Concours Centrale-Supélec, France

Session 2020, filière PSI

Physique-chimie 2

Durée : 4 heures

Ce que traite le sujet

- Partie I : un avion de ligne en vol
- Partie II : turboréacteur double corps, avec soufflante, à flux séparés
- Partie III : NOx et production de gaz à effet de serre
- Partie IV : aluminium et alliage 2024

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/centrale/psi/2020/physique-chimie2

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

CONCOURS CENTRALE•SUPÉLEC

Physique-chimie 2

PSI

2020

4 heures Calculatrice autorisée

Étude simplifiée du vol d'un Airbus A320

Un formulaire et certaines valeurs numériques sont regroupées en fin d'énoncé.

I L'Airbus A320 en vol

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.

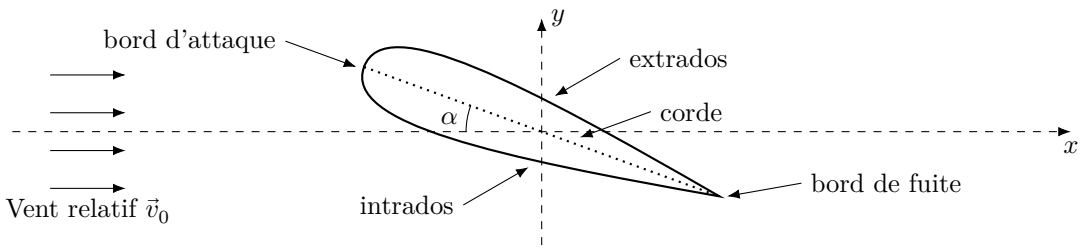


Figure 1

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*.

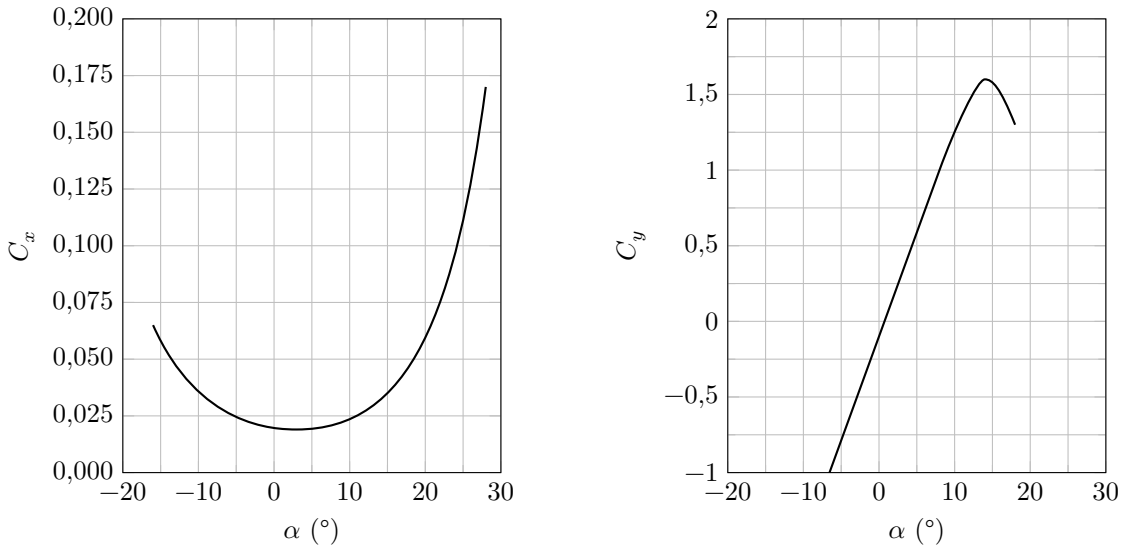


Figure 2

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 $\vec{R}_y$.

BY-NC-SA

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.

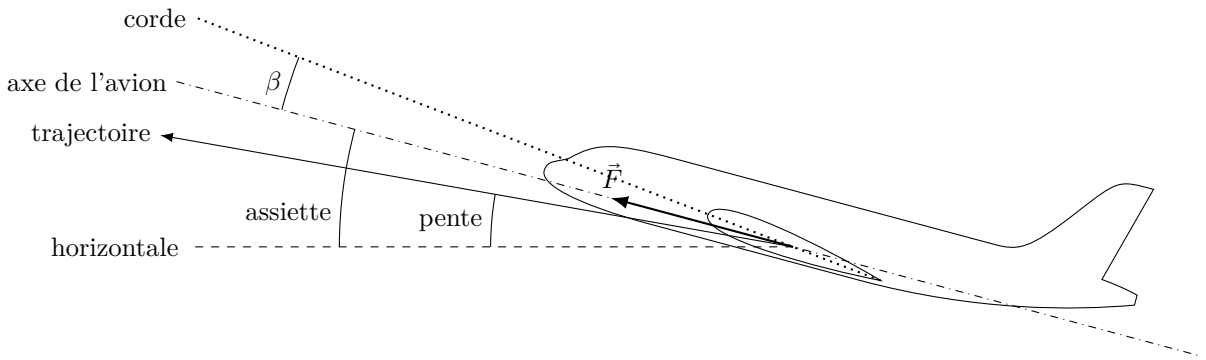


Figure 3

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 $K_p = \dfrac{P - P_0}{P_t - P_0}$. 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.

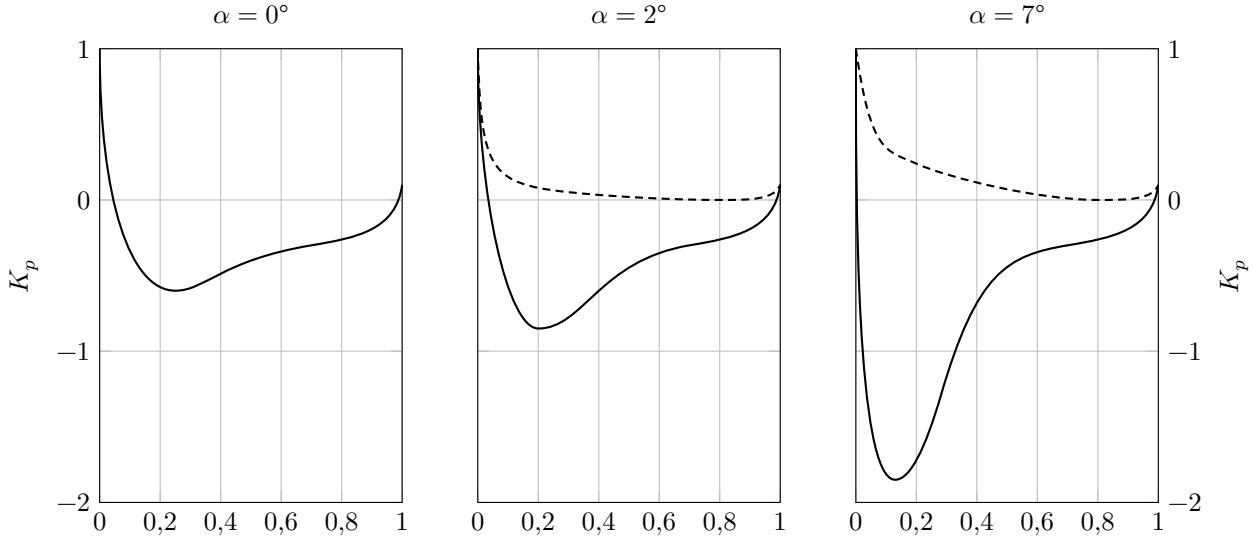


Figure 4

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*.

BY-NC-SA

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.

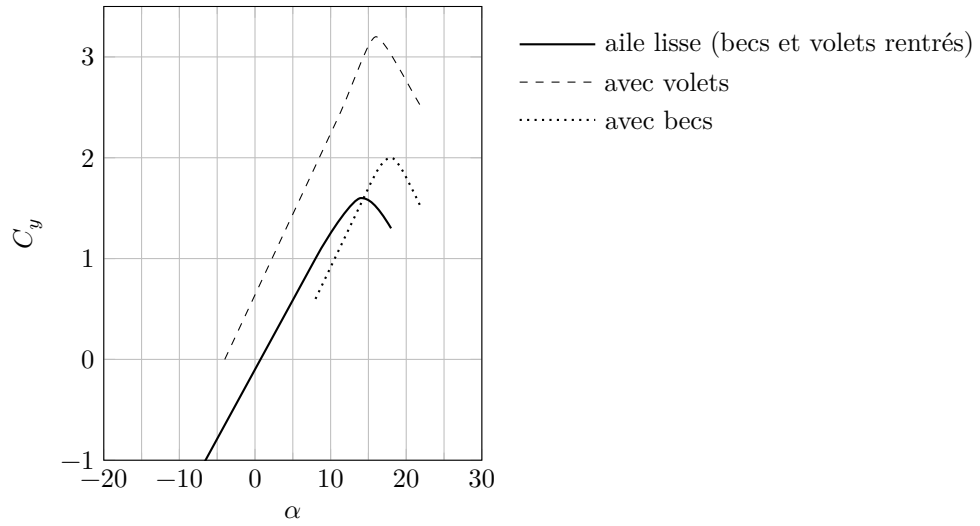


Figure 5

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

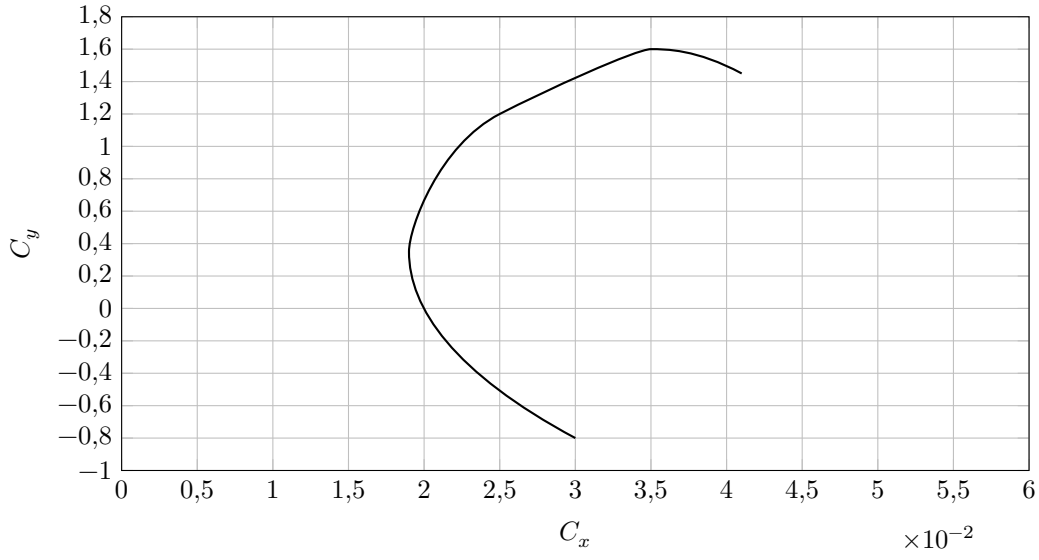


Figure 6

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.

BY-NC-SA

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.

II Turboréacteur double corps, avec soufflante, à flux séparés

Cette partie étudie, de façon simplifiée, le fonctionnement du turboréacteur double-flux séparés et double-corps du type CFM56 qui équipe l'Airbus A320. Pour cela, on se place dans le cadre d'un test au sol sur un banc d'essai fixe. La figure 7 présente le schéma de principe simplifié du turboréacteur.

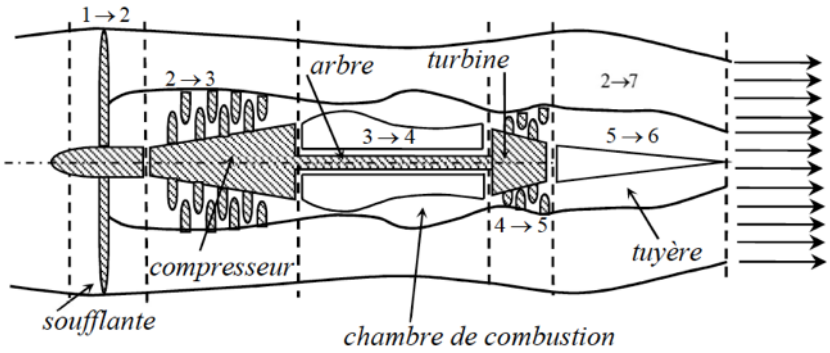


Figure 7

L'air est aspiré (étape $1 \to 2$) par la soufflante à la température $T_1 = 288\,\text{K}$ et à la pression $P_1 = 1\,\text{bar}$. Il se divise ensuite en deux flux, le flux primaire de débit massique D_{m1} et le flux secondaire de débit massique D_{m2}. On note $\beta = D_{m2}/D_{m1} = 5{,}7$ le facteur de by-pass (taux de dilution) et $D_m = D_{m1} + D_{m2}$ le débit massique total. Le flux primaire, dit *flux chaud* du fait de son passage dans la chambre de combustion, décrit dans le corps principal du turboréacteur les étapes suivantes :

— $2 \to 3$, compression de P_2 à P_3 par un compresseur axial ;

— $3 \to 4$, dans la chambre de combustion où le carburant est injecté, le mélange air-carburant est chauffé par combustion. La flamme est confinée au voisinage des injecteurs alimentés par un débit de kérosène ici négligé devant celui de l'air qui traverse la chambre. La température (température de flamme) s'abaisse ensuite rapidement dans la chambre pour atteindre une valeur compatible avec la tenue des matériaux de la turbine. Les caractéristiques de l'air ne sont pas modifiées par la combustion. On prendra en sortie de la chambre de combustion $T_4 = 1450\,\text{K}$. La chambre est supposée isobare ;

— $4 \to 5$, détente partielle dans la turbine axiale ;

— $5 \to 6$, détente dans la tuyère, de la pression P_5, à vitesse supposée nulle, jusqu'à la pression ambiante $P_6 = 1\,\text{bar}$ où une première contribution à la poussée est produite.

Le flux secondaire, dit *flux froid*, s'écoule sans perte de charge autour du corps principal et passe directement dans une tuyère séparée de la première où l'essentiel de la poussée est produite. En sortie de cette tuyère $P_7 = 1\,\text{bar}$ et la température est notée T_7.

Les taux de compression de la soufflante et du compresseur sont respectivement donnés par $P_2/P_1 = 2$ et $P_3/P_2 = 13$.

On suppose que le régime est stationnaire et que l'énergie potentielle de pesanteur du fluide est partout négligeable devant les autres grandeurs énergétiques. De même on négligera partout l'énergie cinétique du fluide sauf en sortie des tuyères. Les évolutions dans la tuyère, la turbine et le compresseur sont supposées adiabatiques et réversibles. Le système ne comporte aucune pièce mobile en dehors de la turbine, du compresseur et de la soufflante. Le compresseur, la turbine et la soufflante ont un arbre commun supposé sans perte mécanique. On néglige aussi les pertes mécaniques dans le compresseur et dans la turbine.

Q 17. On modélise le kérosène par le décane $C_{10}H_{22}$. En s'appuyant sur une modélisation qui sera justifiée, exprimer puis évaluer l'élévation maximale de température lors de la combustion d'une mole de décane en présence de la quantité juste suffisante d'air. Les produits obtenus sont du dioxyde de carbone et de l'eau.

Dans le cadre des hypothèses du problème, hormis dans la chambre de combustion, le travail massique utile reçu par le gaz pour une transformation de l'état i vers l'état j est donné par

$$w_{i\to j} = C_{p\,\text{mass}}(T_j - T_i) + \frac{1}{2}(c_j^2 - c_i^2)$$

où c_i est la vitesse du gaz dans l'état i et c_j celle du gaz dans l'état j et où $C_{p\,\text{mass}}$ désigne la capacité thermique massique du gaz.

Q 18. Établir l'expression de la pression P_j en fonction de T_i, T_j, P_i et du coefficient isentropique de l'air γ.

BY-NC-SA

Q 19. En exploitant le couplage mécanique entre turbine, compresseur et soufflante, établir les expressions littérales et les valeurs numériques des températures T_2, T_3, T_5 et de la pression P_5 en sortie de turbine.

Q 20. Établir l'expression littérale et la valeur numérique de c_6, vitesse du gaz du flux chaud à la sortie de la tuyère.

Q 21. Établir également l'expression littérale et la valeur numérique de c_7, vitesse du gaz du flux froid à la sortie de la tuyère.

Q 22. Par un bilan de quantité de mouvement sur une surface de contrôle judicieusement choisie, justifier que les poussées produites par les tuyères relatives aux flux chaud et froid sont respectivement données par : $F_c = D_{m1}c_6$ et $F_f = D_{m2}c_7$.

Q 23. Exprimer la poussée F du turboréacteur complet uniquement en fonction de D_m, des vitesses d'éjection c_6 et c_7 et du facteur de by-pass.

Q 24. En déduire l'expression et la valeur numérique de la poussée par unité de débit massique D_m, dite *poussée spécifique* du turboréacteur, notée F_s.

Q 25. Quel est le pourcentage de la poussée assurée par le flux chaud ?

Q 26. Lors d'un essai au sol sur banc fixe, le turboréacteur délivre une poussée de 20 kN. Quel débit massique D_m doit alors assurer la soufflante ?

Q 27. Ce débit massique permet-il d'obtenir la même valeur de la poussée en vol de croisière ? Justifier qualitativement.

III NOx et production de gaz à effet de serre

En consommant du kérosène, les moteurs d'avions entrainent le rejet de nombreux polluants parmi lesquels les monoxyde d'azote NO et dioxyde d'azote NO_2, regroupés sous l'appellation NOx. Ces composés sont responsables d'une augmentation de la production d'ozone O_3, gaz à effet de serre, dans la basse atmosphère.

Le monoxyde d'azote NO est obtenu par oxydation du diazote N_2 à haute température lors de la phase de combustion, modélisée par l'équation de réaction

$$N_{2\,(g)} + O_{2\,(g)} = 2\ NO_{(g)} \tag{III.1}$$

Q 28. Calculer l'enthalpie standard de réaction associée à la réaction (III.1). Commenter.

Q 29. En se plaçant dans l'approximation d'Ellingham, évaluer la fraction molaire de monoxyde d'azote NO présente à l'équilibre dans de l'air chauffé à 1450 K.

Dans un deuxième temps, il y a production de dioxyde d'azote NO_2 à partir du monoxyde d'azote NO, modélisée par l'équation de réaction

$$2\ NO_{(g)} + O_{2\,(g)} = 2\ NO_{2\,(g)} \tag{III.2}$$

pour laquelle on donne l'expression de l'enthalpie libre standard de réaction dans le cadre de l'approximation d'Ellingham : $\Delta_r G^\circ(T) = -114{,}4 + 0{,}1462\,T$ en kJ·mol^{-1} pour T en K.

La figure 8 fournit pour cette réaction les résultats d'une étude cinétique réalisée à 400 K, où v représente la dérivée temporelle de l'avancement volumique de la réaction. Les concentrations initiales utilisées dans cette étude sont

— expérience 1 (tracé avec ×) : $[O_2]_0 = 5{,}0 \times 10^{-3}$ mol·L^{-1}, $[NO]_0 = 10$ µmol·L^{-1}, $[NO_2]_0 = 0$;
— expérience 2 (tracé avec +) : $[O_2]_0 = 2{,}0 \times 10^{-3}$ mol·L^{-1}, $[NO]_0 = 10$ µmol·L^{-1}, $[NO_2]_0 = 0$.

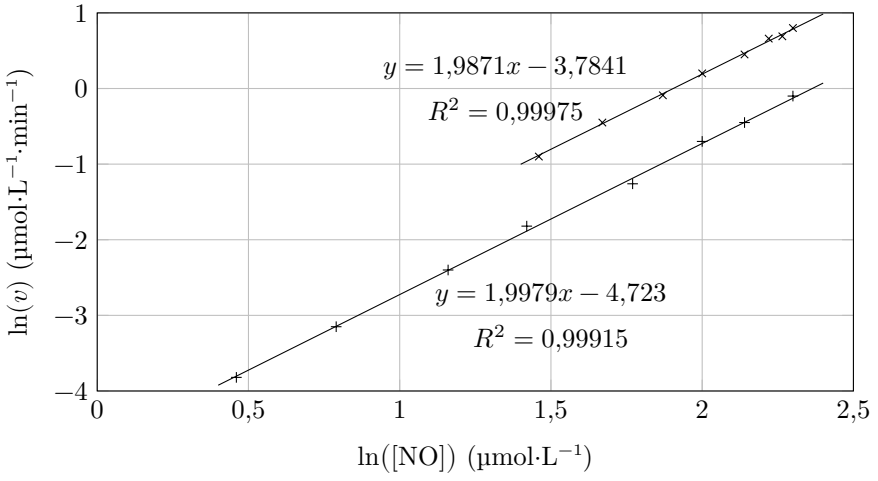


Figure 8

BY-NC-SA

Q 30. Commenter le choix de la température retenue pour l'étude cinétique.

Q 31. Utiliser les résultats précédents pour proposer une loi de vitesse pour la réaction III.2. Déterminer la valeur numérique de la constante de vitesse à la température considérée. La forme obtenue pour la loi de vitesse était-elle prévisible ?

La production d'ozone initiée par les NOx dans la troposphère débute par la photodissociation du dioxyde d'azote NO_2 en NO et O. Il s'agit de la seule source d'atome d'oxygène susceptible de former de l'ozone O_3 par combinaison avec le dioxygène O_2. La figure 9 donne l'évolution du rendement quantique primaire de dissociation, noté Φ, en fonction de la longueur d'onde de la radiation monochromatique incidente. Ce rendement est défini comme la fraction de molécules dissociées par rapport au nombre de photons absorbés.

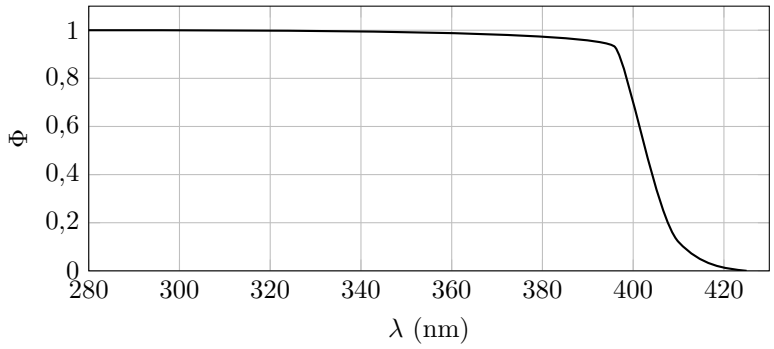


Figure 9

Q 32. Proposer un schéma de Lewis pour la molécule de dioxyde d'azote NO_2.

Q 33. Évaluer l'énergie de liaison ON, aussi appelée enthalpie standard de dissociation, dans NO_2. Commenter la valeur trouvée.

IV Aluminium et alliage 2024

L'aluminium métal Al, de rayon atomique 143 pm, cristallise suivant une structure de type cubique à faces centrées (c.f.c.).

Q 34. L'acier possède une densité $d = 7{,}8$. Justifier l'emploi d'alliages d'aluminium plutôt que de l'acier en aéronautique.

La limite d'élasticité de l'aluminium pur (60 à 70 MPa) est nettement insuffisante pour supporter les contraintes imposées en service aéronautique, ce qui impose son utilisation sous forme d'alliages (58 % en masse dans un airbus A320), comme l'alliage 2024 utilisé dans la structure et le revêtement du fuselage des avions, dont on se propose d'étudier quelques caractéristiques.

Dans ce qui suit, l'alliage 2024 sera assimilé à un alliage aluminium-cuivre à 4 % de cuivre en masse.

La figure 10 donne un extrait du diagramme binaire liquide-solide d'un mélange aluminium-cuivre. Les deux métaux présentent une « miscibilité partielle » pour de faibles teneurs en cuivre ; ils forment alors une solution solide α, mélange intime des deux métaux (domaine de gauche sur le diagramme).

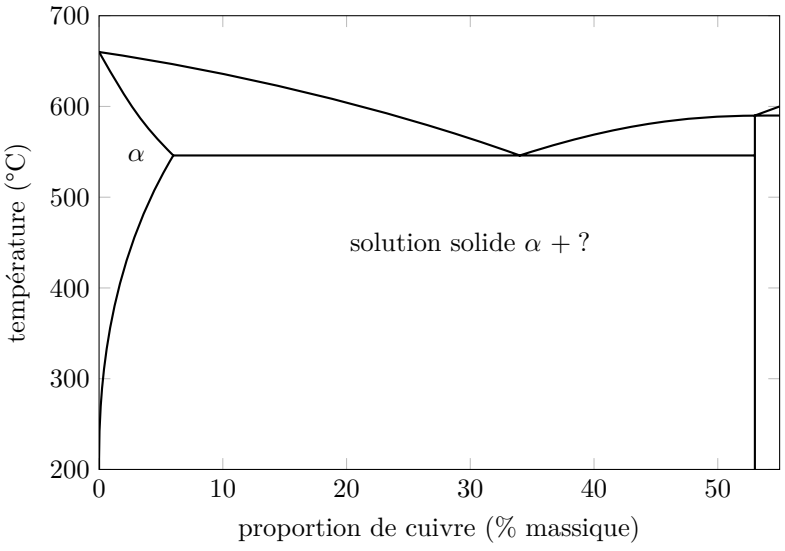


Figure 10

Q 35. Le diagramme de la figure 10 montre qu'il existe un composé défini. Déterminer sa composition Al_xCu, avec x entier.

BY-NC-SA

Q 36. Reproduire très schématiquement ce diagramme binaire en indiquant pour chaque domaine la nature des phases en présence.

Q 37. Calculer le pourcentage massique des phases en présence dans l'alliage 2024 à l'équilibre à la température de 300 K.

L'alliage 2024 est relativement sensible à la corrosion, en particulier en milieu salin (cas des aéroports situés en bord de mer). La figure 11 présente de façon schématique le processus de corrosion par piqures en milieu marin (pH environ égal à 8).

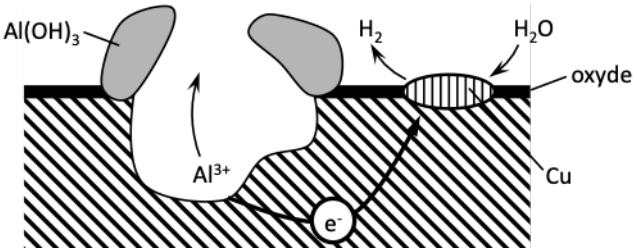


Figure 11 Phénomène de corrosion par piqure (d'apres *Techniques de l'ingénieur*, Corrosion des alliages d'aluminium, Reboul M.)

Q 38. L'étude de la corrosion de l'alliage passe par le tracé des courbes courant-potentiel pour les métaux concernés (aluminium et cuivre). Donner le schéma de principe du montage à trois électrodes utilisé, en précisant la nature et le rôle des électrodes utilisées et expliquer la nécessité d'utiliser trois électrodes plutôt que deux.

Les courbes courant-potentiel obtenues ont l'allure représentée figure 12.

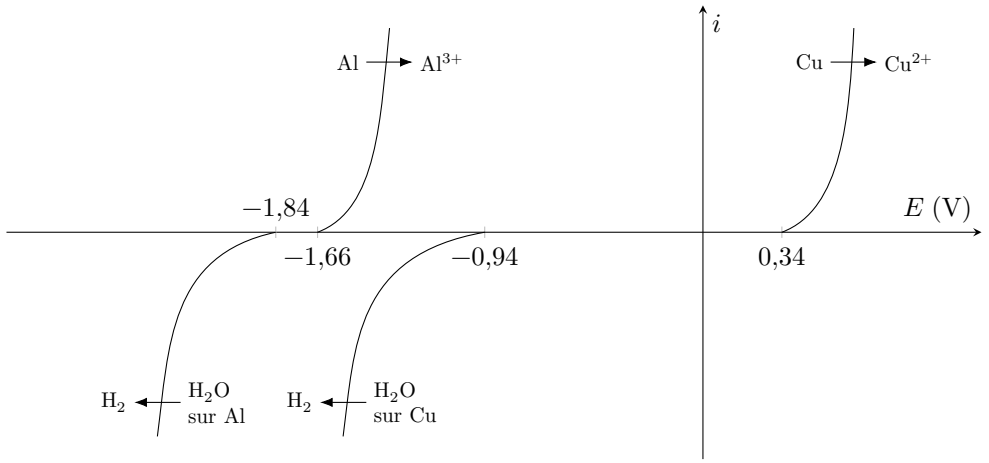


Figure 12

Q 39. Écrire la demi-équation électronique associée au couple de l'eau H^+/H_2 en milieu acide, puis en milieu basique.

Q 40. Calculer le potentiel standard apparent (à pH = 14) d'oxydoréduction du couple H_2O/H_2 et justifier à postériori le tracé des courbes courant-potentiel correspondantes.

Q 41. Écrire l'équation de réaction modélisant la transformation observée lors du phénomène de corrosion par piqures.

Q 42. Après avoir reproduit schématiquement les branches anodique et cathodique impliquées dans le processus, placer le potentiel de corrosion et indiquer comment relever la valeur du courant de corrosion. Justifier l'appellation de pile de corrosion.

En présence d'ions chlorure Cl^-, les ions aluminium III Al^{3+} conduisent à la formation quantitative de l'ion $AlCl_4^-$. Par ailleurs, la formation de l'ion aluminium III Al^{3+} en présence d'ion chlorure entraine une acidification locale du milieu. Le pH en fond de piqure atteint ainsi une valeur inférieure à 3.

Q 43. En supposant les surtensions à vide inchangées, positionner de façon qualitative les courbes anodique et cathodique modifiées, en justifiant succinctement le cas échéant la modification effectuée. Commenter.

La figure 13 donne les diagrammes potentiel-pH pour les couples de l'eau et de l'aluminium à la concentration de travail $c_t = 1\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ et à 25 °C.

Q 44. Établir l'équation de la frontière séparant les domaines de l'ion aluminium Al^{3+} et de l'hydroxyde d'aluminium solide $Al(OH)_3$.

Q 45. Expliquer comment le phénomène de corrosion par piqure est susceptible d'être enrayé par la passivation de la cavité créée.

BY-NC-SA

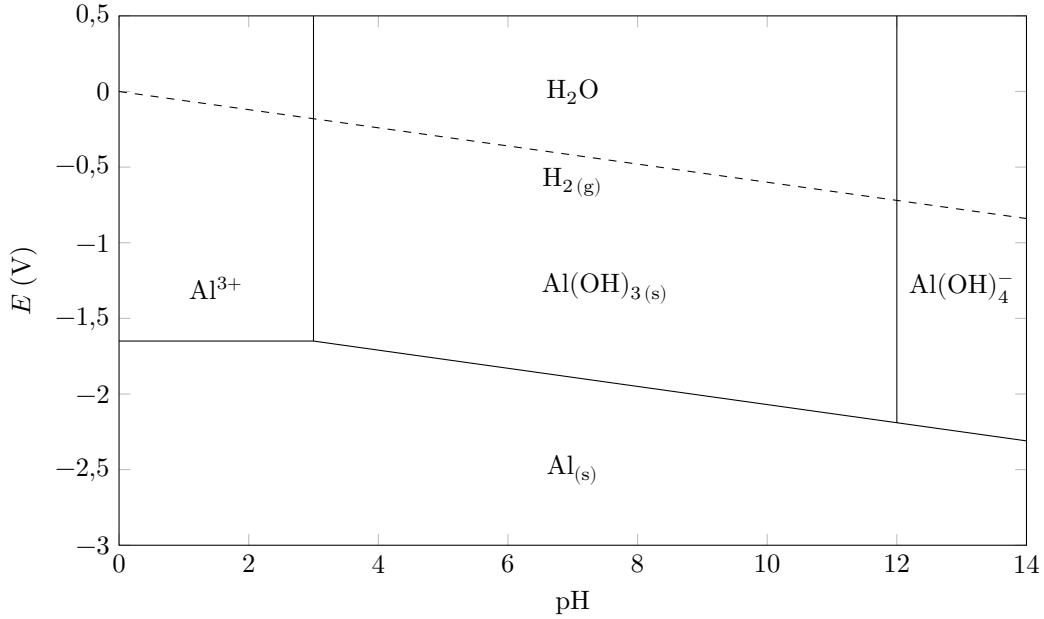


Figure 13

Données

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

Accélération de la pesanteur terrestre	$g = 9{,}8\ \mathrm{m{\cdot}s^{-2}}$
Composition de l'air	N_2 : 80 %, O_2 : 20 %
Masse volumique de l'air sous une pression de 1 bar	$\rho = 1{,}2\ \mathrm{kg{\cdot}m^{-3}}$
Viscosité dynamique de l'air	$\eta = 1{,}8 \times 10^{-5}\ \mathrm{Pa{\cdot}s}$
Coefficient isentropique de l'air	$\gamma = 1{,}4$
Capacité thermique massique à pression constante de l'air	$C_{p\,\mathrm{mass}} = 1{,}0 \times 10^{3}\ \mathrm{J{\cdot}kg^{-1}{\cdot}K^{-1}}$
Constante des gaz parfaits	$R = 8{,}314\ \mathrm{J{\cdot}K^{-1}{\cdot}mol^{-1}}$
Constante de Boltzmann	$k_B = 1{,}381 \times 10^{-23}\ \mathrm{J{\cdot}K^{-1}}$
Constante de Planck	$h = 6{,}626 \times 10^{-34}\ \mathrm{J{\cdot}s}$
Vitesse de la lumière dans le vide	$c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \mathrm{m{\cdot}s^{-1}}$
Constante d'Avogadro	$\mathcal{N}_A = 6{,}02 \times 10^{23}\ \mathrm{mol^{-1}}$
Constante de Faraday	$F = 9{,}64 \times 10^{3}\ \mathrm{C{\cdot}mol^{-1}}$
Énergie de liaison ($\mathrm{kJ{\cdot}mol^{-1}}$)	N − O : 210 ; N = O : 630
Produit de solubilité de $Al(OH)_3$	$pK_s = 33$
Produit ionique de H_2O	$pK_e = 14$
Potentiels standard redox	$Al^{3+}/Al_{(s)}$: −1,66 V $H^+/H_{2\,(g)}$: 0,00 V $Cu^{2+}/Cu_{(s)}$: 0,34 V
Surtensions à vide	$\eta_{c0}(H_2O/H_2)$: −0,1 V sur Cu, −1 V sur Al

Enthalpies standard de formation, entropies molaires et capacités thermiques à pression constante

	$C_{10}H_{22\,(l)}$	$CO_{2\,(g)}$	$H_2O_{(g)}$	$O_{2\,(g)}$	$N_{2\,(g)}$	$NO_{(g)}$
$\Delta_f H^\circ$ ($\mathrm{kJ{\cdot}mol^{-1}}$)	−249,7	−393,5	−241,8			90,4
S_m° ($\mathrm{J{\cdot}mol^{-1}{\cdot}K^{-1}}$)	545,8	213,8	188,8	205,0	191,5	210,6
C_p° ($\mathrm{J{\cdot}mol^{-1}{\cdot}K^{-1}}$)	233,1	38,5	36,2	29,3	28,7	

BY-NC-SA

Extrait du tableau périodique des éléments

Hydrogène																	Hélium
1																	**2**
H																	**He**
1,0080																	4,0026
Lithium	Béryllium											Bore	Carbone	Azote	Oxygène	Fluor	Néon
3	**4**											**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Li	**Be**											**B**	**C**	**N**	**O**	**F**	**Ne**
6,9395	9,0122											10,814	12,011	14,007	15,999	18,998	20,180
Sodium	Magnésium											Aluminium	Silicium	Phosphore	Soufre	Chlore	Argon
11	**12**											**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**
Na	**Mg**											**Al**	**Si**	**P**	**S**	**Cl**	**Ar**
22,990	24,306											26,982	28,085	30,974	32,068	35,452	39,948
Potassium	Calcium	Scandium	Titane	Vanadium	Chrome	Manganèse	Fer	Cobalt	Nickel	Cuivre	Zinc	Gallium	Germanium	Arsenic	Sélénium	Brome	Krypton
19	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**	**34**	**35**	**36**
K	**Ca**	**Sc**	**Ti**	**V**	**Cr**	**Mn**	**Fe**	**Co**	**Ni**	**Cu**	**Zn**	**Ga**	**Ge**	**As**	**Se**	**Br**	**Kr**
39,098	40,078	44,956	47,867	50,941	51,996	54,938	55,845	58,933	58,693	63,546	65,38	69,723	72,630	74,921	78,971	79,904	83,798
Rubidium	Strontium	Yttrium	Zirconium	Niobium	Molybdène	Technétium	Ruthénium	Rhodium	Palladium	Argent	Cadmium	Indium	Étain	Antimoine	Tellure	Iode	Xénon
37	**38**	**39**	**40**	**41**	**42**	**43**	**44**	**45**	**46**	**47**	**48**	**49**	**50**	**51**	**52**	**53**	**54**
Rb	**Sr**	**Y**	**Zr**	**Nb**	**Mo**	**Tc**	**Ru**	**Rh**	**Pd**	**Ag**	**Cd**	**In**	**Sn**	**Sb**	**Te**	**I**	**Xe**
85,467	87,62	88,906	91,224	92,906	95,95	[98]	101,07	102,91	106,42	107,87	112,41	114,82	118,71	121,76	127,60	126,90	131,29
Césium	Baryum		Hafnium	Tantale	Tungstène	Rhénium	Osmium	Iridium	Platine	Or	Mercure	Thallium	Plomb	Bismuth	Polonium	Astate	Radon
55	**56**		**72**	**73**	**74**	**75**	**76**	**77**	**78**	**79**	**80**	**81**	**82**	**83**	**84**	**85**	**86**
Cs	**Ba**		**Hf**	**Ta**	**W**	**Re**	**Os**	**Ir**	**Pt**	**Au**	**Hg**	**Tl**	**Pb**	**Bi**	**Po**	**At**	**Rn**
132,91	137,33		178,49	180,948	183,84	186,21	190,23	192,22	195,08	196,97	200,59	204,38	207,2	208,98	[209]	[210]	[222]

← Nom de l'élément
← Numéro atomique
← Symbole chimique
← Masse molaire atomique

• • • FIN • • •

BY-NC-SA

Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de PSI chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Premier principe appliqué aux transformations physico-chimiques : grandeurs standard de réaction et effets thermiques
- Second principe : enthalpie libre, potentiel chimique et équilibre chimique
- Diagrammes potentiel-pH
- Oxydoréduction et piles électrochimiques
- Réactions de dissolution et de précipitation
- Fonctions usuelles et lecture des graphes
- Grandeurs, unités, analyse dimensionnelle et ordres de grandeur

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière : **écrire sur WhatsApp**

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/centrale/psi