

## SCIENCES PHYSIQUES

Durée : 3 heures

*L'usage d'une calculatrice est autorisé pour cette épreuve.*

*Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.*

*En annexe, une feuille de papier millimétrée, à rendre avec la copie (cf. PHYSIQUE question III.1.a).*

### **CHIMIE.**

*Les parties chimie générale et chimie organique sont indépendantes.*

#### **PREMIÈRE PARTIE : CHIMIE GÉNÉRALE.**

*Cette partie est constituée de deux exercices indépendants.*

#### **THERMODYNAMIQUE DE L'ÉLABORATION DU ZINC.**

On envisage l'élaboration du zinc à partir de l'oxyde de zinc et du carbone graphite. À la température  $T$  envisagée, le zinc et le monoxyde de carbone sont gazeux, alors que le carbone et l'oxyde de zinc sont solides.

L'équilibre considéré est :  $\text{C}_{(s)} + \text{ZnO}_{(s)} = \text{CO}_{(g)} + \text{Zn}_{(g)}$ . (1)

I.1. Exprimer littéralement puis calculer l'enthalpie standard  $\Delta_r H^\circ$  et l'entropie standard  $\Delta_r S^\circ$  de cette réaction (1) à la température  $T$  considérée. On supposera ces grandeurs indépendantes de la température dans le domaine d'étude (approximation d'Ellingham). Les données sont fournies en fin de cette partie.

I.2. Exprimer littéralement puis calculer l'enthalpie libre standard de la réaction (1) à 1300 K. En déduire la valeur de la constante d'équilibre  $K_l^\circ$  de la réaction à cette température.

Pour la suite du problème, on prendra  $K_l^\circ = 11,8$ .

I.3. On s'intéresse à la variance de ce système.

I.3.a) Définir la variance d'un système.

I.3.b) Calculer la variance d'un système dans le cas général, c'est à dire dans le cas où les quatre constituants sont présents au départ dans des proportions quelconques. Conclure.

I.3.c) Recalculer la variance dans le cas où l'on ne part que de carbone graphite et d'oxyde de zinc. Justifier brièvement le calcul.

I.4. Industriellement, il est intéressant d'optimiser la fabrication du zinc. Nous allons donc étudier l'influence de la température et de la pression sur l'équilibre.

I.4.a) À pression constante, quelle est l'influence d'une élévation de température sur l'équilibre ? Justifier brièvement.

I.4.b) À température constante, quelle est l'influence d'une élévation de pression sur l'équilibre ? Justifier brièvement.

I.4.c) Dans quelles conditions de température et de pression a-t-on intérêt à travailler pour favoriser la formation du zinc ?

I.5. On place dans une enceinte de volume invariable  $V = 10 \text{ L}$ , à  $T = 1300 \text{ K}$ ,  $n_o$  mol de carbone graphite et  $n_o$  mol d'oxyde de zinc.

I.5.a) On prend  $n_o = 0,5 \text{ mol}$ , quelle est alors la pression du mélange obtenu ? A-t-on atteint l'équilibre ? Justifier.

I.5.b) On suppose maintenant que  $n_o$  varie de 0 à 1,0 mol, déterminer la pression du mélange en fonction de  $n_o$ . On précisera dans quel(s) domaine(s) l'équilibre est atteint.

### COMPORTEMENT DU ZINC EN MILIEU ACIDE.

Les pluies sont naturellement acides en raison du dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère mais aussi à cause de la combustion des matières fossiles (gaz, pétrole, charbon) qui produit du dioxyde de soufre et des oxydes d'azote. Ces acides sont transportés par les pluies qui, s'écoulant des toits, sont recueillies par des gouttières en zinc.

I.6. Déterminer le pH d'une solution aqueuse d'acide carbonique  $\text{H}_2\text{CO}_3$  de concentration  $C = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$ .

Expliquer pourquoi l'augmentation de la concentration de dioxyde de carbone dans l'air rend les pluies encore plus acides.

Pour étudier les risques d'altération des gouttières par les eaux de pluies, nous allons nous servir du diagramme potentiel-pH du zinc page suivante.

Les domaines des espèces étudiées sont :

A :  $\text{Zn}^{2+}$       B :  $\text{Zn}(\text{OH})_{2(s)}$       C :  $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$       D :  $\text{Zn}_{(s)}$

Les équations des segments sont:

- (1)  $E_1 = -0,82 \text{ V}$
- (2)  $E_2 = -0,43 - 0,06 \text{ pH}$
- (3)  $E_3 = 0,40 - 0,12 \text{ pH}$
- (4)  $E_4 = -0,06 \text{ pH}$

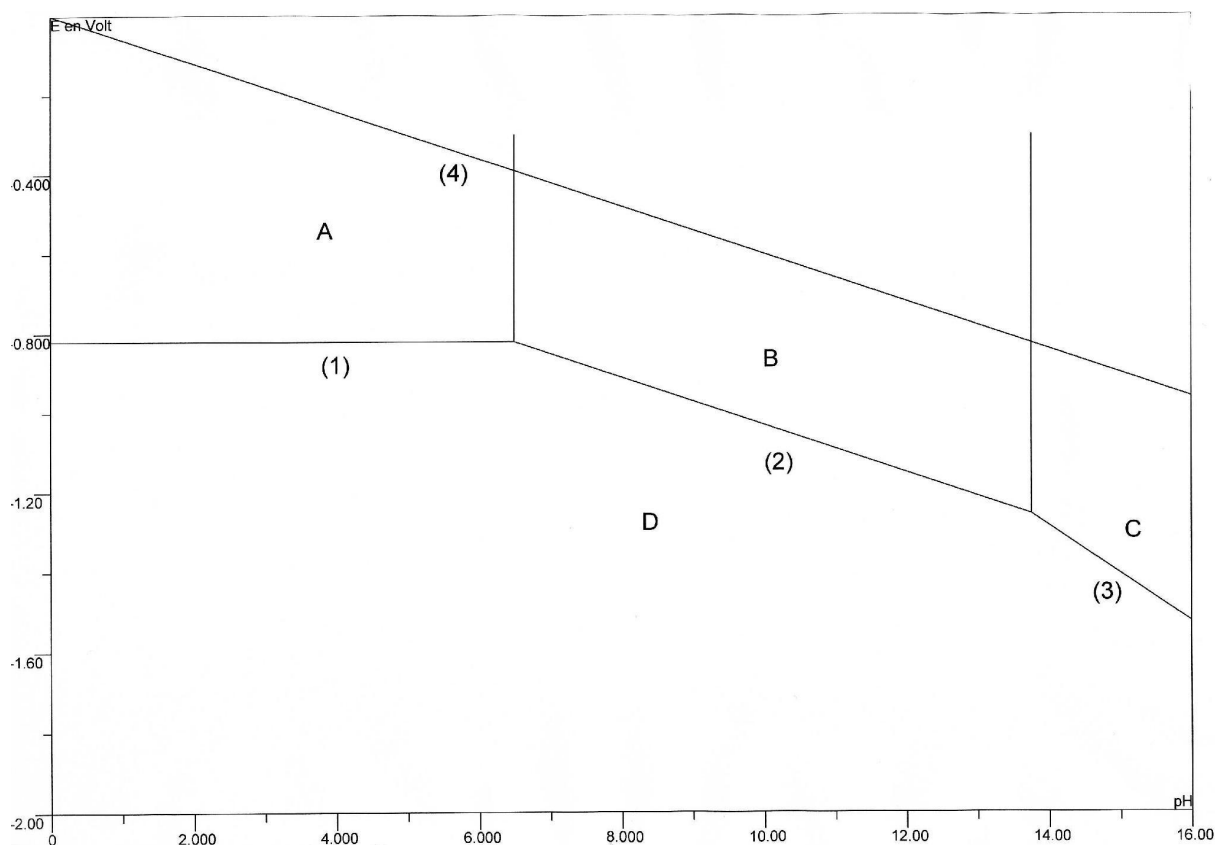


Diagramme potentiel-pH du zinc

### I.7. Détermination de grandeurs thermodynamiques à partir du diagramme E-pH du zinc.

Les conditions d'élaboration du diagramme sont les suivantes : les concentrations des espèces en solution sont égales à  $C_0 = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  aux frontières ; une seule espèce est considérée dans chaque domaine. On se sert de ce diagramme pour déterminer des grandeurs thermodynamiques. On expliquera à chaque fois la démarche utilisée.

I.7.a) Déterminer le potentiel standard  $E_1^0$  du couple  $\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}$ .

I.7.b) Déterminer le produit de solubilité  $K_s$  de l'hydroxyde de zinc  $\text{Zn}(\text{OH})_{2(s)}$ .

I.7.c) Déterminer la constante de formation  $\beta_4$  du complexe  $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$  à partir de  $\text{Zn}^{2+}$ .

### I.8. Altération des gouttières.

I.8.a) À quel couple d'oxydo-réduction est associé le segment (4) ?

I.8.b) Dédire de ce diagramme qu'en milieu aqueux acide le zinc est oxydé en  $\text{Zn}(\text{II})$ . Donner l'équation de la réaction. Déterminer et calculer la constante  $K^\circ$  de cette réaction à  $\text{pH} = 0$ .

I.8.c) Sachant que les pluies acides ont un pH voisin de 5, les gouttières sont-elles susceptibles de se dégrader ? En fait, en milieu humide, le zinc se recouvre d'une mince couche de carbonate de zinc qui lui donne un aspect patiné et l'empêche d'être attaqué.

### Données :

Enthalpies standard de formation et entropies molaires standard à 298 K :

|                                                   | Zn <sub>(s)</sub> | ZnO <sub>(s)</sub> | C <sub>(s)</sub> (graphite) | CO <sub>(g)</sub> |
|---------------------------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------------------|-------------------|
| $\Delta_f H^\circ$ (kJ.mol <sup>-1</sup> )        |                   | -348,3             |                             | -110,5            |
| $S^\circ$ (J.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ) | 41,6              | 43,6               | 5,7                         | 197,6             |

Enthalpie standard de fusion du zinc :  $\Delta_{fus} H^\circ(\text{Zn}_{(s)}) = 6,7 \text{ kJ.mol}^{-1}$ .

Enthalpie standard de vaporisation du zinc :  $\Delta_{vap} H^\circ(\text{Zn}_{(l)}) = 114,8 \text{ kJ.mol}^{-1}$ .

Entropie standard de fusion du zinc :  $\Delta_{fus} S^\circ(\text{Zn}_{(s)}) = 9,7 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

Entropie standard de vaporisation du zinc :  $\Delta_{vap} S^\circ(\text{Zn}_{(l)}) = 97,3 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

Cologarithme des constantes d'acidité dans l'eau à 25°C : H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> :  $pK_a = 6,3 ; 10,4$ .

$(RT.\ln 10)/F = 0,06 \text{ V}$ .

Potentieux standard :  $E^\circ (\text{H}^+/\text{H}_{2(g)}) = 0,00 \text{ V}$  ;  $E^\circ (\text{O}_{2(g)}/\text{H}_2\text{O}) = 1,23 \text{ V}$

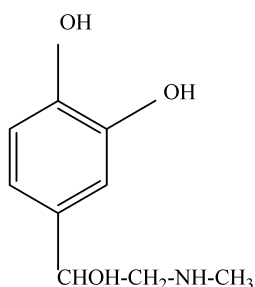
Constante des gaz parfaits :  $R = 8,31 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ . Pression standard :  $P^\circ = 1,0 \text{ bar} = 1,0.10^5 \text{ Pa}$ .

## **DEUXIÈME PARTIE : CHIMIE ORGANIQUE .**

Table de nombres d'onde de quelques groupes fonctionnels

| Liaison | Type de composé      | Nombre d'onde (cm <sup>-1</sup> ) | Intensité       |
|---------|----------------------|-----------------------------------|-----------------|
| C=C     | alcène               | 1625 – 1685                       | Moyenne         |
| C≡C     | alcyne               | 2100 – 2250                       | Faible          |
| C-O     | alcool, éther, acide | 1050 – 1450                       | forte           |
| C=O     | carbonyle            | 1700 – 1750                       | forte           |
| C=O     | anhydride            | 1700 – 1840                       | forte, 2 bandes |
| C=O     | chlorure d'acyle     | 1770 – 1820                       | forte           |
| C=O     | ester                | 1700 – 1740                       | forte           |
| C=O     | acide carboxylique   | 1700 – 1725                       | forte           |
| O-H     | alcool libre         | 3580 – 3670                       | fine et forte   |
| O-H     | alcool lié           | 3200 – 3400                       | large et forte  |

On désire dans cette partie étudier une voie de synthèse de l'adrénaline de formule :

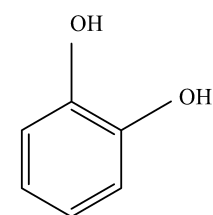


II.1. Donner la représentation de Cram des stéréoisomères de configuration de l'adrénaline. Quelle relation existe-t-il entre eux ? Donner la configuration absolue du ou des atomes de carbone asymétriques en justifiant brièvement.

II.2. L'adrénaline est un énol en équilibre avec un ou plusieurs composés carbonylés. Pourquoi, dans le cas présent, les équilibres sont-ils déplacés en faveur de l'énol ?

La suite étudie une synthèse classique de l'adrénaline.

II.3. On traite le composé **A** par le chlorure de 2-chloroéthanoyl  $\text{Cl-CO-CH}_2\text{-Cl}$  en présence de trichlorure d'aluminium  $\text{AlCl}_3$ .



Composé **A**

II.3.a) Quel type de réaction subit **A** ? Quel est le rôle de  $\text{AlCl}_3$  ?  
On admet, dans les questions II.3. que les groupes  $-\text{OH}$  restent inertes.

II.3.b) Justifier succinctement l'orientation de la réaction au niveau du composé **A**.

II.3.c) Quels sont les deux sites actifs du chlorure d'acyle ? Quels sont les deux produits possibles ?

II.3.d) En réalité, il se forme préférentiellement le produit **B** susceptible de réagir au test à la 2,4-DNPH (2,4-dinitrophénylhydrazine). Donner **B** en justifiant.

II.3.e) Proposer un mécanisme de la réaction de formation de **B**.

II.3.f) Le produit obtenu par réaction de **B** avec la 2,4-DNPH est un solide dont le point de fusion est intéressant à mesurer. Proposer une méthode de détermination de cette température de fusion.

II.4. Le composé **B** est alors mis à réagir avec la méthylamine  $\text{CH}_3\text{-NH}_2$  en excès dans l'éthanol pour obtenir le composé **C**.

II.4.a) Écrire la formule semi-développée de **C**.

II.4.b) Pourquoi place-t-on l'amine en excès ? Quels seraient les produits secondaires possibles si l'on n'agissait pas dans les proportions indiquées ?

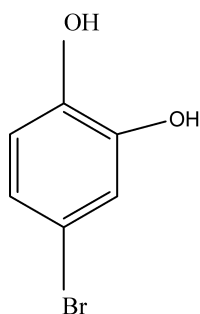
II.4.c) Proposer un mécanisme pour la réaction.

II.4.d) Quels sont les deux rôles de l'amine dans cette réaction ?

II.5. Le composé obtenu est transformé en adrénaline. Indiquer les conditions opératoires ainsi que les proportions de chaque réactif. De quel type de réaction s'agit-il ?

En fait, cette synthèse donne de mauvais rendements : les groupes OH ont tendance à s'oxyder et il est difficile d'éviter la formation des produits secondaires par réaction de la méthylamine. Il est donc intéressant d'apporter des modifications par rapport à la synthèse précédente.

II.6. On part en fait du composé **D** que l'on transforme en **E** par action de deux équivalents de bromométhane en milieu basique pour transformer les groupes OH.



Composé **D**

II.6.a) Pourquoi n'envisage-t-on pas ici d'alkylation de Friedel et Crafts ?

II.6.b) Pourquoi le milieu basique facilite-t-il la réaction ? Le milieu basique étant une solution aqueuse de soude, pourrait-on opérer de même avec le cyclohexanol par exemple (justifier) ?

II.6.c) Comment se nomme cette réaction ? Proposer une formule pour **E**.

II.6.d) Quel est le rôle de cette réaction ? Proposer une autre réaction qui aurait le même rôle.

II.7. **E** est versé goutte à goutte dans de l'éther anhydre contenant des copeaux de magnésium pour former un composé **F**.

II.7.a) Donner le produit **F**.

II.7.b) Pourquoi travaille-t-on dans des conditions anhydre ? Pourquoi verse-t-on **E** goutte à goutte ?

II.8. On met alors à réagir **F** avec du dioxyde de carbone solide en excès et à basse température, toujours dans l'éther anhydre ; puis on ajoute une solution aqueuse d'acide faible jusqu'à obtention du produit **G** solide que l'on filtre. Le produit **G** présente une bande d'absorption en infra-rouge vers  $1700\text{ cm}^{-1}$ . De plus, le produit **G** peu soluble dans l'eau peut être dissous dans une solution aqueuse basique. Donner **G** en s'appuyant sur les observations ci-dessus (on expliquera les observations).

II.9. On transforme la fonction de **G** précédemment formée en fonction aldéhyde par un processus non détaillé ici. On ajoute au produit **H** ( $\text{C}_9\text{H}_{10}\text{O}_3$ ) obtenu une solution de cyanure de sodium et l'on acidifie petit à petit le milieu. Le composé **I** formé a pour formule  $\text{C}_{10}\text{H}_{11}\text{NO}_3$ .

II.9.a) Pourquoi n'ajoute-t-on pas directement HCN ?

II.9.b) Donner la formule de **I** ainsi que le mécanisme de la réaction. La réaction est-elle stéréosélective ?

II.10. La fonction alcool obtenue est transformée en fonction carbonyle. Donner les conditions opératoires et le produit **J** obtenu.

On obtient finalement après quelques étapes supplémentaires l'adrénaline avec un meilleur rendement.

## PHYSIQUE.

*Cette partie est constituée de trois exercices indépendants.*

### ÉTUDE DE L'ATMOSPHERE

III.1. On donne, ci-dessous, l'évolution de la température de l'atmosphère en fonction de l'altitude. On cherche à retrouver un modèle calculatoire de la pression atmosphérique en fonction de l'altitude :

|           |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Alt. (km) | 0     | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |
| Temp.(°C) | 15,0  | 8,5   | 2,0   | -4,5  | -10,5 | -17,5 | -24,0 |
| Alt. (km) | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    |
| Temp.(°C) | -30,4 | -37,0 | -43,4 | -49,9 | -56,5 | -56,5 | -56,5 |

III.1.a) À l'aide du tableau de valeurs ci-dessus, tracer la courbe  $T(z)$ . Ce graphe sera tracé sur une feuille de papier millimétrée à rendre avec la copie.

III.1.b) Pour les altitudes faibles ( $z < 11$  km, cas de la troposphère), vérifier que l'expression de la température  $T$  (en K) en fonction de l'altitude  $z$  (en km) peut se mettre sous la forme :  $T = T_0 - \beta.z$ . Donner les valeurs numériques de  $T_0$  et de  $\beta$ .

Dans les questions III.2 à III.5, on considère que cette relation est satisfaite.

III.2. Écrire la relation fondamentale de la statique des fluides reliant les variations élémentaires de la pression et de l'altitude, en identifiant chaque terme de l'expression et en justifiant le signe adopté.

III.3. En assimilant l'air atmosphérique à un gaz parfait, exprimer la masse volumique de l'air en fonction de la pression et d'autres paramètres adéquats. En déduire l'équation différentielle liant la pression et l'altitude en se plaçant dans le modèle déterminé à la question 1.b).

$$P = P_0 \cdot \left( 1 - \frac{\beta \cdot z}{T_0} \right)^{\frac{g}{r\beta}}$$

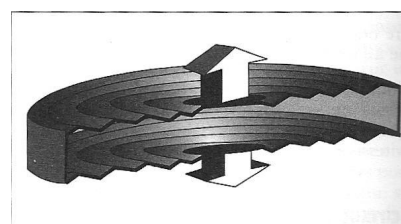
III.4. Montrer, par intégration, que la pression peut s'écrire sous la forme

On pourra dans la suite admettre cette relation avec les valeurs suivantes :

$\beta = 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ K.m}^{-1}$  ;  $r = 286,7 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$  ;  $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$  ;  $T_0 = 288 \text{ K}$  ;  $P_0 = 1013 \text{ hPa}$ .

$r = R/M$  où  $M$  est la masse molaire moyenne de l'air et  $R = 8,31 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

III.5. Le vol en niveau (sur une surface isobare) nécessite un espacement vertical de 500 pieds (soit 150 m environ) et requiert une précision des instruments de mesure telle que l'incertitude soit de l'ordre de 20 pieds (soit 6,0 m). À quelle valeur de variation de pression cette incertitude correspond-elle à 1000 m d'altitude ?



III.6. Pour mesurer des pressions, des appareils utilisent une (ou plusieurs) capsules de Vidi, encore appelées capsules anéroïdes. Elles ont la propriété de se déformer facilement sous la différence de pressions entre l'intérieur (rempli d'air sec) et l'extérieur.

Figure éclatée d'une capsule de Vidi

III.6.a) Pourquoi l'eau vapeur intérieure peut-elle être gênante dans l'utilisation de telles capsules ?

III.6.b) En admettant que les variations de température dans les conditions d'utilisation sont négligeables, comment varie qualitativement l'épaisseur au centre de la capsule en fonction de la pression extérieure ?

## AIR EN ÉCOULEMENT

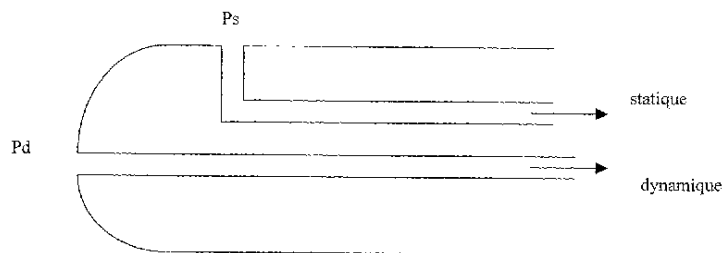
IV.1. On considère que l'air peut être considéré comme un fluide parfait, incompressible, en régime permanent. Retrouver, à l'aide d'un bilan énergétique sur un système parfaitement défini, la relation de Bernoulli exprimant le fait que la charge de l'écoulement

$$C = \frac{P}{\rho} + \frac{1}{2}v^2 + gz$$

se conserve le long d'une ligne de courant.

$C$  et  $v$  désignent, respectivement la charge et la vitesse du fluide en écoulement.

IV.2. Les avions légers utilisent un anémomètre pour mesurer la vitesse de l'écoulement d'air extérieur. Le cadran de l'anémomètre donne l'information de cette vitesse via un dispositif de capsule anéroïde qui subit la différence de pression entre les deux prises d'air d'un tube de Prandtl (système du tube de Pitot) :



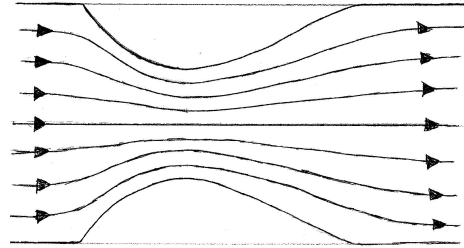
$P_d$  et  $P_s$  sont les pressions relatives, respectivement, à la prise d'air sur l'axe et à la prise d'air latérale. On considère que les différences d'altitudes entre les deux prises d'air sont négligeables.

IV.2.a) En appliquant le théorème de Bernoulli en un point situé en amont du tube de Pitot (même altitude, pression atmosphérique, vitesse de l'écoulement) et un point à l'entrée de la prise de pression latérale, établir une expression de  $P_s$  en fonction des paramètres du problème. Pourquoi qualifie-t-on cette pression de « statique » ?

IV.2.b) Procéder de même pour l'expression de  $P_d$  au point d'arrêt situé dans l'axe du tube de Prandtl. Pourquoi qualifie-t-on cette pression de « dynamique » ?

IV.2.c) En déduire la relation liant  $P_d - P_s$  et la vitesse de l'écoulement.

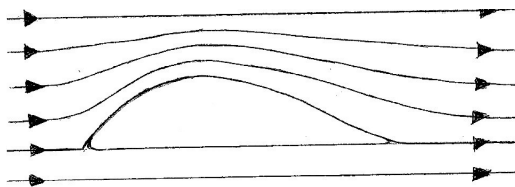
IV.3. Le tube de Venturi est une canalisation avec rétrécissement qui permet d'obtenir une différence de pression le long de la ligne de courant. Soit le système suivant en régime permanent :



IV.3.a) L'air a une masse volumique  $\rho = 1,3 \text{ kg.m}^{-3}$ , la vitesse de l'écoulement (loin du rétrécissement) est  $V_e = 100 \text{ km.h}^{-1}$  et les aires d'entrée et de section minimale sont respectivement  $S_e = 25 \text{ cm}^2$  et  $S_m = 5 \text{ cm}^2$ . Calculer la pression minimale  $P$  le long de la ligne de courant sachant que la pression à l'entrée est égale à la pression atmosphérique  $P_0$  ( $P_0 = 1013 \text{ hPa}$ ).

IV.3.b) Comment visualise-t-on sur la figure les zones de plus faible pression ?

IV.3.c) L'écoulement laminaire de l'air sur un profil aérodynamique dissymétrique (aile par exemple) entraîne l'apparition d'une force aérodynamique. Expliquer ce phénomène.



Schématisation des lignes de courant autour d'un profil dissymétrique.

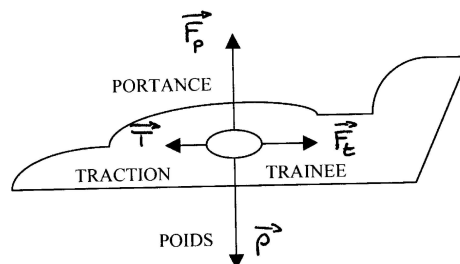
## MÉCANIQUE DU VOL ÉLÉMENTAIRE.

V.1. On va s'intéresser plus particulièrement à deux grandeurs :

La norme de la force aérodynamique s'écrit  $F_{aérod} = \frac{1}{2} \rho v^2 S C_a$  où  $S$  est l'aire projetée perpendiculairement à la direction de l'écoulement et  $C_a$  un coefficient aérodynamique qui dépend de la forme de l'objet. On décompose cette force en deux forces : portance (composante perpendiculaire à l'écoulement) et traînée (composante parallèle à l'écoulement). Le système étudié est l'ensemble {avion + pilote}.

Le facteur de charge ou nombre de  $G$  correspond au rapport de la norme de la portance par la

norme du poids :  $G = \frac{F_P}{P}$ . Il traduit la contrainte mécanique imposée aux ailes pour assurer la sustentation.



On adopte les notations suivantes pour les vecteurs force :

| Poids     | Portance    | Trainée     | Traction  |
|-----------|-------------|-------------|-----------|
| $\vec{P}$ | $\vec{F}_p$ | $\vec{F}_t$ | $\vec{T}$ |

Dans le cas d'un avion motorisé en vol horizontal rectiligne à vitesse constante :

V.1.a) Quelle est la relation qui lie les forces ( $\vec{P}$ ,  $\vec{F}_p$ ,  $\vec{F}_t$  et  $\vec{T}$ ) s'exerçant sur le système ?

V.1.b) Exprimer la norme de la portance  $\vec{F}_p$  en fonction des autres grandeurs ?

V.1.c) Quel est le facteur de charge  $G_h$  infligé au système dans ce cas ?

V.2. Dans le cas d'un avion motorisé en montée (angle de l'axe longitudinal de l'avion avec l'horizontale  $\alpha > 0$ ), à vitesse constante :

V.2.a) La relation précédente qui lie les forces est-elle modifiée ?

V.2.b) Faire un schéma cohérent des forces en plaçant les axes vertical et horizontal.

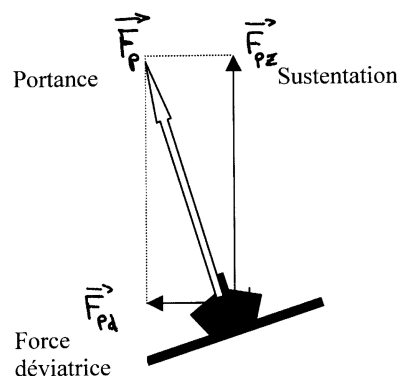
V.2.c) Dans ce cas, montrer que le facteur de charge  $G_m$  se met sous la forme  $G_m = \cos(\alpha)$

V.3. Lors d'une panne de moteur, l'avion peut se mettre à planer afin de se poser au mieux possible. Dans le cas d'un avion moteur arrêté en descente (angle de l'axe longitudinal de l'avion avec l'horizontale  $\alpha' < 0$ ), à vitesse constante :

V.3.a) Faire un schéma cohérent des forces en plaçant les axes vertical et horizontal.

V.3.b) Quel est le facteur de charge  $G_d$  infligé au système dans ce cas ?

V.4. La valeur du facteur de charge varie en fonction de l'évolution de l'appareil (comme en montée ou en descente) ; en virage horizontal, il est supérieur à l'unité.



V.4.a) Calculer la valeur de ce facteur de charge  $G_{vh}$  en supposant que la composante verticale de la portance (appelée sustentation,  $\vec{F}_{pz}$ ) compense toujours le poids. On pourra s'aider du schéma ci-dessus, en notant  $\theta$  l'angle de la portance  $\vec{F}_p$  avec la verticale (donc  $\vec{F}_{pz}$ ).

V.4.b) Calculer le module de la force déviatrice  $\vec{F}_{pd}$  égale à la projection horizontale de la portance en fonction du poids  $\vec{P}$  et de l'inclinaison  $\theta$ .

V.4.c) On rappelle que l'accélération centrifuge dans le cas d'un mouvement circulaire uniforme est proportionnelle au carré de la vitesse et inversement proportionnelle au rayon de la trajectoire. En supposant que la masse du système est  $m = 900 \text{ kg}$ , que sa vitesse en virage horizontal stabilisé est  $v = 160 \text{ km.h}^{-1}$ , calculer le rayon  $R$  de la trajectoire dans le cas d'une inclinaison de  $45^\circ$ , puis de  $60^\circ$ . On prendra  $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$ .

V.5. Une caractéristique très importante de ces appareils est la finesse :

Elle correspond au rapport des coefficients aérodynamiques de portance et de traînée :  $C_z / C_x$  (La valeur de la finesse dépend de l'incidence, mais on se place alors dans des conditions optimales pour obtenir la valeur maximale de cette finesse.).

Elle correspond aussi au rapport de la distance horizontale que peut parcourir un « planeur » (ou avion en panne moteur) par l'altitude perdue pour parcourir cette distance.

On considère un avion léger d'une masse totale  $m = 900 \text{ kg}$ , dont la finesse maximale vaut 6 pour une vitesse de déplacement en planant de  $150 \text{ km.h}^{-1}$ .

V.5.a) Calculer  $W$ , le travail de la force de pesanteur pour une perte d'altitude de  $100 \text{ m}$ .

V.5.b) La force de traînée peut être assimilée à un frottement fluide  $\vec{F}_{trainée} = -k\vec{v}$ . Déterminer alors la valeur de  $k$  en précisant son unité. On rappelle que la portance est perpendiculaire aux filets d'air, donc au déplacement.

V.5.c)  $F_{trainée} = \frac{1}{2} \rho v^2 S C_x$  avec  $\rho = 1,3 \text{ kg.m}^{-3}$  et  $S = 10 \text{ m}^2$ .

Les coefficients aérodynamiques ont-ils une unité ? Si oui, laquelle ? Si non, pourquoi ?

Calculer la valeur de  $C_x$ , et en déduire celle de  $C_z$  dans les conditions de finesse maximale.

**FIN DE L'ÉPREUVE**