

PSI* 2024 - 2025
TD N°8
Vol d'un AIRBUS

I.A – Éléments de description d'une aile

On considère un avion de ligne de type Airbus A320. L'avion, de masse $m = 60\,000$ kg supposée constante, est équipé de deux turboréacteurs (un sous chaque aile) délivrant une poussée totale \vec{F} . La figure 1 rappelle la signification des termes utiles à la description d'une aile.

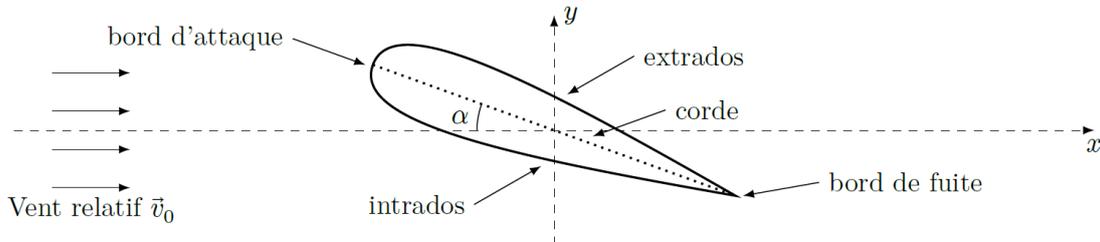


Figure 1

Chaque aile mesure environ 12 mètres de long et sa corde 3 mètres en moyenne. Le profil de chaque aile est supposé symétrique.

On se place dans le référentiel de l'avion (O, x, y) (figure 1). L'aéronef est dans un flux d'air unidirectionnel et stationnaire, dit vent relatif, de vitesse $\vec{v}_0 = v_0 \vec{e}_x$ et d'angle d'incidence α par rapport à l'aile. L'écoulement de l'air est partout supposé incompressible, homogène et stationnaire. Chaque aile subit alors une force de portance d'intensité $\frac{1}{2} \rho S v_0^2 C_y$ et une force de trainée d'intensité $\frac{1}{2} \rho S v_0^2 C_x$ où ρ est la masse volumique de l'air et S la surface portante de l'aile. La valeur des coefficients C_x et C_y varie avec l'angle d'incidence comme indiqué figure 2. Pour l'écoulement autour de l'aile, dans le cadre de ces hypothèses, vitesse v et pression P sont liées par la relation de Bernoulli $P + \frac{1}{2} \rho v^2 = P_t = \text{Cte}$. P_t est appelé *pression totale*.

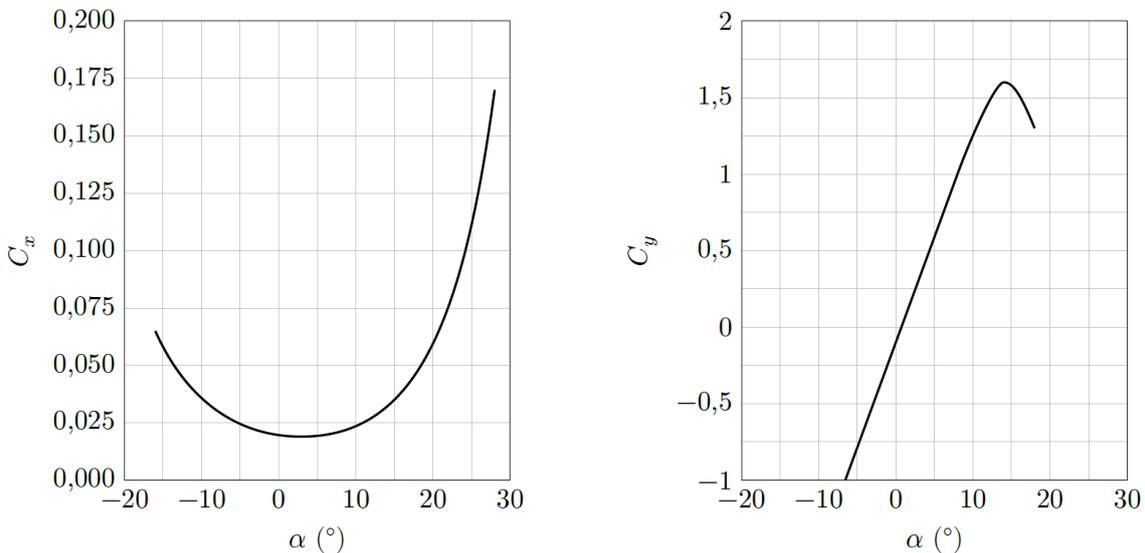


Figure 2

Q 1. Recopier sommairement le schéma de la figure 1 en y faisant figurer la résultante aérodynamique \vec{R} ainsi que ses composantes suivant les axes (Ox) et (Oy) , notées \vec{R}_x et \vec{R}_y .

On appelle *angle de calage*, l'angle β que fait la corde des ailes avec l'axe longitudinal du fuselage de l'avion (figure 3). Pour l'avion étudié, il vaut 3° . On appelle *assiette* l'angle que fait l'axe longitudinal de l'avion avec l'horizontale et *pente* l'angle que fait le support de la vitesse du centre de masse de l'avion (sa trajectoire) avec l'horizontale. En vol horizontal (pente nulle) et à assiette nulle, la vitesse du centre de masse de l'avion est dirigée suivant son axe longitudinal. En phase de montée ou de descente, le pilote peut modifier l'assiette à pente constante, modifiant ainsi l'angle d'incidence.

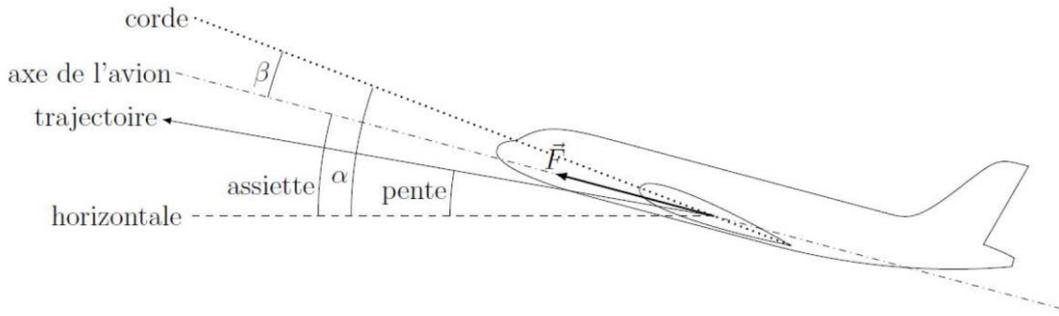


Figure 3

On suppose que le centre de poussée de l'avion correspond à son centre de masse et que la force de poussée totale \vec{F} produite par les deux turboréacteurs est dirigée selon l'axe longitudinal du fuselage (figure 3). On assimile les coefficients aérodynamiques C_x et C_y de l'avion à ceux des ailes. La vitesse du centre de masse de l'avion est considérée constante dans le référentiel terrestre, supposé galiléen.

Q 2. On considère l'avion en vol de croisière à pente et assiette nulles (trajectoire confondue avec l'axe de l'avion). Écrire, dans ces conditions, l'équation, dite de sustentation, liant la masse de l'avion m à C_y et l'équation, dite de propulsion, liant F à C_x .

Q 3. Estimer numériquement la vitesse de croisière et la poussée nécessaire à son maintien.

I.B – Rôle des ailes

En notant P_0 la pression en avant de l'avion, P la pression en un point de l'aile et P_t la pression totale en ce même point, on définit le coefficient de pression en ce point par $K_p = \frac{P - P_0}{P_t - P_0}$. La figure 4 donne l'allure du coefficient de pression d'une aile d'A320 pour trois valeurs d'angle d'incidence en fonction de la position le long de l'intrados et de l'extrados, 0 représentant le bord d'attaque et 1 le bord de fuite. La courbe en trait continu correspond à l'extrados, les pointillés à l'intrados. À incidence nulle, les courbes pour l'intrados et l'extrados sont confondues.

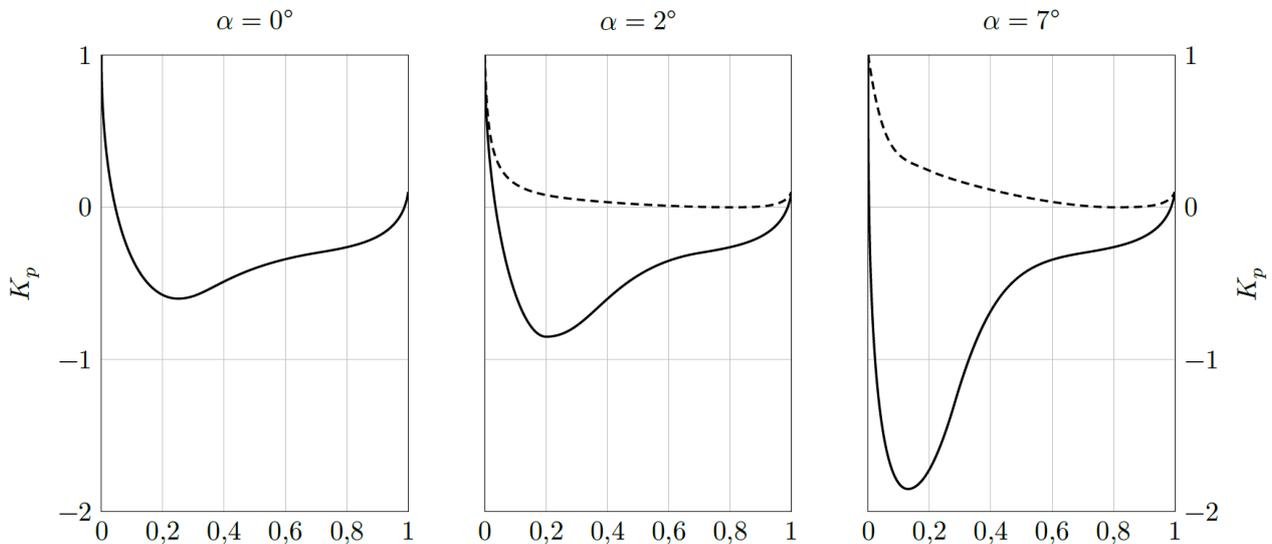


Figure 4

Q 4. À l'aide de la figure 4, expliquer l'existence d'une force de portance pour les angles d'incidence non nuls.

Q 5. Justifier que cette force de portance est nulle pour un angle d'incidence nul.

Q6a) Pour une trajectoire horizontale mais une assiette non nulle, que l'on notera A, réaliser un schéma faisant apparaître la trajectoire et l'axe de l'avion, la corde de l'aile, les angles A et bêta ainsi que les quatre forces qui agissent sur l'avion. En déduire deux équations algébriques similaires à celles de Q3

Q 6.b) À partir de la figure 2, en considérant que la trajectoire est horizontale et que l'assiette est non nulle, expliquer l'existence d'une vitesse minimale v_{min} , dite vitesse minimale de sustentation, en-deçà de laquelle la sustentation ne peut plus être assurée. On dit alors que l'avion décroche.

- Q 7. Exprimer la vitesse v_{\min} .
- Q 8. Pour l'aile considérée, estimer la valeur numérique de l'incidence permettant de voler à v_{\min} .
- Q 9. Estimer la valeur numérique de v_{\min} pour l'aile considérée.
- Q 10. Pourquoi cette situation risque-t-elle de se présenter en phase d'atterrissage ?

Afin de permettre un atterrissage en sécurité, les ailes d'avion sont équipées de becs sur le bord d'attaque et de volets sur le bord de fuite. Ces éléments mobiles permettent de modifier le profil de l'aile et de faire ainsi varier ses coefficients aérodynamiques et sa surface portante. La figure 5 montre l'influence des becs et des volets sur le C_y de l'aile.

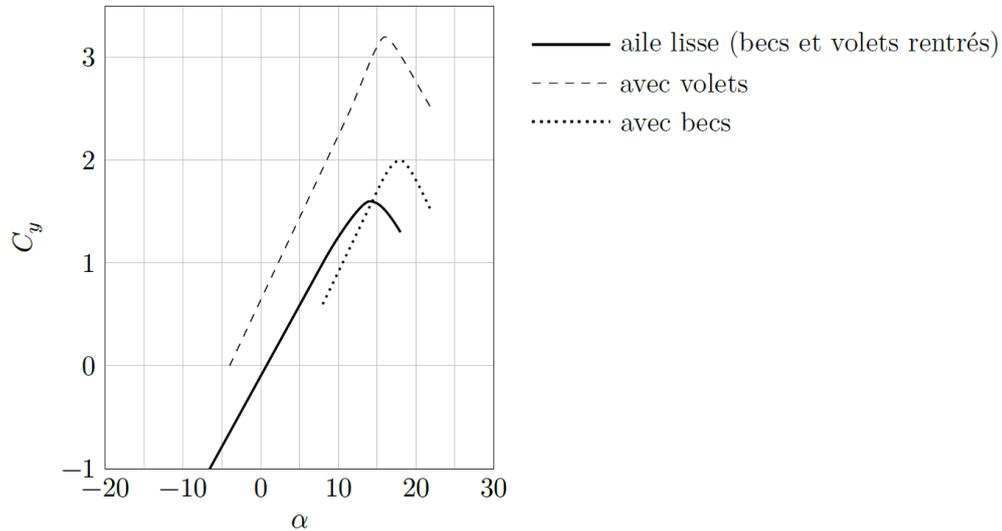


Figure 5

- Q 11. En s'appuyant sur la figure 5 et en sachant que, pour des raisons de sécurité, l'atterrissage doit se faire à $250 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, discuter qualitativement le rôle des becs et des volets.

I.C – Le vol plané

Le rendement d'une aile se caractérise par sa finesse, notée f . Considérons un avion en l'air qui coupe ses moteurs et poursuit en vol plané descendant (sans propulsion) à vitesse constante sur une pente constante avec une assiette non nulle. La finesse de l'avion est définie comme le rapport entre la distance horizontale parcourue avant d'atteindre le sol et la hauteur de chute.

- Q 12. À partir d'un schéma représentant les forces s'exerçant sur l'avion, exprimer la finesse de l'aile en fonction du rapport C_y/C_x .

La figure 6 présente la *polaire de type Eiffel* de l'aile d'un A320. Il s'agit de la courbe représentant, pour un nombre de Reynolds donné, la valeur de C_y en fonction de celle de C_x pour chaque valeur de l'angle d'incidence.

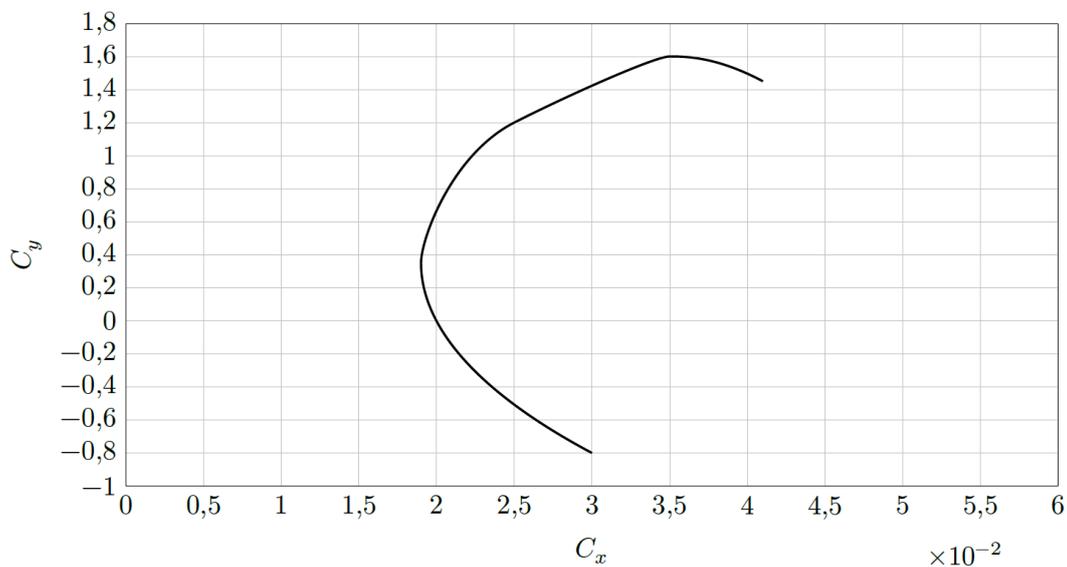


Figure 6

Q 13. Comment se traduit graphiquement la finesse maximale sur la polaire de type Eiffel ?

Q 14. En utilisant la figure 6, évaluer numériquement la finesse maximale de l'aile considérée.

Q 15. En déduire la distance horizontale maximale que peut parcourir l'avion en vol plané en cas de panne de moteur à 1000 mètres au dessus du sol.

Q 16. En réalité, la finesse de l'avion complet (ailes, fuselage, moteurs, empennage, dérive...) est deux fois moins importante que celle de ses ailes. Proposer une explication.

toutes les données ne sont pas utiles

Données

Sauf indication contraire, les valeurs dépendantes de la température sont fournies à 298 K.

Accélération de la pesanteur terrestre	$g = 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$
Composition de l'air	$\text{N}_2 : 80 \%, \text{O}_2 : 20 \%$
Masse volumique de l'air sous une pression de 1 bar	$\rho = 1,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Viscosité dynamique de l'air	$\eta = 1,8 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$
Coefficient isentropique de l'air	$\gamma = 1,4$
Capacité thermique massique à pression constante de l'air	$C_{p\text{mass}} = 1,0 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Constante des gaz parfaits	$R = 8,314 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$
Constante de Boltzmann	$k_B = 1,381 \times 10^{-23} \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$