

# CONCOURS BLANC 2025

## ÉPREUVE de PHYSIQUE Physique et transports

Durée de l'épreuve : 4 heures

L'usage de la calculatrice et de tout dispositif électronique est interdit.

*Les candidats sont priés de mentionner de façon apparente sur la première page de la copie :*

*PHYSIQUE - PCSI*

*Les candidats sont priés de mentionner de façon apparente à la fin de la copie,  
FIN*

*L'énoncé de cette épreuve comporte 12 pages de texte.*

*Si, au cours de l'épreuve, un.e candidat.e 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 est amené à prendre.*

Informations aux candidat.e.s :

- Le sujet est constitué de quatre parties totalement indépendantes entre elles, que le.la candidat.e est libre d'aborder dans l'ordre de son choix.
- Les données numériques et valeurs des constantes physiques nécessaires sont regroupées en fin d'énoncé.
- Pour les applications numériques demandées on se contentera de 2 chiffres significatifs.
- Sauf si la question le demande explicitement, les résultats donnés sans aucun élément d'explication ou de justification ne se verront attribuer aucun point.
- Utiliser uniquement un stylo noir ou bleu foncé non effaçable pour la rédaction de votre composition ; d'autres couleurs, excepté le vert, peuvent être utilisées, mais exclusivement pour les schémas et la mise en évidence des résultats.
- Ne pas utiliser de correcteur.

## I Un moteur à essence turbocompressé (Mines-Pont MPI 2025)

Le moteur qui équipe les automobiles thermiques peut être décrit comme une machine ditherme à air (on néglige la quantité de carburant et les gaz brûlés devant l'air au niveau des pistons) fonctionnant de manière pseudo-cyclique (l'air rejeté par la ligne d'échappement n'est évidemment pas le même que celui qui est admis dans le filtre à air, mais il est en même quantité). On caractérise un tel moteur par les températures de la «source froide»  $T_f$  (en pratique c'est celle de l'air ambiant et on prendra  $T_f = 27^\circ\text{C}$ ) et de la «source chaude»  $T_c$  (au moins égale à celle du point le plus chaud du cycle, après la combustion du carburant).

### I.A Rendement du moteur

Q1. Définir le rendement  $\eta$  d'un tel moteur thermique ditherme.

Énoncer et démontrer avec soin le théorème de Carnot.

Certains véhicules sont mus par un moteur à essence à quatre temps ; le carburant utilisé est de l'Eurosuper 95 produisant, par combustion totale, une énergie  $W_v = 3,6 \cdot 10^7 \text{ J} \cdot \text{L}^{-1}$  (joules produits par litre de carburant consommé). En circulant à la vitesse stabilisée  $v = 100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  sur route horizontale, le moteur du véhicule étudié ici développe la puissance  $\mathcal{P} = 18 \text{ kW}$  (pour vaincre essentiellement les frottements aérodynamiques) et consomme une quantité  $q$  égale à 5,4 litres de carburant pour parcourir 100 km .

Q2. Déduire des données ci-dessus le rendement réel  $\eta_r$  du moteur.

Quelle inégalité concernant  $T_c$  peut-on déduire du théorème de Carnot ?

Cette inégalité est-elle vérifiée en pratique, sachant que dans le moteur étudié la température est  $T_c \simeq 2000 \text{ K}$  ?

### I.B Thermodynamique des gaz

Une quantité donnée de gaz est caractérisé par ses fonctions d'état énergie interne  $U$  et enthalpie  $H$  et par leurs dérivées  $C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V$  et  $C_P = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P$  qui sont les capacités thermiques du gaz. On définit le rapport adiabatique  $\gamma = C_P/C_V$  ; dans ce qui suit ce rapport  $\gamma$  est supposé constant.

Q3. De quel(s) paramètre(s) thermodynamique(s) dépendent les fonctions  $U$  et  $H$  dans le cadre du modèle du gaz parfait ?

En déduire les expressions de  $C_P$  et  $C_V$  en fonction de la quantité de matière  $n$ , du rapport adiabatique  $\gamma$  et d'une constante fondamentale.

On admettra l'expression de l'entropie molaire  $S_m(T, V)$  d'un gaz parfait de température  $T$  et de volume  $V$  :

$$S_m(T, V) = S_m(T_0, V_0) + \frac{R}{\gamma - 1} \ln \frac{T}{T_0} + R \ln \frac{V}{V_0}$$

Q4. En déduire la relation de LAPLACE qui relie les variations de pression  $P$  et de volume  $V$  évoluant de manière isentropique depuis un état initial  $(P_0, V_0)$ .

## I.C Le cycle moteur à quatre temps

Le moteur à quatre temps a été décrit pour la première fois en 1862 par l'ingénieur Alphonse Beau. Ce cycle est décrit par l'air (pris à l'extérieur à la pression atmosphérique  $p_0$ ), assimilé à un gaz parfait diatomique, qui évolue entre un volume minimal  $V_1$  et un volume maximal.

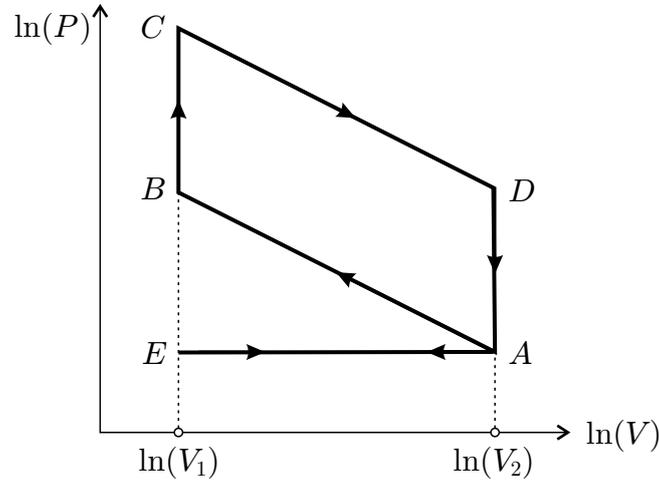


FIGURE 1 – Cycle moteur de Beau à quatre temps en échelle logarithmique

$V_2 = \alpha V_1$  avec le taux de compression  $\alpha > 1$ . Il est représenté sur la figure 1 en échelle doublement logarithmique dans le diagramme de Clapeyron.

Ce cycle comporte :

- Une phase d'admission  $EA$  de l'air extérieur dans les cylindres du moteur ;
- Une phase de compression adiabatique  $AB$  de l'air enfermé dans le piston (mêlé avec un peu d'essence) suivie de la combustion  $BC$  quasiment instantanée provoquée par une étincelle produite par le système électrique d'allumage ;
- Une phase motrice de détente adiabatique  $CD$  de l'air (et du combustible brûlé) jusqu'à l'ouverture en  $D$  des soupapes d'échappement avec chute brutale  $DA$  de la pression ;
- Une phase d'échappement  $AE$  évacuant les gaz brûlés avant la reprise du cycle.

Dans toute la suite de l'étude les phases d'échappement  $AE$  et d'admission  $EA$  ne jouent aucun rôle et on pourra donc les ignorer.

- Q5. On considère d'abord que toutes les évolutions au sein du cycle  $ABCDAEA$  sont réversibles. Montrer que les transformations  $AB$  et  $CD$  sont décrites par deux droites parallèles et déterminer leur pente commune  $p_{rv} < 0$ .
- Q6. Reproduire sur votre copie le diagramme de la figure 1 en y ajoutant les isothermes de températures  $T_f$  (température minimale du cycle) et  $T_c$  (température maximale du cycle).
- Q7. Exprimer les transferts thermiques sur les phases  $AB, BC, CD$  et  $DA$  en fonction des températures  $T_A, T_B, T_C$  et  $T_D$  aux divers points du cycle.  
En déduire l'expression  $\eta_{rv}$  du rendement du cycle moteur de la figure 1 en fonction des températures puis en déduire que  $\eta_{rv} = 1 - \alpha^{1-\gamma}$ .
- Q8. Pour le moteur étudié ici  $\alpha = 9$  et on prendra pour l'air  $\gamma = 1,4$ . Calculer  $\eta_{rv}$  et commenter.

En réalité l'hypothèse de réversibilité des transformations adiabatiques  $AB$  et  $CD$  n'est pas réaliste ; pour s'approcher du rendement réel on la remplace par un modèle amélioré, toujours adiabatique mais non réversible, dans lequel le cycle devient  $AB'C'D'A$ , mais on suppose toujours que  $AB'$  et  $C'D'$  sont des droites de pentes (négatives) respectives  $p'_{comp}$  et  $p'_{det}$  pour la compression  $AB'$  et la détente  $D'A$ .

- Q9. En application du second principe montrer que  $p'_{comp} < p_{rv} < p'_{det}$ .

## II Train à sustentation magnétique (D'après Centrale-Supélec PSI 2018)

Un train à sustentation magnétique utilise les forces magnétiques pour léviter au dessus de la voie ; il n'est donc pas en contact avec des rails, contrairement aux trains classiques. Ce procédé permet de supprimer la résistance au roulement et d'atteindre des vitesses élevées.

On s'intéresse ici à un train à sustentation électromagnétique dans lequel le train lévite par attraction grâce à des aimants (Transrapid développé en Allemagne)

La seule réalisation commerciale du Transrapid est à l'heure actuelle la ligne de 30 kilomètres qui fonctionne depuis 2004 entre Shanghai et son aéroport international de Pudong. Le trajet s'effectue en moins de 8 minutes, à la vitesse moyenne de 245 km/h. Sur ce parcours le train atteint la vitesse de 430 km/h, il a la capacité d'accélérer de 0 à 350 km/h en 2 minutes.

La première version commerciale du SCMaglev doit relier en une heure Tokyo et Osaka, distantes de 400 km à vol d'oiseau. L'ouverture du premier tronçon de la ligne (Tokyo-Nagoya) est prévu en 2027 avec une vitesse de pointe sur le parcours de 505 km/h. En 2015 une rame de test de sept voitures a atteint la vitesse de 603 km/h, établissant ainsi l'actuel record de vitesse pour un train.



FIGURE 2

### II.A Réalisation d'un champ magnétique intense

Dans le système à sustentation électrodynamique (SCMaglev), un champ magnétique est créé par des bobines supraconductrices placées dans le train en mouvement. Le constructeur indique que pour faire léviter le train le champ magnétique produit doit dépasser la valeur de 4 teslas.

Q1. On considère une bobine très longue de  $n$  spires par unité de longueur.

Par étude précise des symétries et des invariances, déterminer la direction du champ magnétique créé par la bobine et la(les) variable(s) d'espace dont il dépend.

Q2. Expliquer pourquoi il n'est pas possible de réaliser un tel champ magnétique avec un solénoïde constitué d'un fil résistif. Pour répondre à cette question, vous pourrez vous appuyer sur les données fournies, les résultats numériques nécessaires pourront être donnés en ordre de grandeur. Vous préciserez clairement les différentes étapes de votre raisonnement.

## II.B Modélisation du champ magnétique dans l'entrefer

La figure 3 présente la rame du Transrapid sur son rail et, dans un plan de coupe, le détail du système de sustentation. Ce système est constitué d'un électroaimant dont le circuit magnétique est composé :

- d'une portion de rail (1) en matériau ferromagnétique doux ;
- d'une portion (2) solidaire de la rame, constituée du même matériau ferromagnétique, sur lequel sont bobinées  $N$  spires alimentées par un courant d'intensité  $i(t)$ .

Les deux portions sont séparées par un entrefer de largeur  $z$  variable. La section  $S$  du matériau ferromagnétique dans les portions (1) et (2) du circuit magnétique est supposée commune aux portions (1) et (2), constante le long du circuit magnétique et carrée de côté  $a$  :  $S = a^2$ .

(C) est une ligne de champ magnétique du circuit (figure 3).

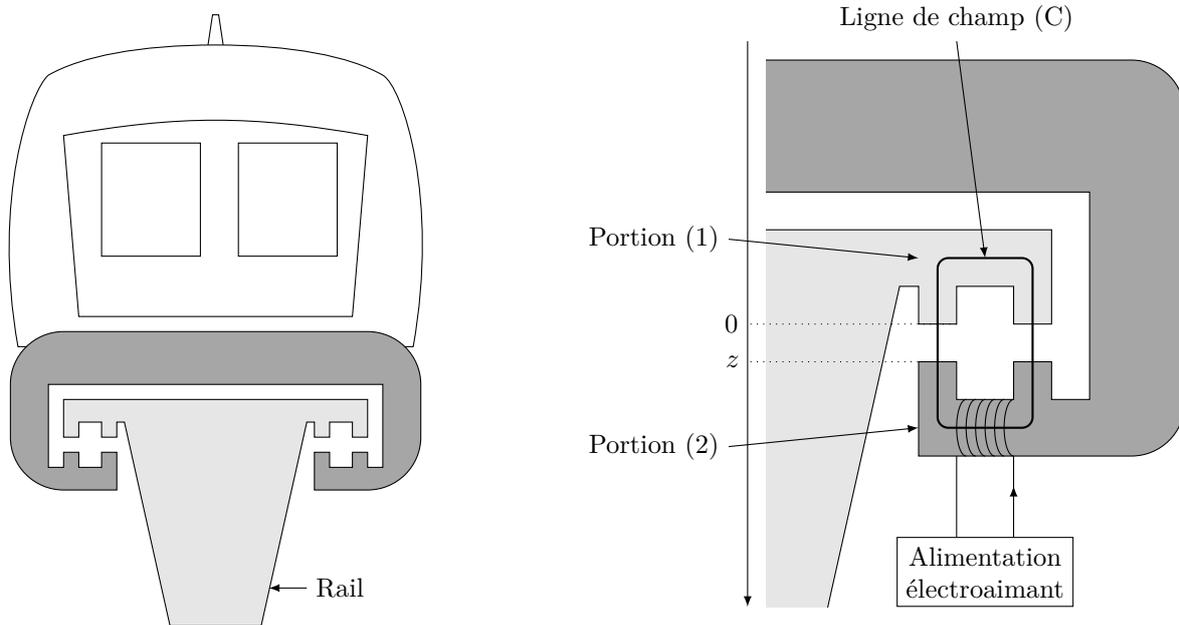


FIGURE 3 – Transrapid et son système de sustentation

On note :

- $\vec{B}_1$  le champ magnétique dans la portion (1) ;
- $\vec{B}_2$  le champ magnétique dans la portion (2) ;
- $\vec{B}_a$  le champ magnétique dans les entrefers ;
- $z$  la largeur, variable, des entrefers entre les deux portions ferromagnétiques du circuit magnétique (l'origine  $O$  sur l'axe descendant  $(O, \vec{u}_x)$  est choisie sur le rail fixe) ;
- $\ell$  la longueur moyenne de la partie de la ligne de champ (C) située à l'intérieur des portions ferromagnétiques (1) et (2) du circuit.

Le champ magnétique au sein de la bobine (bobinée autour de la portion (2)) est de norme

$$B_2 = \frac{\mu_0 N i}{2z} \quad (1)$$

## II.C Lévitaiton par attraction

On donne que la force électromagnétique s'exerçant sur une partie mobile d'un circuit magnétique, parcouru par un courant d'intensité  $i$ , en translation suivant la direction  $\vec{u}_z$  s'écrit  $\vec{F}_{em} = \left( \frac{\partial \mathcal{E}_m}{\partial z} \right)_i \vec{u}_z$ , où  $\mathcal{E}_m$  est l'énergie magnétique.

- Q3. Reproduire la bobine de la portion (2) et préciser son orientation clairement. Indiquer le champ magnétique  $\vec{B}_2$  (en supposant  $i > 0$ ).
- Q4. Montrer que que l'inductance propre  $L(z)$  du bobinage peut s'exprimer selon  $L(z) = \frac{\mu_0 N^2 S}{2z}$ .  
*On utilisera la relation (1).*
- Q5. Rappeler l'expression de l'énergie magnétique emmagasinée dans la bobine d'inductance  $L(z)$  parcourue par le courant d'intensité  $i(t)$ .
- Q6. En déduire la force électromagnétique  $F_{em}$  s'exerçant sur la rame.
- Q7. Calculer la masse  $m$  qui peut ainsi être mise en sustentation à une distance  $\delta = 10$  mm du rail pour un électroaimant alimenté avec un courant d'intensité  $i_e = 10$  A.
- Q8. Une rame a une masse d'environ 180 tonnes. En déduire le nombre d'électroaimants nécessaires pour la sustentation de la rame. On donne :  $N = 1000$ ,  $S = 0,50$  m<sup>2</sup>.
- Q9. Montrer que la forme  $\vec{F}_{em}$  est conservative et en établir son énergie potentielle.
- Q10. Montrer que le système de sustentation électromagnétique est instable.

## II.D Capteur de position

L'instabilité de l'équilibre de la rame en sustentation nécessite l'asservissement en position. Cet asservissement est réalisé en utilisant un capteur de position. On se propose dans cette partie d'étudier le principe d'un capteur de position à inductance variable.

### II.D.1 Capteur à entrefer variable

Le capteur comprend un circuit magnétique composé d'un noyau solide du rail fixe et de  $B1$  et  $B2$  en vis-à-vis, solidaires de la rame. Les bobines  $B1$  et  $B2$  du capteur sont identiques et placées de façon symétrique par rapport au rail lorsque la rame est à l'équilibre.

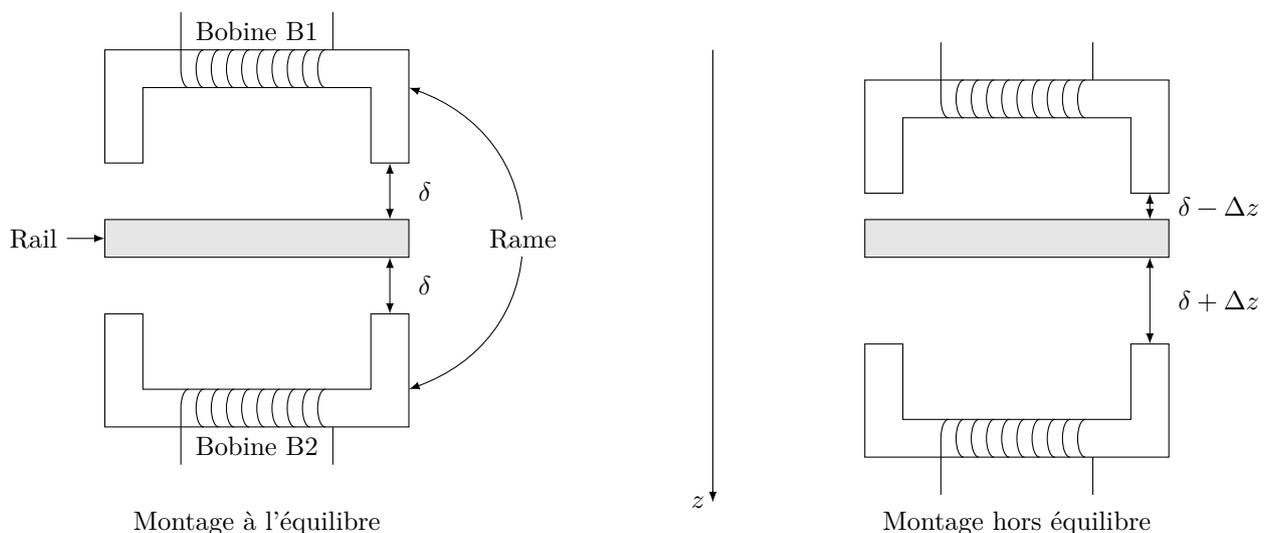


FIGURE 4

- Q11. En exploitant Q4, écrire l'inductance  $L_e$  des bobines B1 et B2 lorsque la rame est à l'équilibre.

On envisage une variation  $\Delta z$  de la position du train par rapport à la position d'équilibre  $z_e = \delta$  (figure 4 à droite), en considérant  $\Delta z \ll \delta$ .

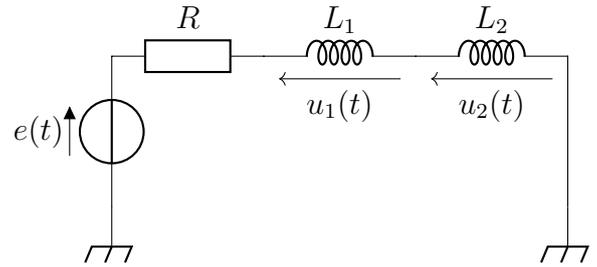
Q12. Écrire les inductances  $L_1$  et  $L_2$  de chacune des bobines B1 et B2 en se limitant au terme du premier ordre en  $\Delta z/\delta$ .

### II.D.2 Mesure des variations d'inductance

Les bobines B1 et B2 qui se situent de part et d'autre du rail sont d'inductance respective  $L_1$  et  $L_2$ .

Elles sont alimentées par un générateur délivrant une tension électrique  $e(t) = E \cos(\omega t)$ , de pulsation  $\omega$ , en série avec une résistance  $R$ .

On néglige ici les résistances des deux bobines.



Q13. Déterminer les expressions des tensions électriques complexes  $\underline{u}_1$  et  $\underline{u}_2$  en fonction de  $R$ ,  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $\omega$  et  $\underline{e}(t)$ .

Ces deux tensions  $u_1$  et  $u_2$  sont placées en entrée d'un montage présenté figure 5. L'ALI est supposé idéal en fonctionnement linéaire.

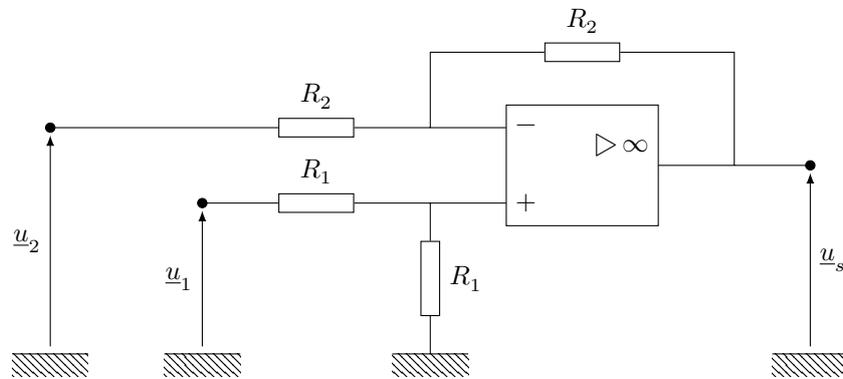


FIGURE 5

Q14. Montrer que la tension électrique de sortie du montage peut s'écrire sous la forme  $\underline{u}_s = K (\underline{u}_1 - \underline{u}_2)$  où  $K$  est une constante que l'on déterminera en fonction des composants du montage.

Q15. Exprimer la fonction de transfert complexe  $\underline{T}(j\omega)$  sous la forme  $\underline{T}(j\omega) = \frac{\underline{u}_s}{\underline{e}} = T_0 \frac{j(\omega/\omega_0)}{1 + j(\omega/\omega_0)}$  où  $T_0$  et  $\omega_0$  sont des fonctions de  $L_e$ ,  $R$ ,  $\Delta z$  et  $\delta$ , que l'on déterminera.

Q16. Tracer le diagramme de Bode asymptotique de  $\underline{T}(j\omega)$ .

Q17. De quel type de filtre s'agit-il ?

Q18. Quelle est la signification de la pulsation  $\omega_0$  ?

Q19. Dans quelle gamme de fréquences doit-on travailler pour que  $\underline{H}(j\omega)$  soit indépendant de  $\omega$  et proportionnel au déplacement de la rame ?

On a  $R = 750 \Omega$ ,  $L_e = 60 \text{ mH}$  et une fréquence d'utilisation  $f = 4 \text{ kHz}$ .

Q20. Montrer que le signal de sortie peut se mettre sous la forme  $u_s(t) = E \frac{\Delta z}{\delta} \cos(\omega t + \varphi)$ .

Q21. Exprimer et calculer le déphasage  $\varphi$ .

### II.D.3 Électronique de conditionnement

On souhaite obtenir un signal continu image de la position  $z$  de la rame.

On utilise pour cela un multiplieur analogique, avec une constante de multiplication  $K_m$ . En sortie du multiplieur, la tension s'écrit  $s_m(t) = K_m \times e(t) \times u_s(t)$ .

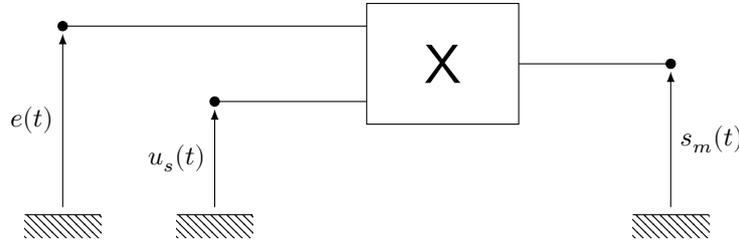


FIGURE 6 – Multiplieur analogique.

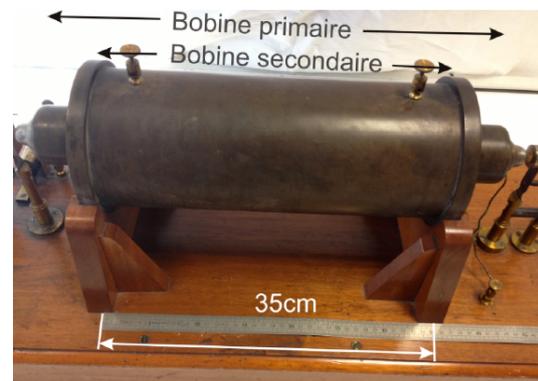
- Q22. Exprimer la tension électrique  $s_m(t)$  à la sortie du multiplieur et donner sa décomposition spectrale. Préciser le terme représentatif de la position  $z$  de la rame.
- Q23. Quel montage doit-on placer à la sortie du multiplieur pour récupérer une tension continue  $S_m$  proportionnelle au déplacement  $\Delta z$ ? Préciser la nature et les caractéristiques du montage.
- Q24. Exprimer la sensibilité du capteur définie par  $\frac{S_m}{\Delta z}$ .
- Q25. *Application numérique.* Le capteur permet de mesurer la tension de sortie à 10 mV près. En déduire le plus petit écart relatif par rapport à la position d'équilibre. On prendra  $E = 6,00 \text{ V}$ ,  $K_m = 1,00 \text{ V}^{-1}$ .

### III Bobines de Ruhmkorff

Jules Verne utilise dans ses romans les dernières innovations technologiques de son temps. Ainsi, dans « Vingt mille lieues sous les mers », les explorateurs utilisent des lampes à décharge alimentées par des appareils de RUHKORFF, conçus par Heinrich RUHKORFF vers 1850 pour s'éclairer une fois hors du Nautilus\*.

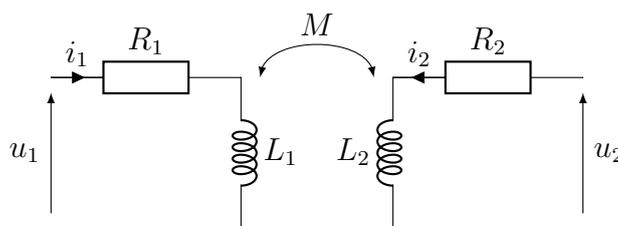
Cette partie est consacrée à l'étude de ce type d'appareil.

Une bobine de Ruhmkorff est une association de deux bobines cylindriques de même axe de révolution (on peut se référer à la photographie présentée sur la figure ci-contre. L'enroulement primaire est constitué d'un petit nombre de spires de gros fil de cuivre tandis que la bobine secondaire comporte un très grand nombre de spires de fin fil de cuivre.



Les valeurs des résistances des deux enroulements sont très différentes. La résistance de la bobine primaire est mesurée avec un ohmmètre qui indique  $R_1 = 1,23 \Omega$ . La mesure de la résistance  $R_2$  de la bobine secondaire donne  $R_2 = 9,75 \text{ k}\Omega$ .

Le couplage inductif entre ces bobines correspond au schéma électrocinétique équivalent donné ci-dessous.



Afin de déterminer les valeurs des coefficients d'auto-inductances  $L_1$  et  $L_2$  et l'inductance mutuelle  $M$ , plusieurs expérimentations ont été menées. Des graphes issus des ces différentes expériences sont fournis dans le document réponse (figures A, B et C). Ils peuvent servir de support pour illustrer la démarche et sont à rendre avec la copie.

**Expérience 1** La bobine secondaire étant en circuit ouvert, la bobine primaire est montée en série avec un générateur basse fréquence de résistance interne  $R_g = 50 \Omega$  et une résistance additionnelle  $R_0 = 100 \Omega$ . Le signal délivré par le générateur est une tension périodique en créneaux de valeur minimale nulle. Le signal enregistré et représenté sur la figure A est la tension aux bornes de  $R_0$ .

**Expérience 2** La bobine primaire étant en circuit ouvert, la bobine secondaire est associée en série à une résistance  $R_a = 1,0 \cdot 10^4 \Omega$ . L'ensemble des deux dipôles est alimenté en signal sinusoïdal. La figure B indique les graphes donnant les deux tensions sinusoïdales aux bornes de la bobine secondaire et de la résistance  $R_a$ .

**Expérience 3** Deux voltmètres de très grande impédance interne sont branchés aux bornes de la bobine primaire pour l'un et de la bobine secondaire pour l'autre. La bobine primaire est alimentée par un générateur de tension sinusoïdale. Le graphe de la figure C montre que le rapport des deux valeurs efficaces dépend de la fréquence.

En s'appuyant sur ces expériences, estimer les valeurs de  $L_1$ ,  $L_2$  et  $|M|$ . Comparer aux valeurs rencontrées en travaux pratiques.

*Le candidat est invité à consigner ses pistes de recherche, à expliciter soigneusement la démarche choisie et en particulier la manière dont sont extraites les informations pertinentes des trois documents relatifs à cette sous-partie.*

\*. Si vous n'avez pas la référence, il va falloir vous mettre rapidement à lire « Vingt mille lieues sous les mers » !

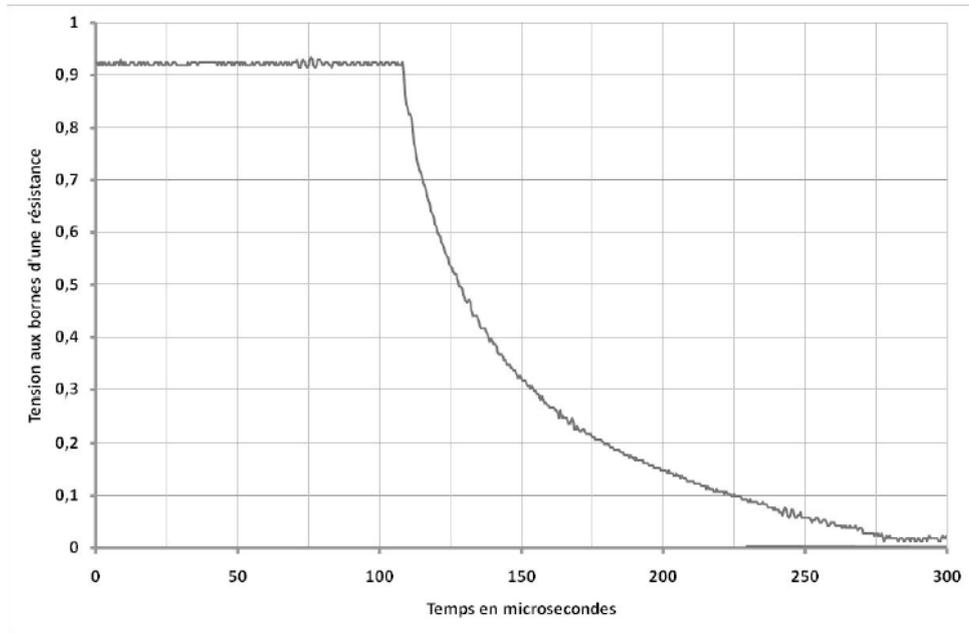


Figure A Expérience 1 : régime transitoire dans le circuit primaire

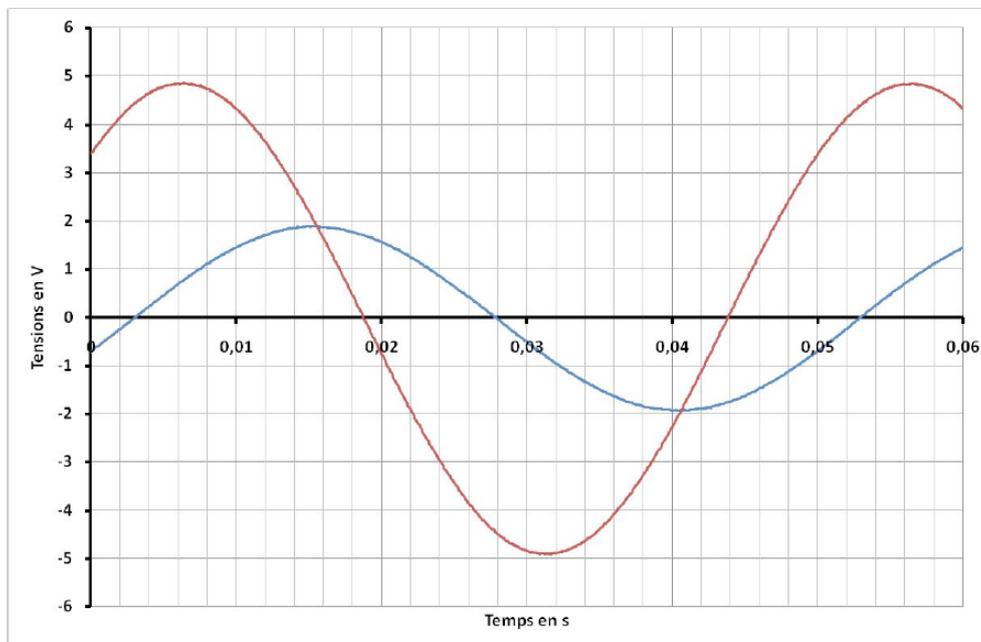


Figure B Expérience 2 : régime sinusoïdal forcé du circuit secondaire

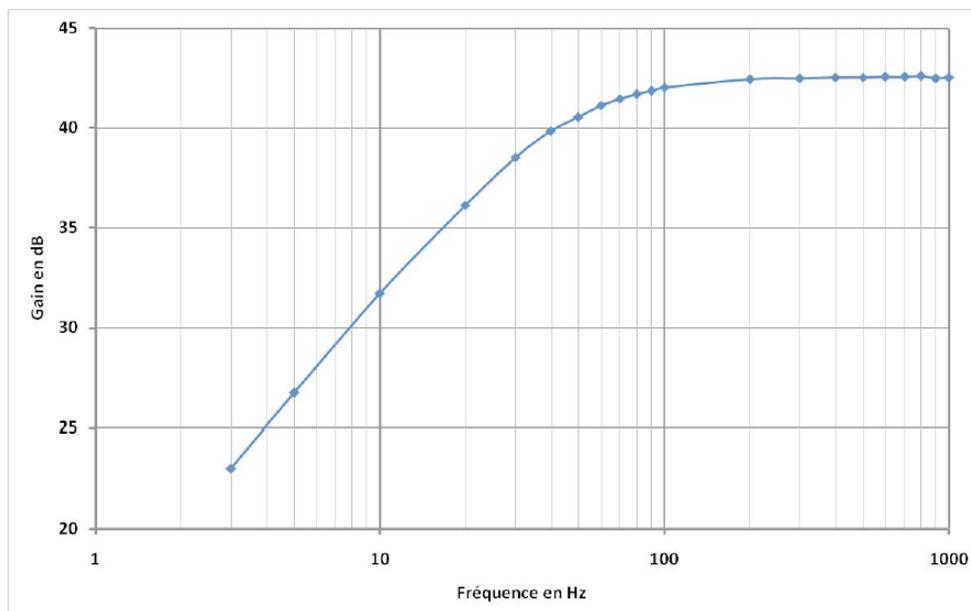


Figure C Expérience 3 : diagramme de Bode du couplage inductif entre les deux bobines coaxiales

## IV Microscope optique (D'après Centrale-Supélec PC 2021)

L'objectif de microscope est un dispositif optique complexe constitué de plusieurs lentilles optiques. Dans cette sous-partie, on considère un objectif  $\times 40$  utilisé dans un microscope classique, donnant d'un objet microscopique une image réelle agrandie renversée ; le grandissement transversal  $\gamma$  vaut donc  $\gamma = -40,0$ . On modélise l'objectif par une lentille mince convergente, d'axe optique  $(O_1z)$  et de centre  $O_1$ .

La figure 7 montre une photographie de cet objectif avec les indications « 40 » pour le grandissement, « 0.65 » pour l'ouverture numérique (ON), « 160 » (mm) pour la longueur de tube  $\Delta$ , définie ci-après, et « 0.17 » (mm) pour la lamelle couvre-objet. Le plan de front  $P$  en avant de la monture de l'objectif est tel que la distance  $O_1P$  est égale à 3,5 mm.

En notant  $\alpha$  le demi-angle d'ouverture, c'est-à-dire l'angle entre l'axe optique et le rayon le plus écarté de l'axe optique qui entre dans l'objectif, l'ouverture numérique est définie par  $ON = n \sin \alpha$ , où  $n$  est l'indice de réfraction du milieu dans lequel plonge l'objectif ( $n = 1,00$  pour l'air).

On utilise cet objectif et un oculaire de distance focale  $f'_2 = 20$  mm dans un microscope classique. L'objectif et l'oculaire sont maintenus solidaires par le tube du microscope qui impose la distance  $F'_1F_2$  entre le foyer image de l'objectif et le foyer objet de l'oculaire. Cette distance  $\Delta$  est appelée intervalle optique du microscope ou longueur de tube. Le microscope est utilisé de telle façon que l'œil n'ait pas besoin d'accommoder.

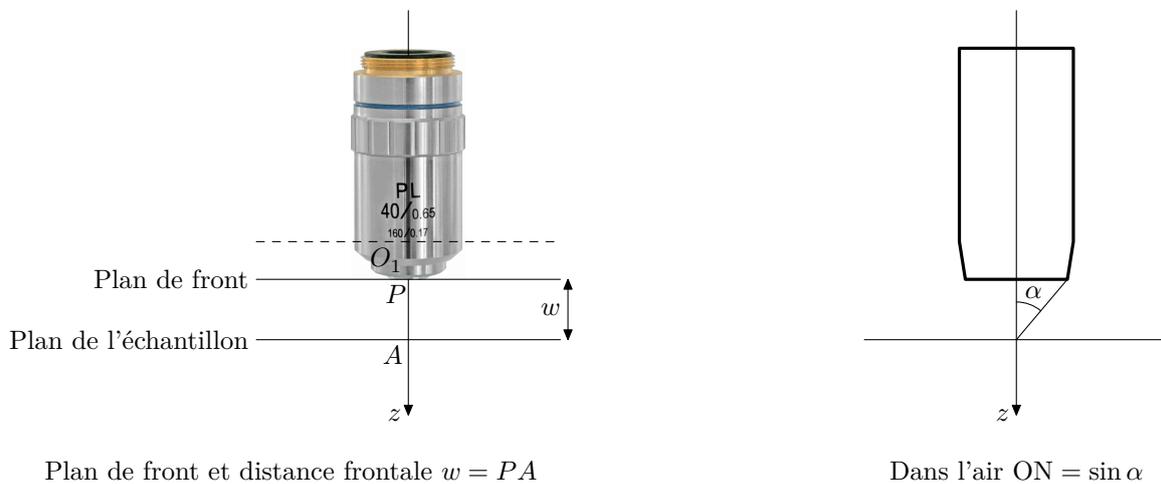


FIGURE 7 – Objectif de microscope  $\times 40$

Par souci de simplicité, pour les calculs, on se placera dans les conditions de Gauss, même si elles sont mal vérifiées en pratique. Un schéma optique du microscope est représenté sur la figure A du document réponse.

- Q1. Où doit se former l'image intermédiaire donnée par l'objectif, pour une observation sans accommodation à travers l'oculaire, de l'image finale ?
- Q2. Sur le schéma de la figure A du document réponse, réaliser la construction géométrique de l'image de l'objet  $AB$  par l'ensemble du microscope.
- Q3. Déterminer puis calculer la distance focale équivalente  $f'_1$  de la lentille modélisant l'objectif.
- Q4. Déterminer puis calculer la distance frontale  $w$  (distance de travail), c'est-à-dire la distance  $PA$  séparant la lame porte-échantillon et le plan de front de l'objectif  $\times 40$ . Expliquer pourquoi certains objectifs de fort grandissement sont équipés d'un système à ressort qui évite la détérioration de la lentille frontale.

On considère que l'œil est capable d'accommoder pour avoir une vision nette d'un objet situé à une distance minimale  $d_m = 25$  cm. L'œil est positionné dans le plan focal image de l'oculaire.

- Q5. Calculez la latitude de mise au point du microscope pour cet objectif, c'est-à-dire la distance dont on peut déplacer l'objectif par rapport à l'objet en conservant une vision nette. De quel système doit être équipé le tube du microscope ?

## Données numériques

Perméabilité magnétique du vide	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H} \cdot \text{m}^{-1}$
Intensité du champ de pesanteur terrestre	$g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
Capacité thermique massique de l'eau liquide	$c_e = 4,2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Constante d'AVOGADRO	$N_A = 6,0 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Constante molaire des gaz parfaits	$R = 8,3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$9^{1/5} = 1,6 ; 9^{2/5} = 2,4$$

## Caractéristiques du solénoïde

Diamètre $D$	Longueur $L$	Nombre de spires $N$	Diamètre du fil de cuivre $d$
0,2 m	0,5 m	10000	2,0 mm

## Données sur le cuivre

Masse volumique	$\mu = 8,96 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Capacité thermique massique	$c = 385 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Résistivité électrique	$\rho = 1,68 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$
Température de fusion	$T_f = 1356 \text{ K}$

## Formulaire

La norme du champ magnétique créé par une bobine longue (considérée infinie) de  $n$  spires par unité de longueur est donnée par :

$$B = \mu_0 n I$$

La résistance d'un conducteur de section  $S$ , de longueur  $\ell$  et de résistivité  $\rho$  (=inverse de la conductivité) est donnée par :

$$R = \frac{\rho \ell}{S}$$

Document réponse à rendre avec votre copie

NOM : \_\_\_\_\_ ; Prénom : \_\_\_\_\_ Page .../...

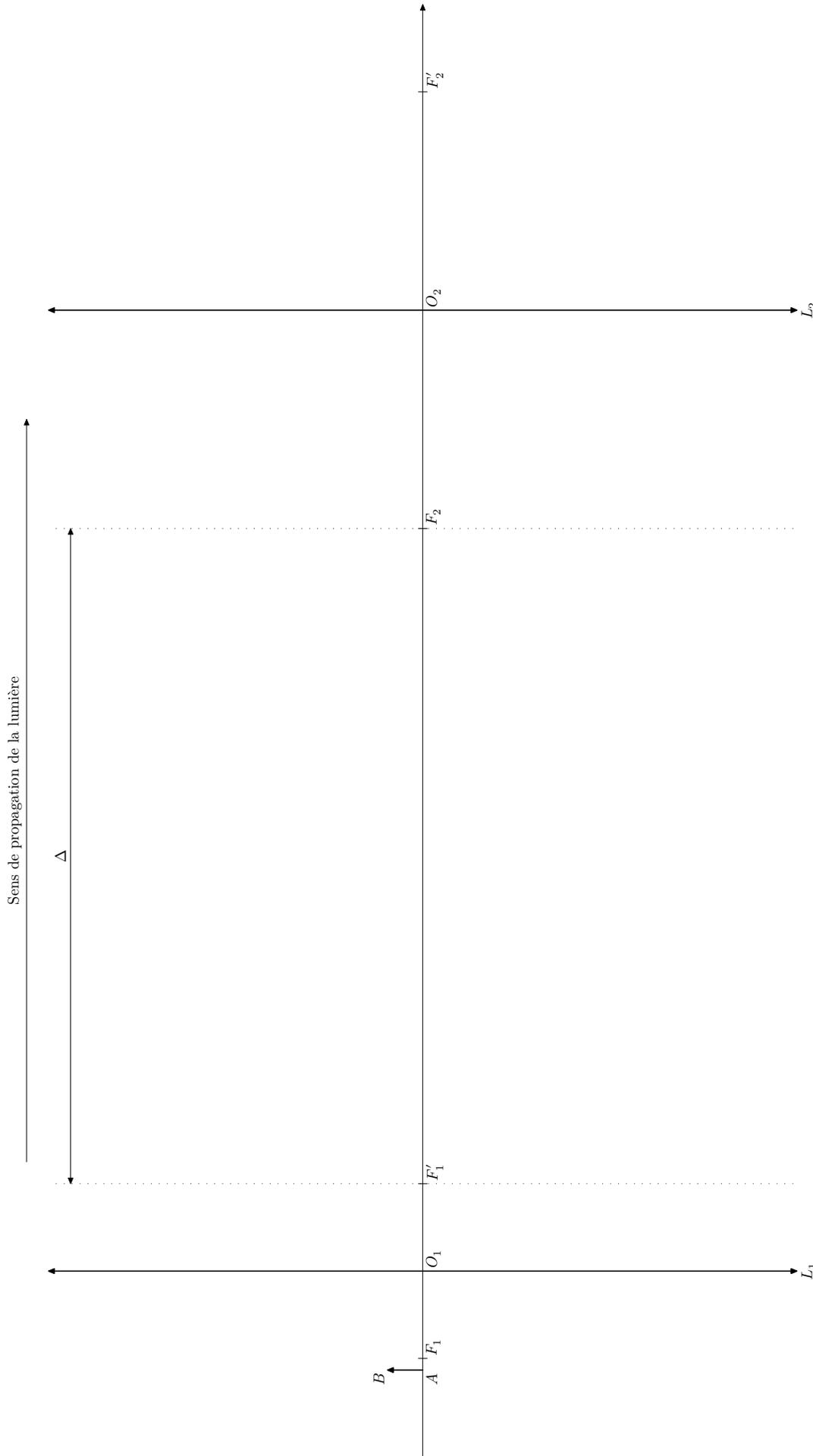


Figure A Schéma optique du microscope