

DEVOIR LIBRE n°3

PSI 2022/2023

Pour le 18 Novembre

Partie I Étude simplifiée du vol d'un Airbus A320

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.

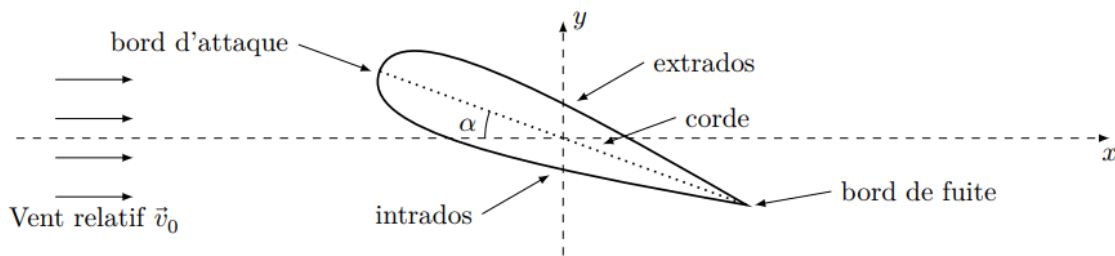


Figure 1

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*.

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.

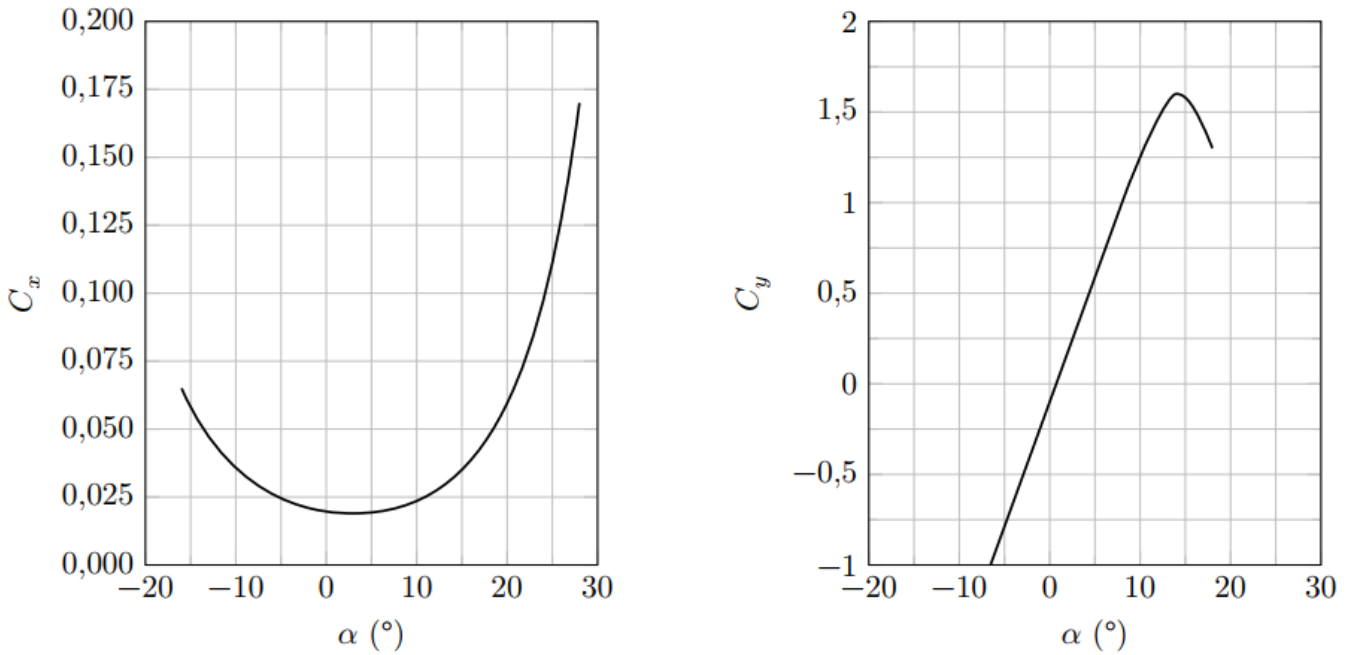


Figure 2

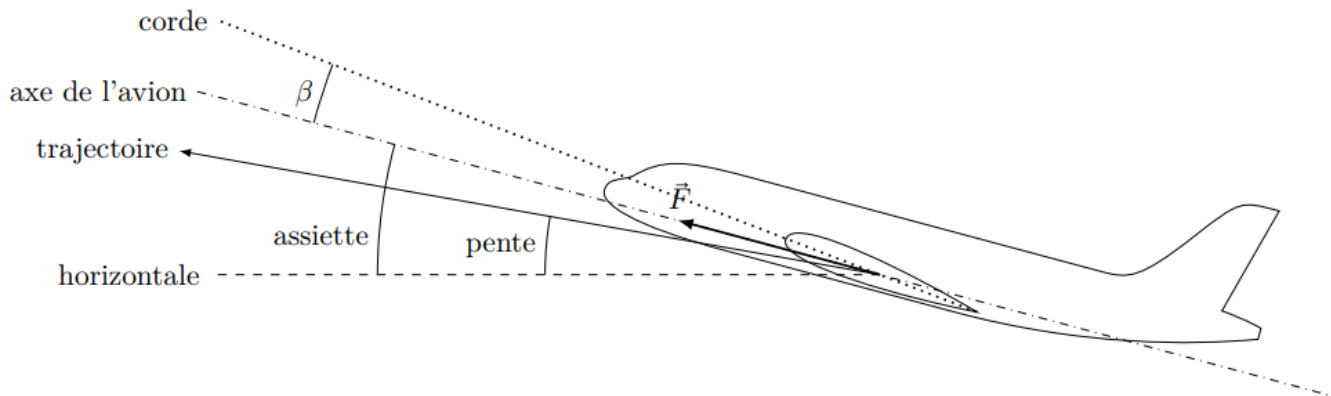


Figure 3

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.

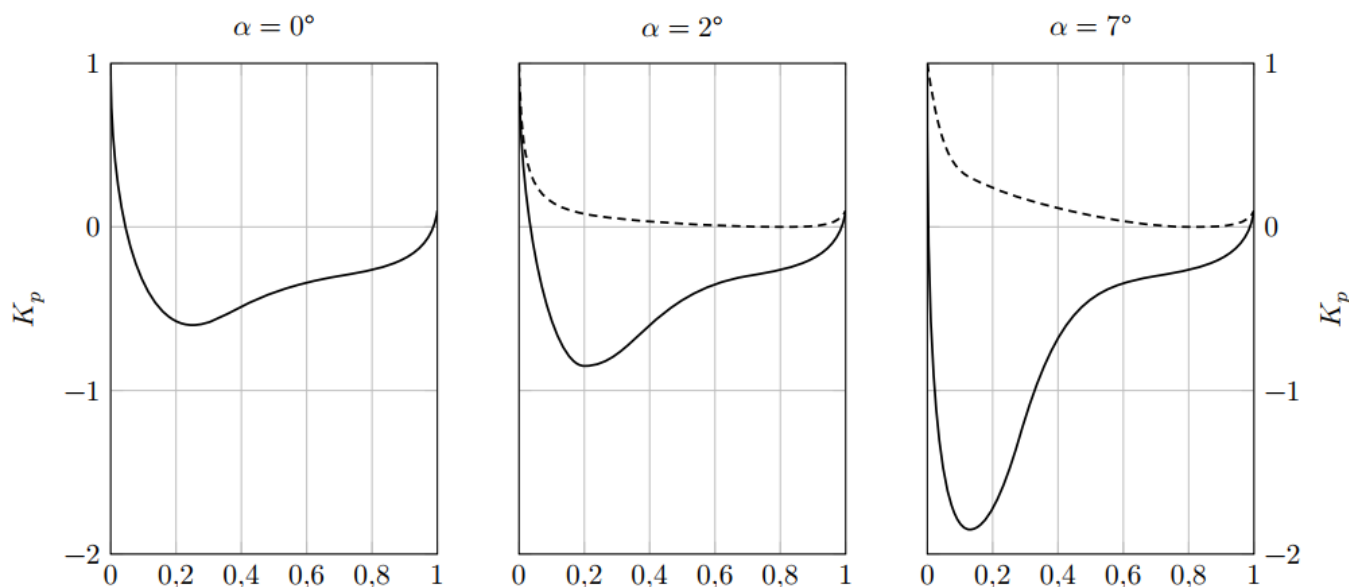


Figure 4

- 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.
- Q 6.** 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.

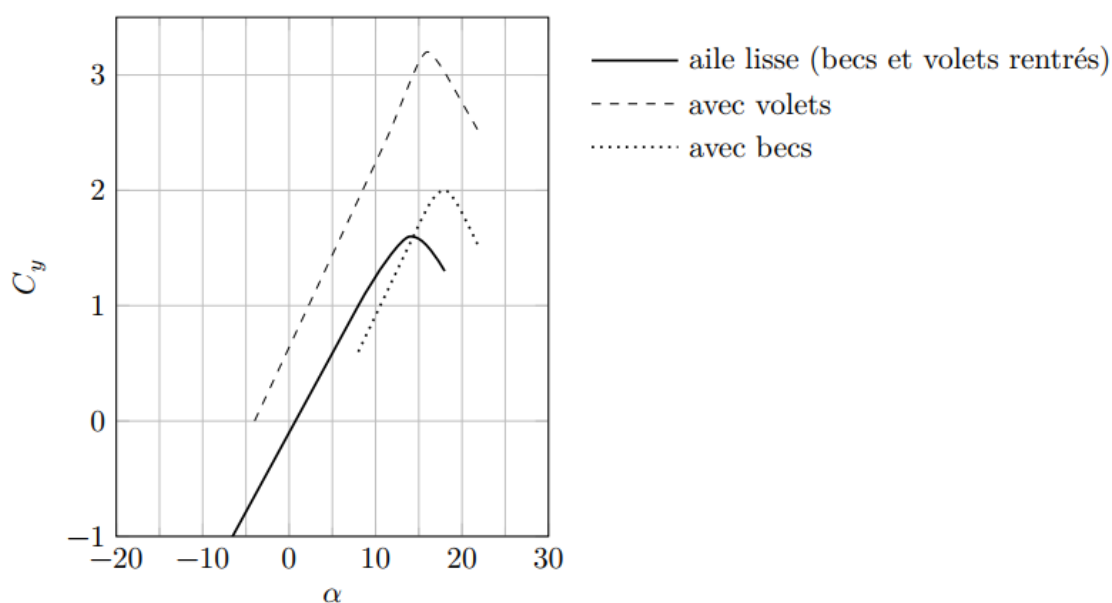


Figure 5

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.

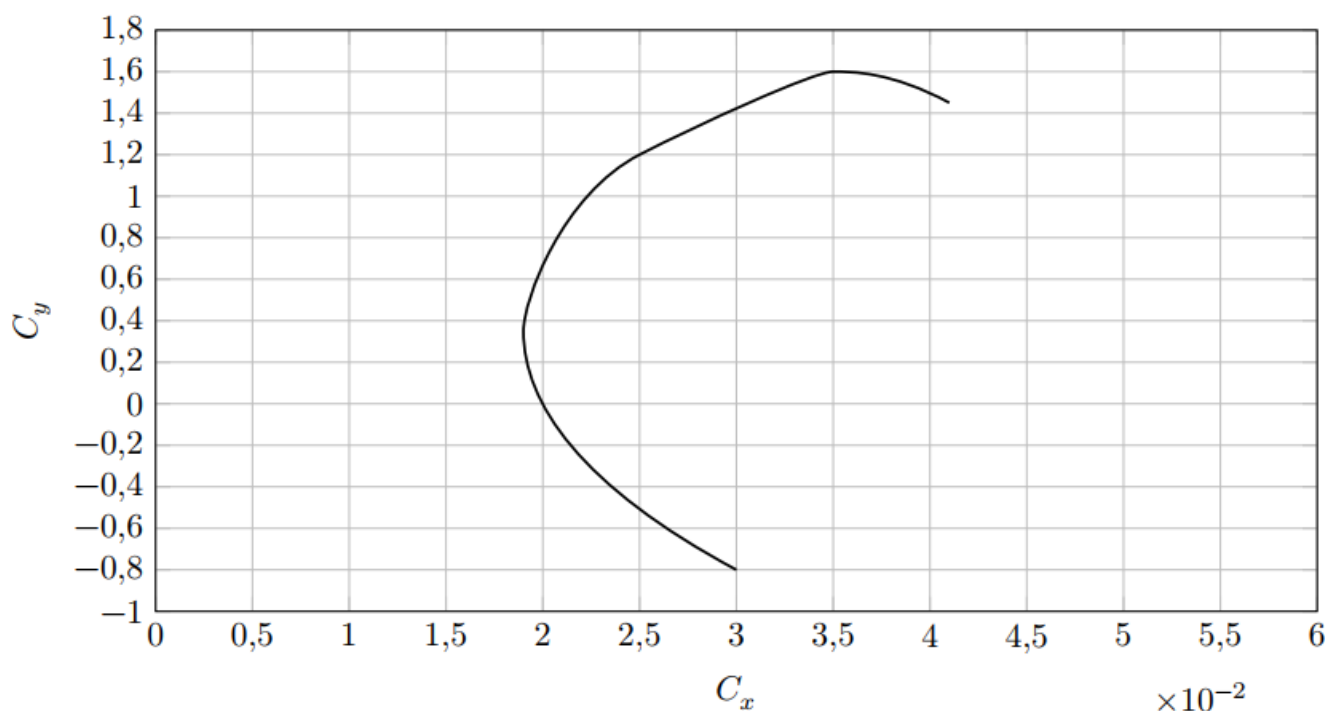


Figure 6

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.

Partie II Applications des alliages du titane dans l'industrie

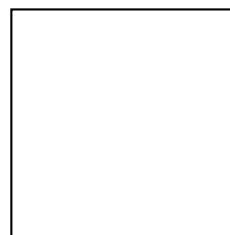
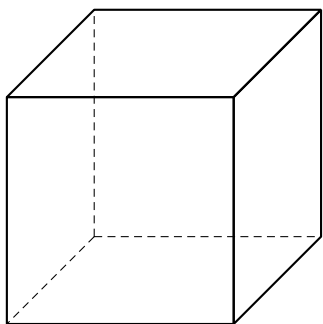
II. 1 Étude cristallographique du nitrure de titane NTi

Le nitrure de titane, par ses propriétés anti-corrosives, permet d'améliorer l'état de surface de certains métaux. Il est également utilisé pour ses propriétés mécaniques et électriques dans le domaine médical. Le nitrure de titane présente une structure analogue à celle du chlorure de sodium. Les atomes de titane constituent un réseau cubique à faces centrées (CFC) et les atomes d'azote occupent les sites octaédriques.

On donne :

- Masse molaire : $M(\text{NTi}) = 61,9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- Constante d'Avogadro : $\mathcal{N}_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.
- Rayon de l'atome d'azote : $R(\text{N}) = 56 \text{ pm}$.

Q1. Compléter, sur les figures ci-dessous, la maille élémentaire de NTi en perspective puis en projection cotée sur un plan de face.



- Q2.** Déterminer la population en explicitant le calcul et vérifier la stœchiométrie du nitrure de titane.
- Q3.** La masse volumique du nitrure de titane est $\rho = 5,24 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. Exprimer puis calculer le paramètre de la maille, a .
- Q4.** Exprimer le rayon de l'atome de titane en fonction du paramètre de maille. Faire l'application numérique.
- Q5.** Exprimer le rayon R_o d'un site octaédrique en fonction du paramètre de maille. Vérifier l'habitabilité pour l'atome d'azote.

II. 2 Utilisation du dioxyde de titane comme catalyseur

Des matériaux photo-catalytiques à base de dioxyde de titane permettent d'éliminer des polluants dans un objectif de traitement des effluents urbains ou industriels. Une étude cinétique a été réalisée sur la dégradation d'un pesticide, de concentration C , à l'aide de dioxyde de titane fixé sur des fibres optiques. Les fibres optiques servent de guide de lumière et permettent de gagner en efficacité. Si l'on note P le pesticide, l'équation de réaction est de la forme :



Temps (h)	0	5	10	20	30	40	50	60
C (mmol/L)	15,0	13,7	12,5	10,3	8,55	7,08	5,86	4,86

TABLE 1 – Données relatives à l'étude cinétique.

- Q6.** À l'aide des données rassemblées dans le tableau 1, vérifier que cette réaction est compatible avec une cinétique d'ordre un.
- Q7.** Donner la valeur numérique de la constante de vitesse k . L'unité de temps sera donnée en heure.

II. 3 Étude du catalyseur Ziegler-Natta

Le trichlorure de titane, TiCl_3 , est utilisé comme catalyseur en chimie organique. On dispose d'une solution (S) de TiCl_3 dont on veut déterminer la concentration C_1 en soluté apporté.

Mode opératoire :

- On introduit une prise d'essai $E = 10 \text{ mL}$ de la solution (S) dans un erlenmeyer.
- On ajoute 5 mL d'acide sulfurique à environ 4 mol.L^{-1} .
- Le mélange est titré par les ions cérium Ce(IV) à la concentration molaire $C = 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$.
- L'équivalence est détectée pour un volume $V_E = 12 \text{ mL}$ à l'aide d'un indicateur coloré, la ferroïne.

On donne :

- Constante de solubilité à 25°C : $K_s(\text{Ti(OH)}_3) = 10^{-38}$.
- Produit ionique de l'eau à 25°C : $K_e = 10^{-14}$.
- Potentiels standard à $pH = 0$ et à 25°C :

$$- E^0(\text{Ce}^{4+}(\text{aq})/\text{Ce}^{3+}(\text{aq})) = 1,61 \text{ V} ;$$

$$- E^0(\text{Ti}^{4+}(\text{aq})/\text{Ti}^{3+}(\text{aq})) = 0,34 \text{ V}.$$

Q8. Donner l'équation support de la réaction de titrage.

Q9. Exprimer puis calculer la concentration en ions titane (III) C_1 en fonction de C , E et V_E .

Q10. Les ions titane (III) forment un précipité d'hydroxyde de titane (III), $\text{Ti(OH)}_3(\text{s})$. Déterminer le pH de précipitation de cet hydroxyde dans la solution (S).