

Devoir test de physique n° 3

Cet énoncé comporte trois problèmes. Durée : 4 heures. L'utilisation d'une calculatrice est autorisée.

Problème A De la physique de l'aéronef

Ce problème aborde certains aspects de la physique appliqués à un avion dans trois parties indépendantes.
(Certaines questions ont été supprimées.)

Les effets de la gravité sur l'air seront négligés dans l'ensemble du problème.

Partie I - Mécanique du vol

La **figure 1** représente un schéma simplifié des principales caractéristiques géométriques du profil d'une aile d'avion. L'extrados est la surface supérieure du profil et l'intrados est la surface inférieure du profil. La distance L entre le bord d'attaque et le bord de fuite est appelée corde du profil.

On travaille dans le référentiel de l'aile. Dans ce référentiel, loin de l'aile, la vitesse de l'air est notée $\vec{v}_\infty$. L'angle entre la corde et $\vec{v}_\infty$ est l'angle d'incidence i . La vitesse de l'avion par rapport à l'air est notée $\vec{V}_a$ avec $V_a = \|\vec{V}_a\| = \|\vec{v}_\infty\| = v_\infty$.

Dans cette partie, la vitesse de l'avion sera suffisamment faible devant la célérité du son dans l'air pour considérer l'air en écoulement incompressible.

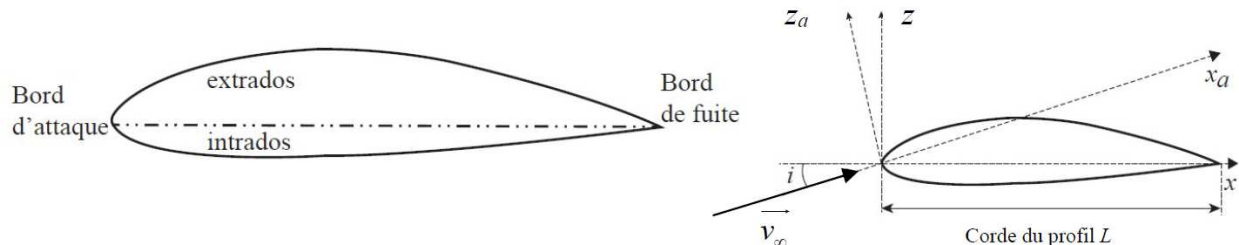


Figure 1 - Caractéristiques géométriques du profil d'une aile d'avion

- Q1.** Définir la notion de ligne de courant associée aux particules de fluide. Est-ce une description de nature eulérienne ou lagrangienne ?
- Q2.** Dans la **figure 2** sont représentées les lignes de courant pour un profil donné. En analysant ces lignes de courant, expliquer pourquoi l'écoulement stationnaire de l'air, supposé parfait, homogène et incompressible, génère une force de portance de l'avion.

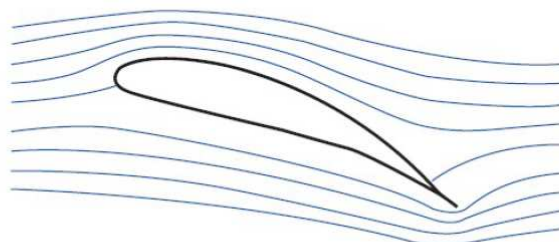


Figure 2 - Lignes de courant autour du profil d'une aile d'avion

Q3. En pratique, pour étudier la répartition de pression P le long de l'intrados et de l'extrados, on définit une pression adimensionnée appelée coefficient de pression :

$$C_p = \frac{P - P_\infty}{\frac{1}{2} \cdot \rho_\infty \cdot v_\infty^2},$$

où P_∞ , ρ_∞ et v_∞ sont respectivement la pression, la masse volumique et la vitesse de l'écoulement incident loin de l'aile. On représente C_p pour l'intrados et l'extrados en fonction de x/L la position par rapport à la corde (**figure 3**). Justifier à quelle courbe, C_{P1} ou C_{P2} , on associe l'intrados et l'extrados.

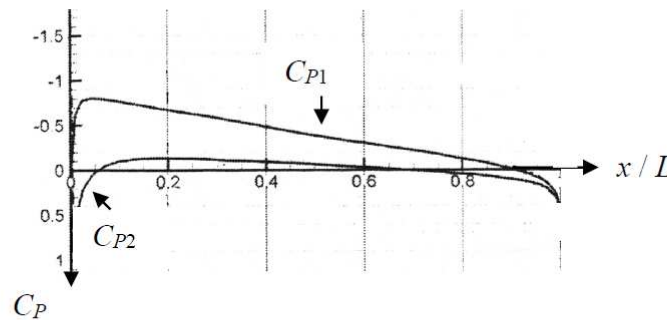


Figure 3 - Coefficient de pression sur l'intrados et l'extrados

Q4. Pourquoi observe-t-on toujours $C_p \leq 1$?

Par intégration de la différence des coefficients de pression entre intrados et extrados sur toute la corde du profil, on obtient le coefficient de portance, adimensionné,

$$C_z = \frac{F_z}{\frac{1}{2} \cdot S_{réf} \cdot \rho_\infty \cdot v_\infty^2},$$

avec $S_{réf}$ la surface de l'aile et F_z , la force de portance exercée sur l'aile. Cette force de portance est perpendiculaire à l'écoulement (**figure 4**). Par ailleurs, la répartition de pression le long de l'intrados et de l'extrados ne se traduit pas uniquement par la force de portance F_z qui est perpendiculaire à l'écoulement, mais également par la présence d'une force de traînée

$F_x = \frac{1}{2} \cdot C_x \cdot S_{réf} \cdot \rho_\infty \cdot v_\infty^2$, parallèle à l'écoulement et qui s'oppose au déplacement (**figure 4**). C_x est le coefficient de traînée.

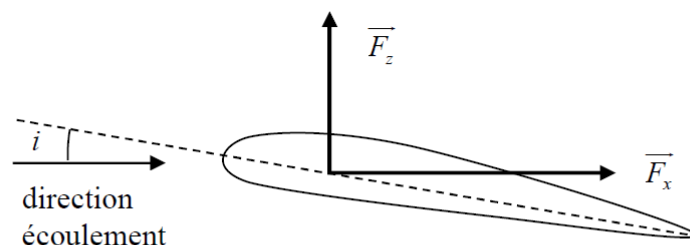


Figure 4 - Décomposition des efforts aérodynamiques : portance et traînée

Q5. Vérifier que le coefficient de portance C_z est adimensionné.

L'influence de l'angle d'incidence i sur le coefficient de pression C_P est représentée en **figure 5**.

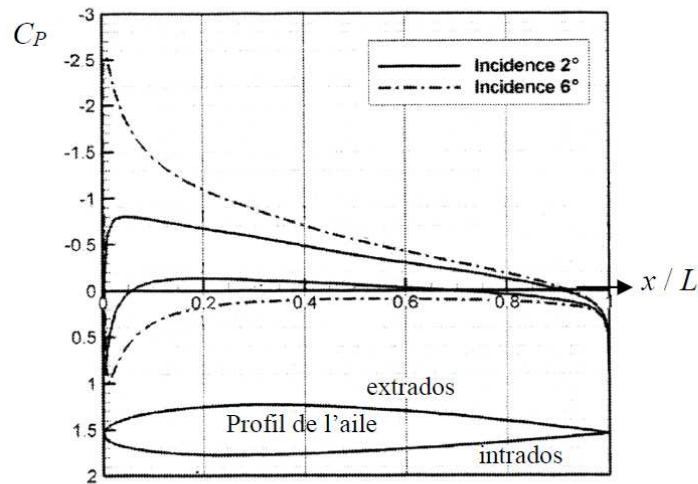


Figure 5 - Influence de l'incidence sur le C_P

- Q6.** Le coefficient de portance C_z est-il plus important pour une incidence de 2° ou 6° ? Justifier.
- Q8.** On considère un vol en palier, c'est-à-dire avec un vecteur vitesse et une altitude de l'avion constants. Représenter l'ensemble des forces s'exerçant sur l'avion et expliquer comment la force de traînée est compensée.
- Q9.** Pourquoi est-il intéressant de voler à haute altitude ?
- Q10.** Dans cette question, on se propose d'interpréter physiquement ce que les professionnels de l'aéronautique appellent la finesse $f = \frac{C_z}{C_x}$ d'une aile. Pour cela, on considère la situation d'un avion, tous moteurs coupés, ayant un mouvement de translation rectiligne uniforme descendant. On note α l'angle entre la direction de l'écoulement de l'air autour de l'avion et l'horizontale (**figure 6**). À l'aide d'une représentation des forces sur le schéma de la **figure 6**, établir le lien entre la finesse f et l'angle α . De quelle distance d_H l'avion a-t-il avancé à l'horizontale lorsqu'il a perdu une altitude d_V ? Conclure sur le sens physique de la finesse.

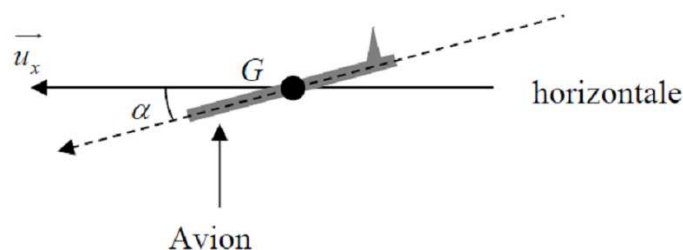


Figure 6 - Avion en mouvement rectiligne uniforme sans propulsion

Partie II – Instrumentation : tube de Pitot

Le tube de Pitot est un des nombreux capteurs qui équipent l'avion. Il permet la mesure de la vitesse de l'avion, donnée essentielle à sa bonne conduite. Il s'agit d'un tube très fin (moins de 5 mm^2 de surface) qui est placé parallèlement à la direction de l'écoulement de l'air (**figure 9**). Ce tube possède deux ouvertures en F et G . L'ouverture en F est la prise dite de pression totale et celle en G est la prise dite de pression statique. On mesure la différence de pression de l'air entre les deux tubes 1 et 2 avec un manomètre différentiel, ce qui permet d'obtenir la vitesse v_∞ de l'écoulement.

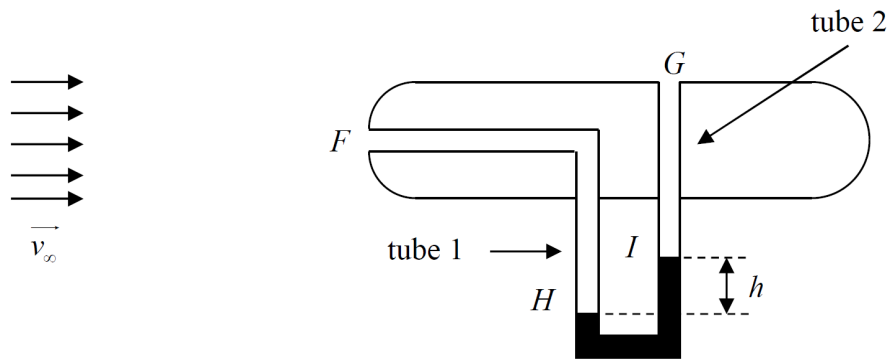


Figure 9 – Tube de Pitot

On considère que l'air est un fluide parfait, homogène, incompressible, de masse volumique ρ_∞ et en écoulement stationnaire. On rappelle que les effets de la gravité sur l'air sont négligés. Loin du tube l'air a une pression P_∞ et une vitesse v_∞ .

- Q17.** Représenter l'allure de la ligne de courant qui aboutit en F et l'allure de la ligne de courant qui longe le tube et passe à proximité de G .
- Q18.** Déterminer, en fonction de P_∞ , ρ_∞ , et v_∞ , les expressions de la vitesse v_F et de la pression P_F du fluide en F ainsi que la vitesse v_G et la pression P_G du fluide en G .
- Q19.** Dans le manomètre, il y a un liquide de masse volumique ρ_l . On mesure une différence d'altitude h entre les deux surfaces du liquide. Déterminer l'expression de la différence de pression, $P_H - P_I$, entre ces deux surfaces.
- Q20.** Dédurre des questions précédentes l'expression de la vitesse de l'écoulement v_∞ de l'air en fonction de ρ_l , ρ_∞ , g et h . Comment évolue h lorsque la vitesse de l'air augmente ?

Partie III - Propulsion

Pour leur propulsion, les avions sont équipés majoritairement de réacteurs. Cette dénomination usuelle désigne en fait des turboréacteurs qui appartiennent à la catégorie des turbomachines encore appelées générateurs ou turbines à gaz. Les turbomachines présentent plusieurs avantages par rapport aux moteurs à pistons, avec notamment un rapport puissance-poids environ trois fois supérieur. En effet, le nombre de pièces mobiles est réduit et leur mouvement est très simple, ce qui permet de les alléger. Ces machines sont inégalables lorsque de grandes puissances sont requises avec des contraintes d'espace ou de poids. Leur inconvénient majeur est que leur efficacité et leur réactivité chutent très rapidement à faible puissance : ils ne sont donc pas adaptés au domaine automobile par exemple.

Les constituants principaux d'un turboréacteur sont un compresseur, une chambre de combustion et une turbine. Dans cette **partie** on étudie un turboréacteur dit simple flux (**figure 12**) pour lequel le gaz entrant dans le réacteur passe dans un diffuseur pour en diminuer la vitesse avant d'être comprimé par le compresseur. Le gaz comprimé arrive dans une chambre de combustion où il est chauffé avant d'être détendu partiellement dans la turbine qui fournit la puissance nécessaire au compresseur. En sortie de turbine, le gaz reste à une pression relativement élevée par rapport à la pression extérieure et il est détendu dans une tuyère, ce qui permet de l'accélérer : c'est cette accélération qui permet la propulsion de l'avion.

Le turboréacteur simple flux est principalement utilisé dans l'aviation militaire.

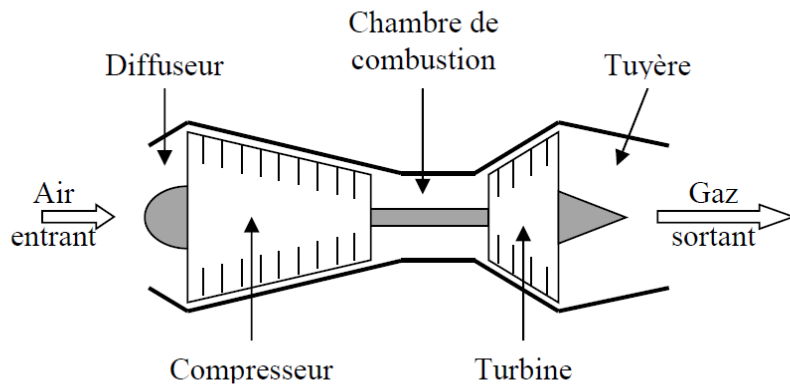


Figure 12 - Schéma de principe d'un turboréacteur simple flux

Le turboréacteur constitue un système ouvert (Σ). En régime stationnaire, ce volume de contrôle contient à l'instant t une masse d'air $M(t)$ à laquelle on associe une quantité de mouvement $\overline{p}(t)$. Pour établir le bilan de quantité de mouvement, on doit définir un système fermé (Σ^*) qui, à l'instant t , est constitué de $M(t)$ et d'une masse entrante dans la tuyère δm_e à la vitesse $\overline{v}_e$ et, à l'instant $t + dt$ est constitué de $M(t + dt)$ et d'une masse sortante de la tuyère δm_s à la vitesse $\overline{v}_s$. La pression P_0 autour du turboréacteur est uniforme. La surface d'entrée du turboréacteur est notée S_e et celle de sortie S_s .

Q25. Donner l'expression du vecteur quantité de mouvement du système fermé $\overline{p}^*(t)$ à l'instant t .

Q26. Donner l'expression du vecteur quantité de mouvement du système fermé $\overline{p}^*(t + dt)$ à l'instant $t + dt$.

Q27. Des deux questions précédentes déduire, en régime stationnaire, l'expression de la dérivée du vecteur quantité de mouvement du système fermé $\frac{d\overline{p}^*(t)}{dt}$ à l'instant t . On introduira D_m le débit massique d'air dans le réacteur.

Q28. Effectuer le bilan des forces s'exerçant sur le système.

Q29. Indiquer quelle(s) approximation(s) est/sont nécessaire(s) pour conclure que la force appliquée par le réacteur à l'air a pour expression : $\overline{F}_{\text{avion} \rightarrow \text{air}} = D_m \cdot (\overline{v}_s - \overline{v}_e)$.

Q30. En considérant un réacteur positionné horizontalement avec son entrée à gauche comme indiqué sur la **figure 12**, représenter qualitativement le vecteur de la force exercée par l'air sur l'avion $\overline{F}_{\text{air} \rightarrow \text{avion}}$ ainsi que les vecteurs $\overline{v}_e$ et $\overline{v}_s$ dans le référentiel du réacteur. Comparer les normes v_e et v_s des vecteurs vitesses pour que la force exercée par l'air sur l'avion soit propulsive.

Problème B

La circulation sanguine

Le 18 décembre 2013 à l'hôpital européen Georges-Pompidou de Paris, le premier cœur 100 % artificiel et autonome était implanté sur un patient. Cette prouesse n'aurait pu être réalisée sans les nombreuses découvertes théoriques et expérimentales qui l'ont précédée. Aussi, nous nous proposons, dans ce problème, d'en étudier un des aspects : la circulation sanguine. Ce domaine de la physiologie est appelé l'hémodynamique.

La **figure 1** représente le système vasculaire humain. La cavité droite du cœur envoie le sang appauvri en dioxygène dans les poumons à travers l'artère pulmonaire. Les poumons enrichissent le sang en dioxygène. Le sang enrichi en dioxygène retourne dans le côté gauche du cœur et irrigue l'ensemble du corps puis revient au côté droit par la veine cave. Le système vasculaire issu de l'aorte se divise en artères, puis artérioles et capillaires. Le **tableau 1** page suivante donne, chez l'homme, le diamètre des différents types de vaisseaux et leur nombre.

Le cœur humain pèse environ 0,3 kilogramme et bat environ une fois toutes les secondes lorsqu'il est au repos. À chaque battement, son côté gauche injecte 80 cm^3 de sang par l'aorte à la pression de 16 kPa. La puissance mécanique massique totale du cœur est de 5 W.kg^{-1} . Pour une durée de vie d'environ 80 années, cela en fait une source de travail remarquable.

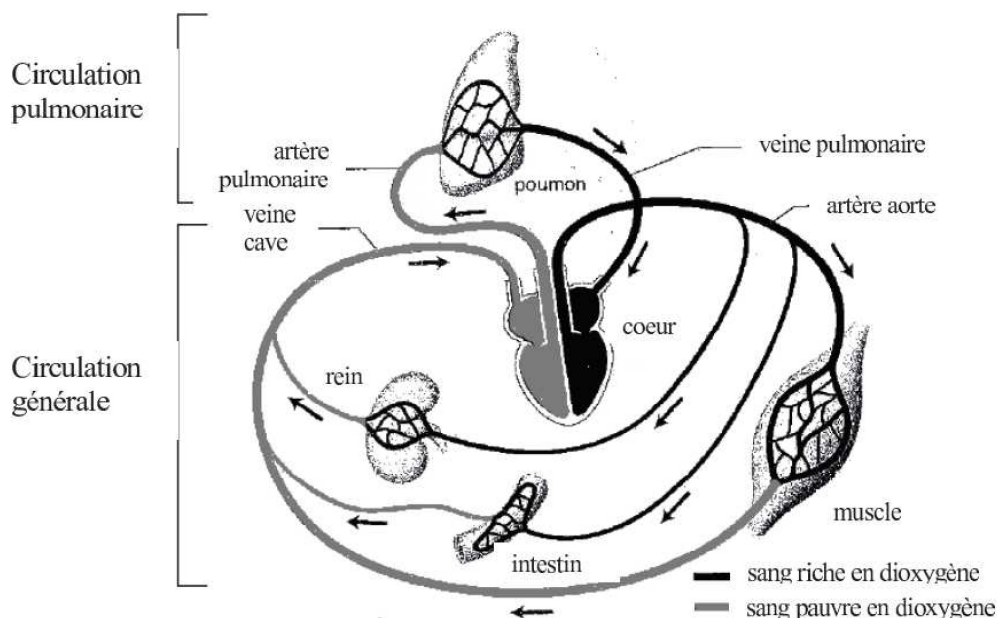


Figure 1 – Le système vasculaire humain
Le côté gauche du cœur est représenté à droite et le côté droit à gauche.

Vaisseau	Diamètre $2a$ (mm)	Nombre N
Artère aorte	10^1	1
Grandes artères	3	$4 \cdot 10^1$
Branches principales	1	$6 \cdot 10^2$
Branches secondaires	$6 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^3$
Branches tertiaires	10^{-1}	$8 \cdot 10^4$
Artères terminales	$5 \cdot 10^{-2}$	10^6
Branches terminales	$3 \cdot 10^{-2}$	10^7
Artérioles	$2 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^7$
Capillaires	$8 \cdot 10^{-3}$	10^9

Tableau 1 – Diamètres et nombres des différents types de vaisseaux chez l'homme

Le biologiste anglais C. Murray a étudié la relation qui existe entre le diamètre d'un vaisseau et le nombre de vaisseaux semblables. La **figure 2** où sont portés en échelle logarithmique les nombres de vaisseaux N en fonction de leur rayon a met en évidence cette relation.

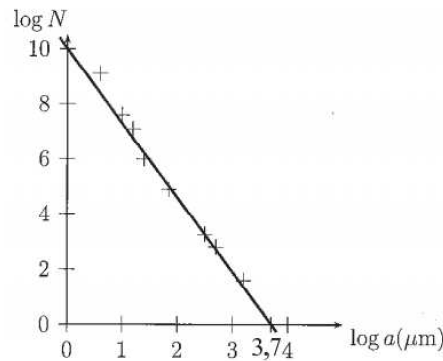


Figure 2 – Nombre de vaisseaux N en fonction de leur rayon a

Cette relation peut être interprétée par un modèle simple. Le système vasculaire y est alors décrit par deux types de vaisseaux : des artères et des vaisseaux capillaires. Il est supposé être composé de N_a artères de longueur L_a et de rayon r_a , et de N_c vaisseaux capillaires de longueur L_c et de rayon r_c (**figure 3**).

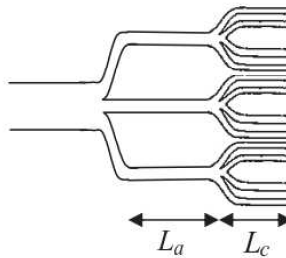


Figure 3 – Modélisation du système circulatoire artériel

En considérant alors un écoulement laminaire du sang, de viscosité η , qui se traduit par la loi de Poiseuille, l'expression de la résistance hydraulique de l'ensemble du système, que l'on retrouvera en **partie II**, vaut : $R_{tot} = \frac{8 \cdot \eta}{\pi} \cdot \left(\frac{L_a}{N_a \cdot r_a^4} + \frac{L_c}{N_c \cdot r_c^4} \right)$. Par ailleurs, si on admet que le corps se construit

en limitant la résistance hydraulique totale, on peut alors justifier qualitativement la loi de Murray théorique, qui traduit la loi de dépendance entre N_a , r_a , N_c et r_c . (**partie III**).

Pour une compréhension et une modélisation plus raffinées de la circulation sanguine dans les vaisseaux, il faut garder à l'esprit plusieurs caractéristiques du système vasculaire, qui le différencient d'un réseau d'adduction d'eau, par exemple :

- il est alimenté par une source pulsée : le cœur n'injecte du sang dans l'aorte que lors de la contraction du ventricule gauche ;
- les vaisseaux sanguins ne sont pas des tuyaux rigides : les tissus qui les constituent possèdent une certaine élasticité ;
- le sang n'est pas un liquide newtonien tel que l'eau. Son caractère non newtonien se traduit par exemple par le fait que sa viscosité dépend du diamètre du vaisseau dans lequel il s'écoule.

En s'appuyant sur les éléments donnés lors de l'introduction du problème 1, nous établirons dans la **partie I** certains résultats généraux de la circulation sanguine. La **partie II** nous conduira à justifier l'expression de la résistance hydraulique de l'ensemble du système vasculaire et la **partie III** nous permettra de comparer les lois de Murray théorique et expérimentale.

Partie I – Généralités

- Q1.** Calculer le volume de sang qui circule chaque minute dans le système vasculaire. Vérifier qu'il correspond, environ, aux cinq litres de sang contenus dans le corps d'un adulte.
- Q2.** En considérant que le côté droit du cœur développe une puissance mécanique de 0,2 Watt, vérifier que la puissance mécanique massique totale du cœur est de 5 W.kg^{-1} . On pourra notamment s'appuyer sur une analyse dimensionnelle.
- Q3.** En physiologie, on estime qu'environ 10 % de l'énergie reçue par un muscle est convertie en travail mécanique. À quoi peuvent correspondre les 90 % restants ?
- Q4.** Préciser la relation reliant le nombre de vaisseaux N à leur rayon a . Cette relation correspond à la loi expérimentale de Murray.
- Q5.** Estimer la vitesse moyenne du sang dans l'artère aorte.

Partie II – Loi de Poiseuille

On considère l'écoulement stationnaire d'un fluide incompressible de masse volumique ρ et de viscosité η dans un tuyau cylindrique immobile dans le référentiel d'étude galiléen, centré sur l'axe horizontal (Ax) de vecteur unitaire $\vec{e}_x$, de section circulaire de rayon a et de longueur L (**figure 4**, page suivante). Nous sommes alors en présence d'un écoulement de Poiseuille cylindrique. La pression à l'entrée du tube est $P(x=0) = P_A$ et $P(x=L) = P_B$ à la sortie. Le champ des vitesses est de la forme $\vec{v}(M) = v(r) \cdot \vec{e}_x$. Par ailleurs, un élément de fluide limité par une partie du cylindre d'axe (Ax) et de rayon r , de surface latérale $\Sigma(r)$, est soumis de la part du fluide situé entre les rayons r et a à la force de viscosité $\vec{F} = \eta \cdot \frac{dv(r)}{dr} \cdot \Sigma(r) \cdot \vec{e}_x$. On négligera les effets de la pesanteur.

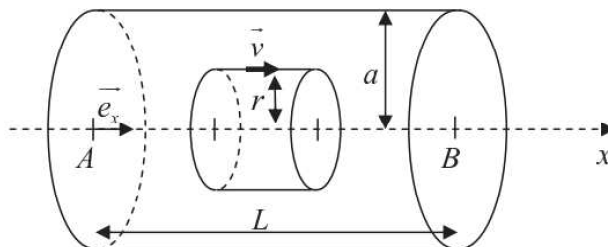


Figure 4 – Loi de Poiseuille pour un tube de section circulaire

- Q6.** Pourquoi choisit-on des pressions en entrée et en sortie différentes pour décrire cet écoulement ?
- Q7.** L'équation locale de la dynamique, ou équation de Navier-Stokes, pour les fluides incompressibles est : $\rho \cdot \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \rho \cdot (\vec{v} \cdot \text{grad}) \vec{v} = \vec{f}_{\text{vol}} - \text{grad}P + \eta \cdot \Delta \vec{v}$.
Donner la signification des différents termes de cette équation.
- Q8.** À quelle condition l'écoulement peut-il être considéré comme laminaire ? Tester cette condition pour l'écoulement dans l'artère aorte en considérant une viscosité dynamique de 10^{-3} Pa.s et une masse volumique du sang de 10^3 kg.m^{-3} . Commenter.
- Q9.** D'après les premiers éléments descriptifs de l'écoulement de Poiseuille cylindrique, simplifier l'équation de Navier-Stokes.

Pour définir la loi d'évolution $v(r)$, il faut préciser le terme $\eta \cdot \Delta \vec{v}$. Pour cela, il nous faut retrouver la densité volumique des forces de viscosité en calculant la résultante des forces de viscosité s'exerçant sur une particule de fluide possédant la forme décrite en **figure 5**.

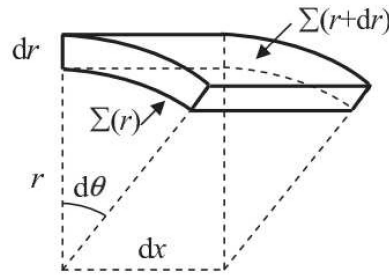


Figure 5 – Particule de fluide en géométrie cylindrique

Q10. Déterminer les expressions de la force de viscosité $\overrightarrow{dF_+}$ appliquée sur la face supérieure de surface latérale $\Sigma(r+dr)$ et de la force de viscosité $\overrightarrow{dF_-}$ appliquée sur la face inférieure de surface latérale $\Sigma(r)$. Montrer que la résultante des forces de viscosité qui s'exercent sur la particule de fluide est donc : $\overrightarrow{dF_{visc}} = \eta \cdot \left(\frac{d}{dr} \left(r \cdot \frac{dv}{dr} \right) \right) \cdot d\theta \cdot dx \cdot dr \cdot \vec{e}_x$. En déduire la densité volumique des forces de viscosité $\overrightarrow{f_{v,visc}}$.

Q11. La pression dépend-elle de la variable θ ? Projeter l'équation de Navier-Stokes et montrer que le champ des pressions est égal à $P(x) = P_A - (P_A - P_B) \cdot \frac{x}{L}$ et que $v(r) = \frac{(P_A - P_B)}{4 \cdot \eta \cdot L} \cdot (a^2 - r^2)$.

Q12. Donner l'expression du débit volumique D_v de cet écoulement. En expliquant l'analogie avec la résistance électrique, montrer que la résistance hydraulique du tuyau vaut : $R_H = \frac{8 \cdot \eta \cdot L}{\pi \cdot a^4}$.

Q13. Justifier l'expression de la résistance hydraulique de l'ensemble du système vasculaire R_{tot} .

Partie III – Loi de Murray

On suppose que l'organisme dispose d'un volume V_0 donné de tissus pour réaliser les parois du système vasculaire et que l'épaisseur e d'un vaisseau est proportionnelle à son rayon extérieur r : $e = \alpha \cdot r$ avec $\alpha \ll 1$.

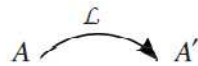
Q14. Exprimer V_0 en fonction de N_a , L_a , r_a , N_c , L_c , r_c et α . En exprimant que le système circulatoire se construit en utilisant une quantité minimale et donc un volume V_0 minimal de tissus, déterminer $\frac{dr_c}{dr_a}$ en fonction de N_a , L_a , r_a , N_c , L_c , r_c .

Q15. Le corps se construit aussi de façon à minimiser la résistance hydraulique totale R_{tot} du système circulatoire. Montrer que cela entraîne une relation entre N_a , r_a , N_c , r_c que l'on identifiera comme étant la loi de Murray théorique.

Q16. Proposer des interprétations à l'écart entre la loi de Murray théorique et la loi expérimentale obtenue à la question **Q4**. Toute démarche construite, même inachevée, développant une réflexion physique sur les limites de la modélisation, sera prise en considération dans l'évaluation.

Problème C Viseur et lunette

Rappel des relations de conjugaison pour une lentille mince $\mathcal{L}$ de centre O , de foyer objet F , de foyer image F' et de distance focale image f' donnant d'un objet AB une image $A'B'$.



Représentation de A' image de A par $\mathcal{L}$

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

(1) Relation de Descartes

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{F'A'}}{\overline{F'O}} = \frac{\overline{FO}}{\overline{FA}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

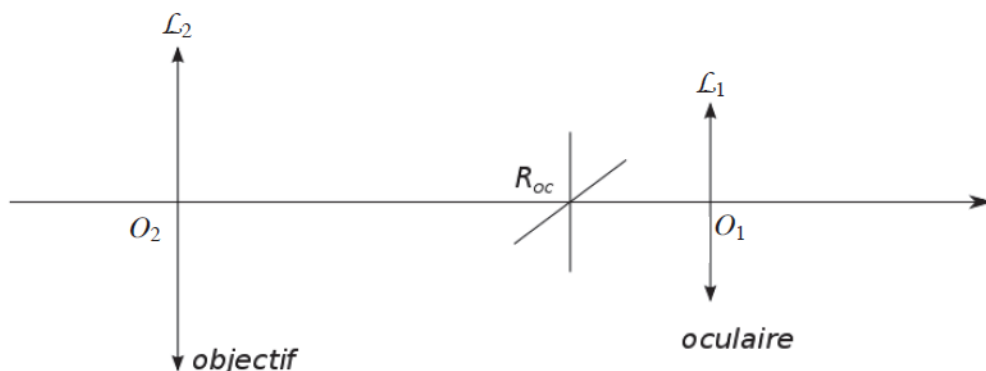
(2) Relations de grandissement

1. Viseur à frontale fixe

On étudie un viseur à frontale fixe (figure 6) constitué par :

- un objectif $\mathcal{L}_2$ de centre O_2 , de distance focale $f'_2 = 50 \text{ mm}$;
- un réticule gradué R_{oc} ;
- un oculaire modélisé par une lentille convergente $\mathcal{L}_1$ de centre O_1 et de distance focale $f'_1 = 50 \text{ mm}$.

On règle la lunette afin d'avoir, pour l'objectif, un grandissement transversal $\gamma_{ob} = \left(\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} \right)_{ob} = -2$.
L'œil de l'observateur/trice est supposé emmétrope.



- Q1. Comment règle-t-on l'oculaire par rapport au réticule ?
- Q2. Préciser la position $\overline{F_2 A}$ de l'objet visé par rapport à l'objectif en fonction de γ_{ob} et f'_2 . On utilisera l'une des relations de grandissement (2). Faire l'application numérique.
- Q3. Déterminer l'encombrement $\overline{O_2 O_1}$ de la lunette en fonction de f'_1 , γ_{ob} et f'_2 . Effectuer l'application numérique.
- Q4. Valider vos résultats par un tracé de rayons complets, depuis l'objet AB jusqu'à l'image finale, en respectant les proportions données ou calculées précédemment.
- Q5. Citer une application de ce type de viseur.

2. Lunette

La lunette astronomique est un système centré constitué d'un objectif et d'un oculaire. L'objectif est assimilé à une lentille mince convergente de centre optique O_1 , de distance focale f'_1 et de diamètre D_1 . L'oculaire est une lentille mince convergente de centre optique O_2 , de distance focale f'_2 et de diamètre D_2 .

L'objectif donne, d'un objet éloigné, une image réelle appelée image objective. Cette dernière est observée au moyen de l'oculaire.

Q6. A quelle condition l'œil d'un observateur, supposé sans défaut, n'accommode pas (ne se fatigue pas) ? En déduire la position relative de l'objectif et de l'oculaire. Ce système optique possède-t-il des foyers ? Comment se nomme un tel système optique ?

Q7. Rappeler les conditions de Gauss. Réaliser un schéma, sans respecter les échelles, montrant le devenir d'un rayon incident faisant un angle θ avec l'axe optique et émergeant sous un angle θ' dans les conditions de Gauss (figure 7).



Figure 7 : lunette astronomique

Déterminer l'expression du grossissement de la lunette $G = \frac{\theta'}{\theta}$ en fonction de f_1' et f_2' , et calculer ce grossissement si $f_1' = 1,0 \text{ m}$ et $f_2' = 20 \text{ mm}$.

Q8. On considère un faisceau lumineux issu d'un point objet A à l'infini sur l'axe optique de la lunette (figure 8). Sans respect des échelles, représenter le devenir d'un tel faisceau lumineux limité par la monture de la lentille objectif (encore appelée diaphragme d'ouverture). Ajouter l'allure des surfaces d'onde aux différents endroits de ce faisceau, et justifier leur forme.

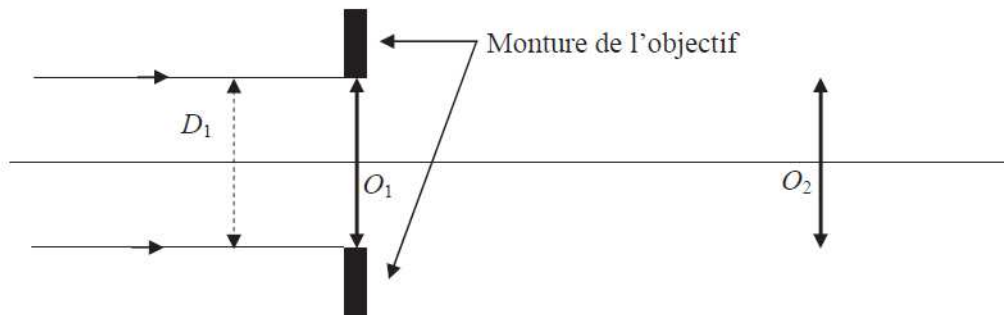


Figure 8 : lunette astronomique et diaphragme d'ouverture

Exprimer le diamètre D du faisceau de rayons issu de l'oculaire en fonction du grossissement G de la lunette ainsi que du diamètre D_1 du diaphragme d'ouverture.

Après avoir calculé la valeur numérique du diamètre D du faisceau de rayons issu de l'oculaire, montrer que c'est le diaphragme d'ouverture, de diamètre D_1 , qui le limite et non l'oculaire de diamètre D_2 . On donne $D_1 = 10 \text{ cm}$ et $D_2 = 6 \text{ mm}$.

Q9. On considère un objet ponctuel situé à l'infini en dehors de l'axe optique et dans la direction θ par rapport à ce dernier (figure 9). Expliquer, de façon qualitative, ce qu'il advient des rayons lumineux lorsque l'angle θ devient trop important. On dit de la monture de l'oculaire qu'elle est le diaphragme de champ de la lunette. Pouvez-vous justifier cette affirmation ?

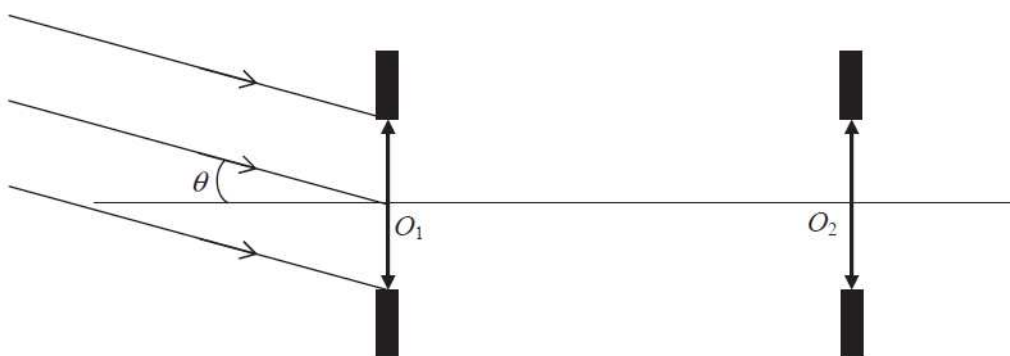


Figure 9 : lunette astronomique et diaphragme de champ