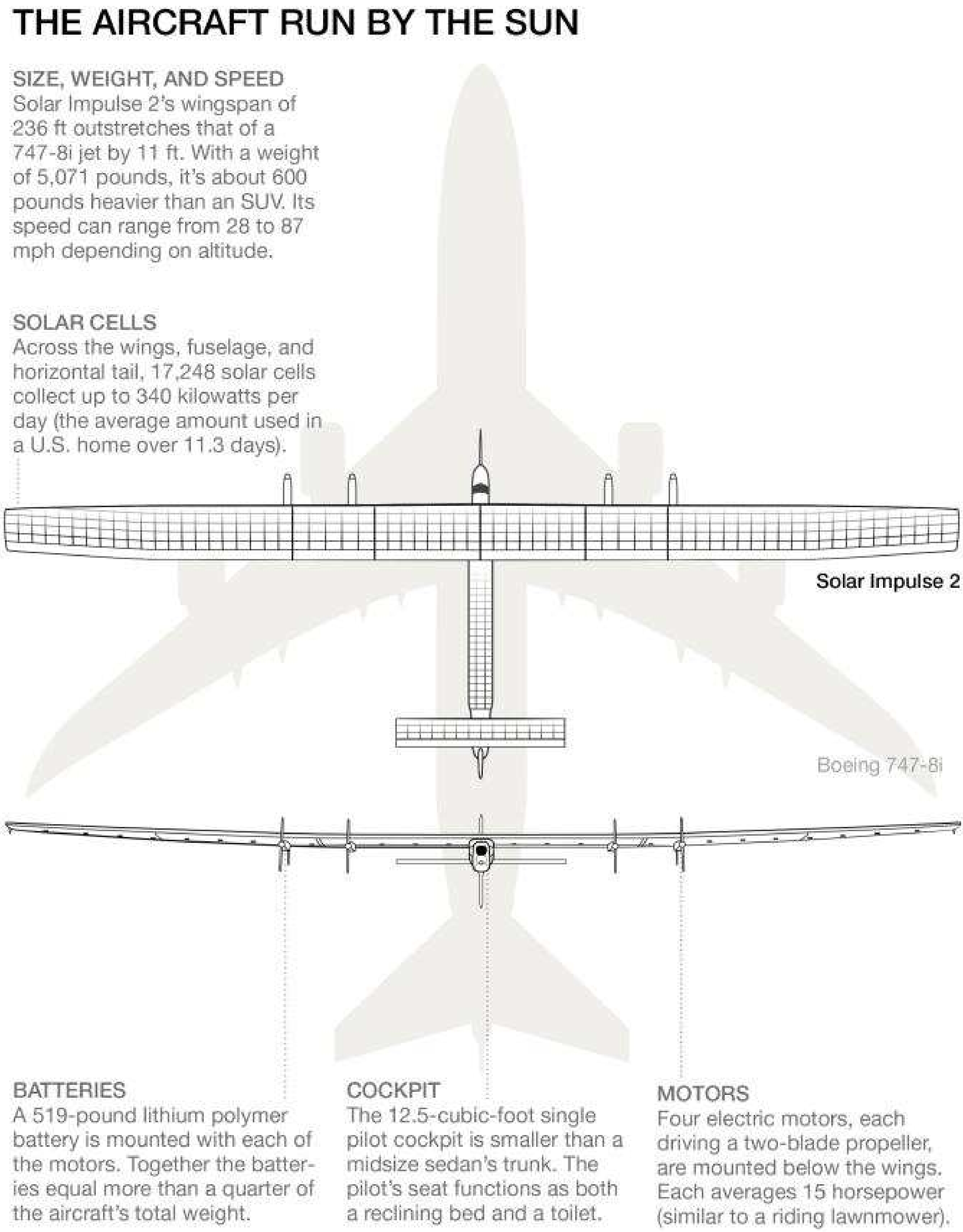

Fig. 3 – Solar Impulse 2 comparé à un Boeing 747.

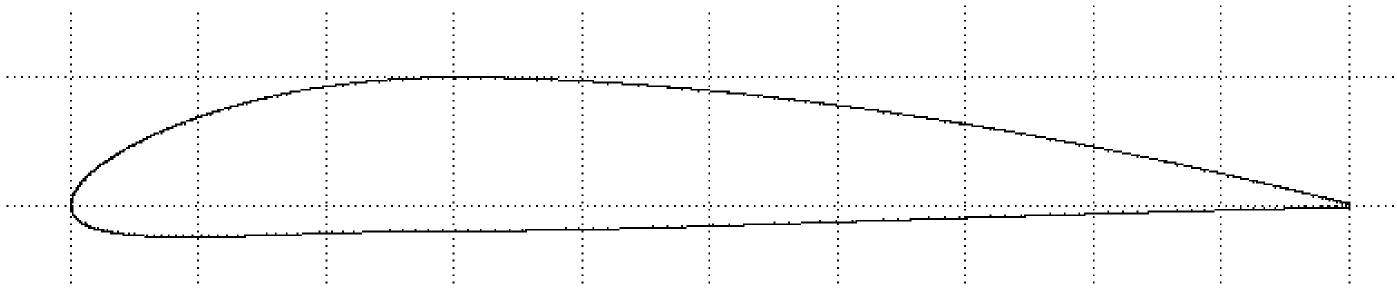

FIG. 4 – Le profil NACA4312.

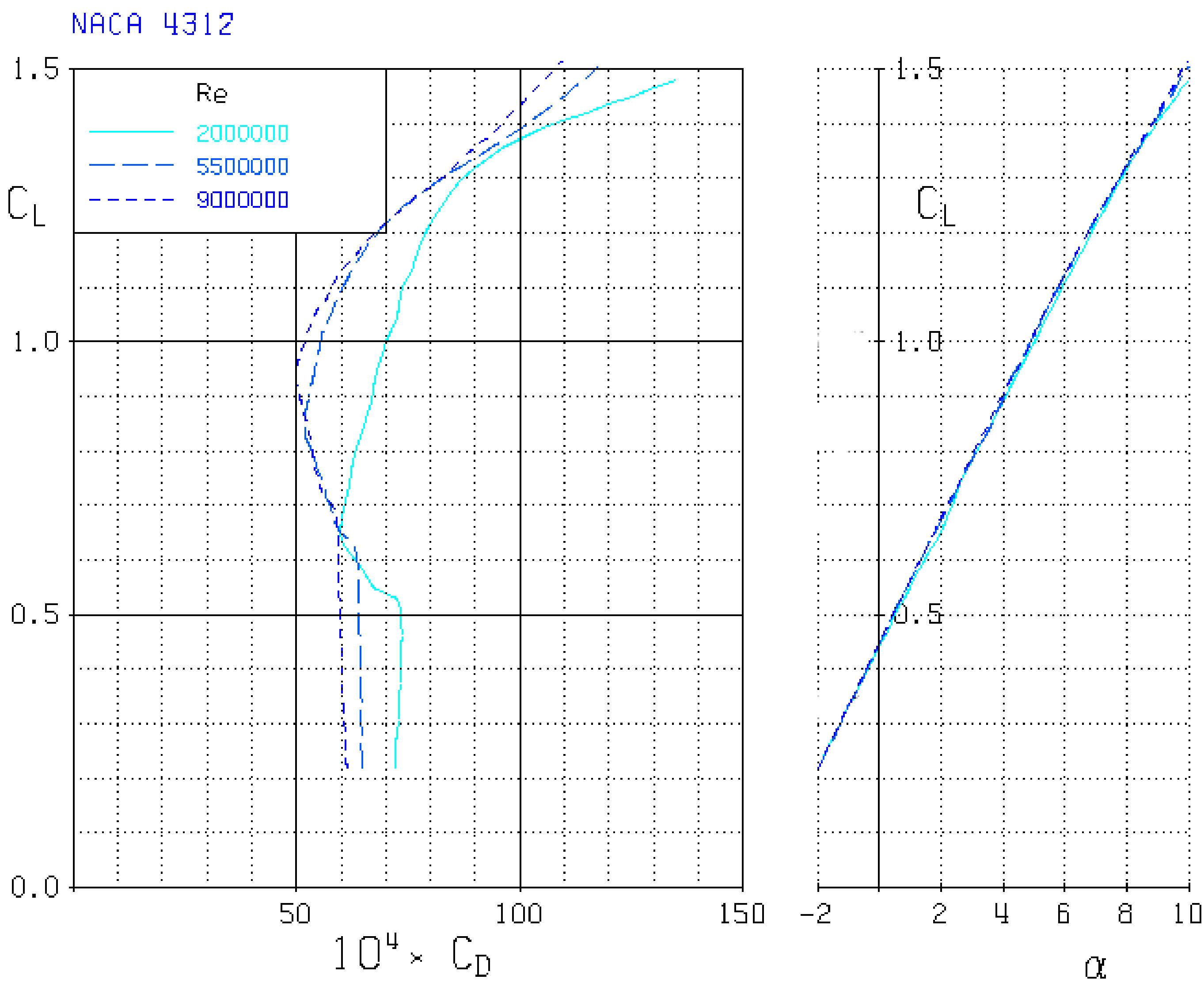

FIG. 5 – Les "polaires" du profil NACA4312 aux 3 nombres de Reynolds $\mathcal{R} = 2\,10^6$, $5.5\,10^6$ et $9\,10^6$