

## Physique A (4h)

*Les calculatrices ne sont pas autorisées  
ni les téléphones cellulaires*

\*\*\*

*Les applications numériques seront limitées à deux chiffres significatifs*

\*\*\*

*N.B. : Le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction. Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre. Les candidats doivent respecter les notations des énoncés et préciser, dans chaque cas, la numérotation de la question traitée. **Chaque partie devra être rédigée sur des copies séparées.***

\*\*\*

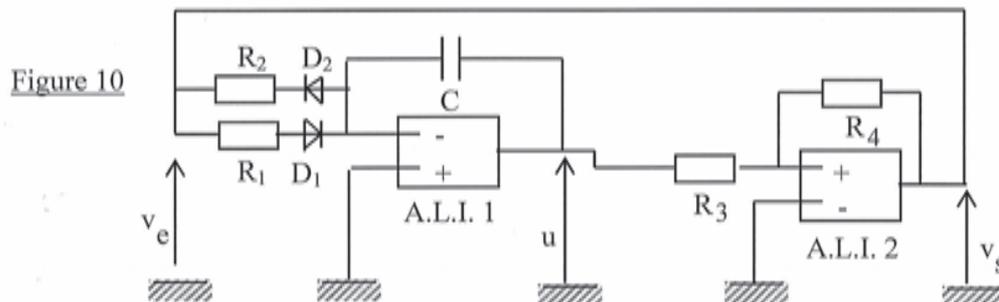
### Partie Alpha : Electronique analogique (50' environ)

Le microscope électronique nécessite un générateur de balayage qui commande le déflecteur électromagnétique, et qui sert également à synchroniser l'affichage de l'image sur un écran cathodique. Par ailleurs, on utilise souvent un capteur C.C.D. pour transformer un signal lumineux en signal électrique.

**Dans cette partie, aucune connaissance préalable sur les diodes ou photodiodes n'est nécessaire.**

#### C.1 Générateur de balayage

Le générateur de balayage délivre un signal en rampes. On propose le montage de la figure 10 suivante pour la réalisation de ce signal.



Les amplificateurs linéaires intégrés (A.L.I.) sont supposés idéaux. Ils sont alimentés par des tensions continues  $\pm V_0$  avec  $V_0=15\text{ V}$ , et on suppose que leur tension de saturation est :  $V_{\text{sat}}=V_0$ .

Les diodes  $D_1$  et  $D_2$  sont des interrupteurs commandés par la tension  $v_e$  :

Si  $v_e > 0$   $D_1$  est fermé et  $D_2$  est ouvert.

Si  $v_e < 0$   $D_1$  est ouvert et  $D_2$  est fermé.

**C.1.1** Que peut-on dire des courants d'entrée et du gain d'un A.L.I. idéal ?

**C.1.2** Justifier que l'un des deux A.L.I. fonctionne nécessairement en régime de saturation.

**C.1.3** On observe expérimentalement, pour la tension  $u(t)$ , l'oscillogramme de la figure 11 ci-contre.

Echelle horizontale : 1 ms/division  
Echelle verticale : 1 V/division

Justifier que l'autre A.L.I. fonctionne en régime linéaire.

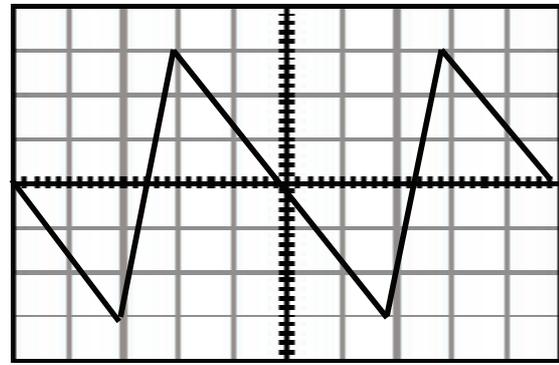


Figure 11

## C.2 Choix d'un filtre analogique pour préparer la conversion numérique d'un son Hi-Fi

**I.E** – On souhaite enregistrer un signal musical avec une haute fidélité. Le signal à échantillonner possède des harmoniques très élevées, qui risquent de nuire à la qualité de l'enregistrement. Avant la numérisation, le signal doit être filtré. Un document en annexe fournit les spécifications du LMF100, qui est un composant intégré. Il réalise différents types de filtrages, selon les branchements qu'on lui applique. Dans ce document, la grandeur  $s$  est égale à  $j\omega$  où  $\omega$  est la pulsation des signaux sinusoïdaux et  $j^2 = -1$ .

**I.E.1)** Quel type de filtre doit-on utiliser et pourquoi ? Préciser la bande de fréquences qu'il doit sélectionner.

**I.E.2)** Proposer une valeur de la fréquence d'échantillonnage adaptée à la situation.

**I.F** – Quatre essais ont été réalisés en laboratoire, à quatre fréquences différentes, avec un filtre d'ordre 2 réalisé avec le LMF100. Sur les quatre oscillogrammes relevés figure 5,  $s_2(t)$  désigne la tension de sortie du filtre et  $s_1(t)$  la tension d'entrée.

Déduire de ces quatre essais la nature du filtre testé, ainsi que ses caractéristiques : fréquence propre, fréquence de coupure, facteur de qualité. Expliciter clairement la démarche et commenter les résultats obtenus.

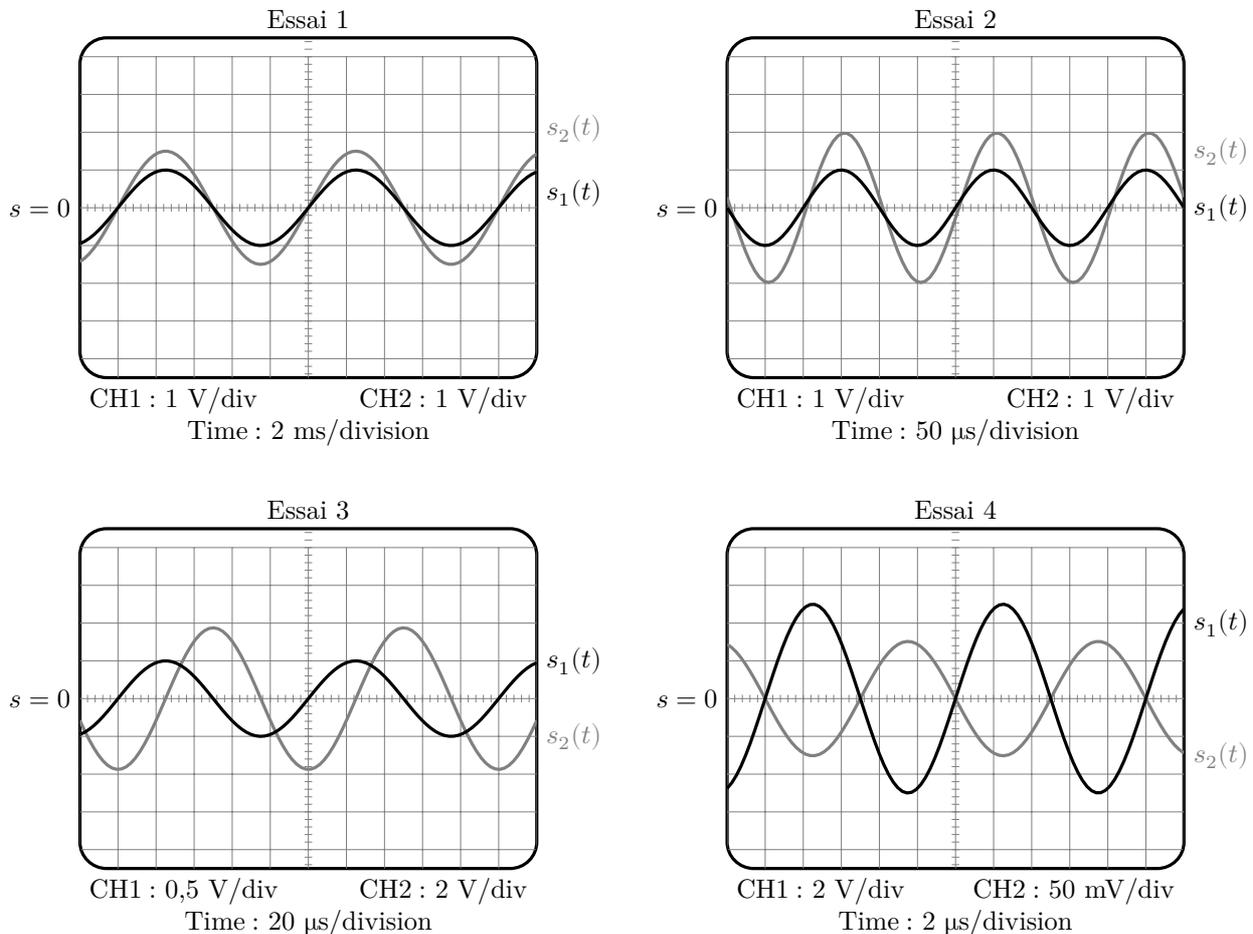


Figure 5

## IV Dissipation thermique dans les systèmes électroniques

Les microprocesseurs des ordinateurs actuels sont constitués de plus d'un million de transistors répartis sur une plaque de silicium de quelques  $\text{cm}^2$ . L'évacuation de la chaleur dégagée par le microprocesseur est indispensable pour le bon fonctionnement du composant.

**IV.A** – On étudie tout d'abord le transport thermique à travers un objet solide parallélépipédique, de dimensions  $a \times b \times \ell$  avec  $a \gg \ell$  et  $b \gg \ell$ , lorsque les faces repérées par les points  $O$  et  $A$  sont uniformément aux températures  $T_1$  et  $T_0$  respectivement (cf figure 9). L'objet est caractérisé par sa masse volumique  $\mu$ , sa capacité thermique massique  $c$  et sa conductivité thermique  $\lambda$ . L'origine de l'axe des  $x$  est prise en  $O$ .

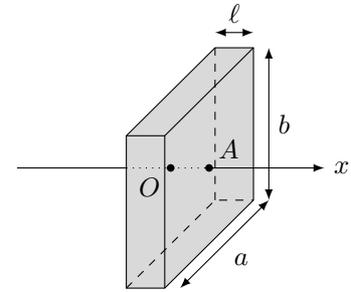


Figure 9

**IV.A.1)** Justifier qu'on puisse considérer que la température dans le solide est une fonction de  $x$  et  $t$  seulement.

**IV.A.2)** Établir l'équation de la diffusion thermique vérifiée par la température  $T(x, t)$  dans le solide considéré.

**IV.A.3)** Les températures  $T_0$  et  $T_1$  étant constantes, on étudie le régime stationnaire. Établir la loi d'évolution de la température dans le solide en fonction de  $x$ .

Exprimer la puissance thermique  $\Phi$  qui traverse le solide de  $O$  vers  $A$ .

**IV.A.4)** Montrer qu'on peut relier la différence de températures  $T_1 - T_0$  au flux  $\Phi$ , de façon analogue à la loi d'Ohm en électrocinétique, faire apparaître la résistance thermique  $R_{th}$  de l'objet parallélépipédique.

**IV.B** – Lorsqu'un solide est placé dans l'air dont la température est uniforme égale à  $T_a$ , l'échange thermique qui s'effectue à l'interface entre l'air et le solide est conducto-convectif. C'est à dire que dans une mince couche de fluide en surface du solide le gradient de température entraîne un mouvement de convection du fluide. Il en résulte une expression de la quantité de chaleur qui est transférée du solide vers l'air pendant  $dt$  à travers une surface de section  $dS = dy dz$  :

$$\delta Q_{cc} = h(T_0 - T_a) dy dz dt$$

où  $h$  est appelé coefficient de Newton, qui caractérise l'échange thermique entre le solide et le fluide et  $T_0$  est la température de surface du solide (cf. figure 10).

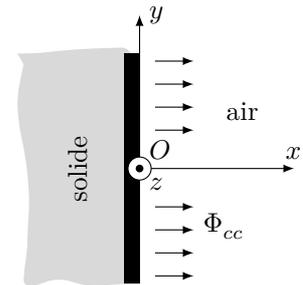


Figure 10

**IV.B.1)** Donner l'unité de  $h$  dans le système international d'unités.

Définir puis exprimer la résistance thermique  $R_h$  qui modélise l'échange thermique conducto-convectif pour une surface  $S$  de solide.

**IV.B.2)** Dans le cas d'une interface silicium/air,  $h_s = 30$  S.I. si l'air environnant est immobile et vaut  $h_c = 300$  S.I. si l'air environnant est brassé, par exemple grâce à un ventilateur.

On considère un parallélépipède de dimensions  $a \times b \times \ell = 40 \times 24 \times 1,5 \text{ mm}^3$ . Calculer les valeurs des résistances thermiques  $R_{th}$  dans le cas où l'objet est en cuivre puis en silicium, calculer aussi  $R_h$  l'air étant immobile, commenter. ( $\lambda_{cu} = 400 \text{ USI}$  et  $\lambda_{si} = 150 \text{ USI}$ )

**IV.C** – Dans le cas du microprocesseur dont la documentation est fournie en annexe, estimer la durée  $\Delta t$  au bout de laquelle celui-ci est détruit en l'absence de dispositif de refroidissement. ( $\frac{c\mu}{h} = 82 \text{ s}$ )

**IV.D** – Pour maintenir le microprocesseur à sa température de fonctionnement optimale  $\approx 70^\circ\text{C}$ , on utilise un radiateur sur lequel souffle l'air brassé par un ventilateur d'une part et un dispositif appelé caloduc d'autre part, qu'on se propose d'étudier.

Le caloduc est une enceinte métallique (elle est parfois en silicium) creuse, de volume constant, plate et longue, qui relie thermiquement le microprocesseur situé en  $M$  au radiateur situé en  $R$ . La plupart des ordinateurs portables en sont équipés. La figure 11 à gauche représente le caloduc vu de l'extérieur.

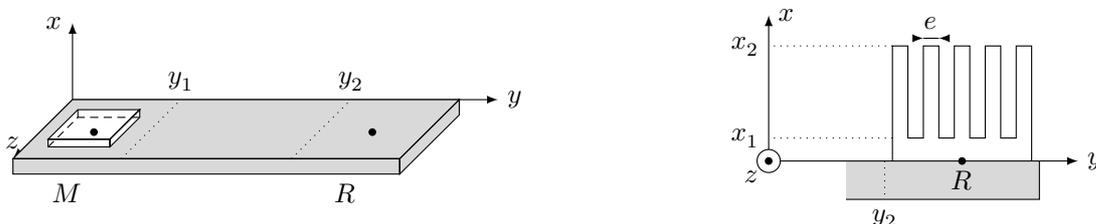


Figure 11

Dans un premier temps, on étudie le radiateur (cf **figure 11** à droite) qui est une pièce métallique qui présente une surface de contact avec l'air très importante, grâce à un grand nombre d'ailettes parallélépipédiques représentées en coupe sur la **figure 11**. La dimension des ailettes dans la direction  $\vec{e}_z$  est notée  $l_z$ ,  $e$  selon  $\vec{e}_y$  et  $H = x_2 - x_1$  selon  $\vec{e}_x$ .

Pour étudier l'évolution de la température dans les ailettes, on isole une ailette, que l'on assimile à un milieu unidimensionnel selon  $\vec{e}_x$ . La température est notée  $T(x)$ , elle est uniforme dans une section de l'ailette. Enfin, comme l'ailette est plongée dans l'air, qui est en permanence renouvelé grâce au ventilateur, on considère que l'air qui entoure l'ailette a une température  $T_a = 20^\circ\text{C}$ , et on se limite à l'étude du régime stationnaire.

On note  $T_R$  la température au niveau du socle du radiateur, on considère que c'est la température en  $T(x_1)$  sur chacune des ailettes.

**IV.D.1)** Après avoir fait un schéma correspondant à l'étude d'une ailette considérée isolément, effectuer un bilan d'énergie sur une tranche de longueur  $dx$  de l'ailette.

Déduire de l'équation précédente l'équation différentielle vérifiée par  $T(x)$  :

$$\frac{d^2T}{dx^2} - \frac{1}{\delta^2}(T(x) - T_a) = 0$$

où  $\delta$  est à exprimer en fonction de  $\lambda$ ,  $e$ ,  $l_z$  et  $h$ .

Résoudre cette équation en considérant que la longueur  $H$  de l'ailette est très grande, c'est à dire  $H \rightarrow \infty$ .

**IV.D.2)** Calculer la puissance thermique évacuée par le radiateur complet, constitué de 6 ailettes et donner la valeur de la résistance thermique équivalente au radiateur.

*(On n'effectuera pas l'application numérique de cette question)*

## Partie Gamma : Mécanique et induction (1h10' environ)

Un satellite artificiel de masse  $M = 10^3$  kg est en orbite circulaire de rayon  $R_T + h$  autour de la Terre, qu'on assimilera à une répartition à symétrie sphérique de rayon  $R_T$  et de masse  $M_T$ . On note  $\mathcal{G}$  la constante de la gravitation universelle. Le champ de gravitation au sol sera identifié au champ de pesanteur  $g_0$ . Dans cette partie, on considérera que le satellite évolue dans le vide.

- – **16.** Exprimer, en fonction de  $M$ ,  $g_0$ ,  $R_T$  et  $h$ , l'énergie potentielle de gravitation  $E_p$  du satellite. On prendra l'origine des énergies potentielles si  $h \rightarrow \infty$ .
- – **17.** Exprimer, en fonction de  $M$ ,  $g_0$ ,  $R_T$  et  $h$ , la norme  $v$  de la vitesse et l'énergie mécanique totale  $E$  du satellite.

Le satellite est en orbite à l'altitude  $h_1 = 1\,000$  km au-dessus de la surface du sol. On souhaite l'amener progressivement à l'altitude beaucoup plus basse  $h_0 = 200$  km, altitude en dessous de laquelle l'influence de l'atmosphère deviendra suffisante pour espérer que les frottements de l'air le feront retomber au sol. Quel que soit le système utilisé pour abaisser l'altitude de  $h_1$  à  $h_0$ , on considérera une évolution assez lente pour conserver en permanence le caractère quasi-circulaire de l'orbite, donc aussi les relations  $v(r)$  et  $E(r)$  établies à la question précédente.

- – **18.** Comparer les vitesses  $v_1 = \|\vec{v}_1\|$  et  $v_0 = \|\vec{v}_0\|$  avant et après la descente.  
Estimer leurs valeurs numériques ainsi que celle de  $\Delta v = v_1 - v_0$ .
- – **19.** Cette descente est souvent obtenue au moyen d'un système de fusées qui exerce sur le satellite une force constante  $M\vec{a}_{\text{fr}}$ , pratiquement tangente à chaque instant à la trajectoire circulaire. Représenter sur un même schéma le vecteur vitesse du satellite et  $\vec{a}_{\text{fr}}$  pendant la descente.
- – **20.** Avec  $a_{\text{fr}} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ , estimer, au moyen d'un bilan énergétique simplifié, la durée (en mois) nécessaire à la descente de  $h_1$  jusqu'à  $h_0$ .

Toujours sur son orbite quasi-circulaire, à partir l'instant  $t = 0$ , le satellite est abandonné à partir de l'altitude  $h_0 = 200$  km aux frottements de l'atmosphère, qu'on modélise par la force  $\vec{F}$  dépendant de la masse volumique  $\rho(h)$  à l'altitude  $h$  :

$$\vec{F} = -K \rho(h) \|\vec{v}\| \vec{v} \text{ avec } \rho(h) = \rho_0 \exp\left(-\frac{h}{H}\right)$$

où  $H = 11$  km et  $K$  est une certaine constante.

- – 27. Expliciter la puissance dissipée par les forces de frottement. En déduire l'équation d'évolution de l'altitude  $h(t)$  en fonction du temps et montrer que sa solution approchée respecte l'équation suivante :

$$\exp\left(\frac{h_0}{H}\right) - \exp\left(\frac{h(t)}{H}\right) = \frac{t}{\tau}$$

sous réserve de considérer que  $h \ll R_T$  ; expliciter la constante de temps  $\tau$  en fonction de  $\rho_0$ ,  $M$ ,  $K$ ,  $g_0$ ,  $R_T$  et  $H$ .

- – 28. Sachant que  $\tau = 7 \cdot 10^{-2}$  s, estimer, en mois, la durée de la chute jusqu'au sol.  
 □ – 29. La station spatiale internationale (ISS) est en orbite circulaire à une altitude  $h_{\text{ISS}} \simeq 400$  km. Que dire de sa durée de chute dans le même modèle ?

La technique décrite ci-dessus pour provoquer la chute d'un satellite consiste donc d'abord à amener en orbite les réacteurs à propulsion nécessaires à la première phase de descente ; en pratique, la quantité de matière requise à cet effet est de l'ordre de 20% de la masse du satellite à freiner. Pour éviter cette nouvelle mise en orbite, des solutions basées sur le freinage inductif, utilisant le champ magnétique terrestre, ont été proposées notamment par Forward, Hoyt et Uphoff (*Journal of Spacecraft and Rockets*, 2000).

Le champ magnétique terrestre est faible et on ne peut espérer que des forces de freinage modestes mais, cumulées sur plusieurs mois de chute, elles suffisent à une descente contrôlée d'un satellite jusqu'à ce que les frottements atmosphériques prennent le relais. On propose donc à cet effet d'équiper un satellite, lui-même en orbite dans le plan équatorial ( $Oxy$ ) de la Terre, d'un long câble en aluminium de longueur  $\ell$  représenté sur la figure 6. Ce câble est rectiligne le long de l'axe ( $Ox$ ) et il y circule un courant  $I > 0$  descendant, induit par le mouvement de l'ensemble dans le champ magnétique terrestre. Ce courant revient par conduction au sein du plasma ionosphérique qui entoure le câble ; à cet effet l'extrémité basse du câble serait munie d'un émetteur d'ions  $\mathcal{E}$ , que nous n'étudierons pas ici.

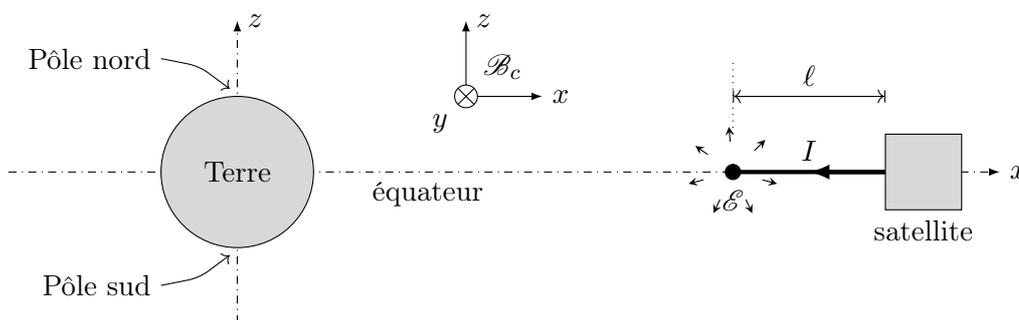


FIGURE 6 – Géométrie du câble de freinage d'un satellite dans le plan équatorial

On note  $\vec{B}_0$  le champ magnétique créé par le dipôle magnétique terrestre. À un instant  $t$  fixé, on peut se placer dans les coordonnées cartésiennes de la base  $\mathcal{B}_c = (\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$  précisée sur la figure 6.

- – 30. Au voisinage du câble et en le supposant uniforme, exprimer  $\vec{B}_0$  en projection sur  $\mathcal{B}_c$ . On justifiera la direction et le sens choisis et on exprimera la norme  $B_0$  de ce champ en fonction de  $B_e$  (champ magnétique terrestre à l'équateur), du rayon  $R_T$  de la Terre et de l'altitude  $h$  du satellite. Dans ce qui suit, on prendra  $B_0 = 20 \mu\text{T}$ .
- – 31. Exprimer, en fonction de  $g_0$ ,  $R_T$  et  $h$ , la norme  $v_0$  de la vitesse  $\vec{v}$  du satellite sur son orbite circulaire à l'altitude  $h$ . En considérant que  $I > 0$  (voir figure 6), exprimer  $\vec{v}$  en projection sur  $\mathcal{B}_c$ . Dans ce qui suit, on prendra  $v_0 = 7,4 \text{ km/s}$ .
- – 32. Le câble de freinage est en aluminium de section  $s = 10^{-6} \text{ m}^2$  et de longueur  $\ell = 5 \text{ km}$ . Calculer les valeurs de sa résistance électrique  $R_0$  et de sa masse  $m_0$ ; commenter ces valeurs.

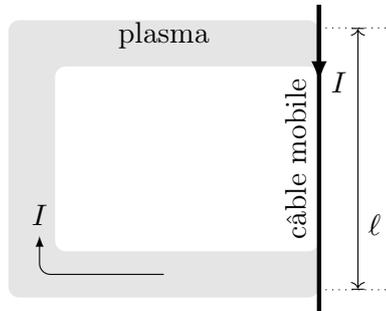


FIGURE 7 – Circuit ionosphérique (ni la vitesse du câble, ni le champ magnétique dans lequel il se déplace ne sont représentés).

- – 33. Pour déterminer la force électro-motrice  $e$  induite par le déplacement du câble fixé au satellite en présence du seul champ magnétique terrestre, on imagine (figure 7) qu'il est la seule partie mobile d'un circuit fermé par la circulation dans le plasma ionosphérique. Appliquer la loi de l'induction de Faraday au circuit ainsi formé; en déduire l'expression puis la valeur numérique de  $e$ .
- – 34. Déduire de ce qui précède les expressions et valeurs numériques de l'intensité  $I$  du courant induit et de la force de freinage  $f$  exercée sur le câble. Commenter cette dernière valeur.

## Données numériques et formulaire

Conductivité électrique de l'aluminium	$\gamma_{\text{Al}} = 3,7 \cdot 10^7 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$
Conductivité électrique de l'acier	$\gamma_a = 7,7 \cdot 10^6 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$
Dipôle magnétique terrestre	$\mu_T = 7,7 \cdot 10^{22} \text{ A}\cdot\text{m}^2$
Durée d'un mois (moyen)	$30 \text{ j} = 2,6 \cdot 10^6 \text{ s}$
Durée d'une année	$365 \text{ j} = 3,2 \cdot 10^7 \text{ s}$
Intensité du champ magnétique terrestre aux pôles	$B_p = 60 \mu\text{T}$
Intensité du champ magnétique terrestre à l'équateur	$B_e = 30 \mu\text{T}$
Masse volumique de l'aluminium	$\rho_{\text{Al}} = 2,7 \cdot 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Perméabilité magnétique du vide	$\mu_0 = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ H}\cdot\text{m}^{-1}$
Rayon terrestre	$R_T = 6\,400 \text{ km}$
Viscosité dynamique de l'air	$\eta = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$
Facteurs de conversion	$0^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$
	$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$

Champ magnétique créé par un dipôle magnétique placé à l'origine des coordonnées, de moment dipolaire  $\vec{\mu} = \mu \vec{e}_z$ , en un point de coordonnées sphériques  $r, \theta, \varphi$  :

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi r^3} [2 \cos \theta \vec{e}_r + \sin \theta \vec{e}_\theta]$$

$$\ln(10) = 2,3 \quad \sqrt{60} = 7,7 \quad \sqrt{63} = 7,9 \quad \exp(18,18 \dots) = 7,9 \cdot 10^7$$

## Partie Delta : Optique ondulatoire : Interférométrie (40' environ)

Les lentilles sphériques minces, considérées dans cette partie et notées  $(L_i)$ , sont utilisées dans le cadre de l'approximation de Gauss. Chaque lentille  $(L_i)$  est caractérisée par son centre optique  $O_i$  et par sa distance focale image  $f_i'$ . Les foyers objet et image sont notés respectivement  $F_i$  et  $F_i'$ .

Dans tout le problème, les phénomènes de diffraction sont négligés. Les différents montages optiques sont envisagés dans le vide.

Le dispositif interférentiel étudié est de type « bilentilles de Billet ».

### I. Image d'une source quasi-ponctuelle

Une source quasi-ponctuelle  $S$  est placée au foyer objet  $F_1$  d'une lentille mince convergente  $(L_1)$ , d'axe optique  $x'x$ . Cette source émet une radiation monochromatique de longueur d'onde  $\lambda_0$ . En arrière de  $(L_1)$  et à quelques centimètres de celle-ci, est disposée une seconde lentille convergente  $(L_2)$ , de même axe optique  $x'x$  et de distance focale  $f_2'$ .

1. Situer l'image  $S_1$  de  $S$  à travers la première lentille  $(L_1)$ .
2. Même question pour l'image  $S'$  de  $S$  à travers l'ensemble  $\{(L_1), (L_2)\}$ .
3. Présenter une construction géométrique de l'image  $S'$ .

### II. Sciage de la lentille $(L_2)$

La lentille  $(L_2)$  est « sciée » en deux parties égales notées  $(A)$  et  $(B)$ , suivant un plan contenant l'axe optique  $x'x$ . En conservant le bord mince de ces deux demi-lentilles dans un même plan orthogonal à l'axe  $x'x$ , celles-ci sont écartées l'une de l'autre, symétriquement par rapport à  $x'x$ , d'une distance  $\varepsilon$ . L'intervalle entre les deux demi-lentilles est obturé par un cache opaque. Le plan contenant  $x'x$  et orthogonal au plan de représentation est le plan de symétrie du système optique (figure C.1).

1. Proposer une construction géométrique des deux images  $S'_A$  et  $S'_B$  de l'objet  $S_1$ , données respectivement par les demi-lentilles  $(A)$  et  $(B)$ .
2. Exprimer, en fonction de  $\varepsilon$ , la distance  $\ell = S'_A S'_B$ .

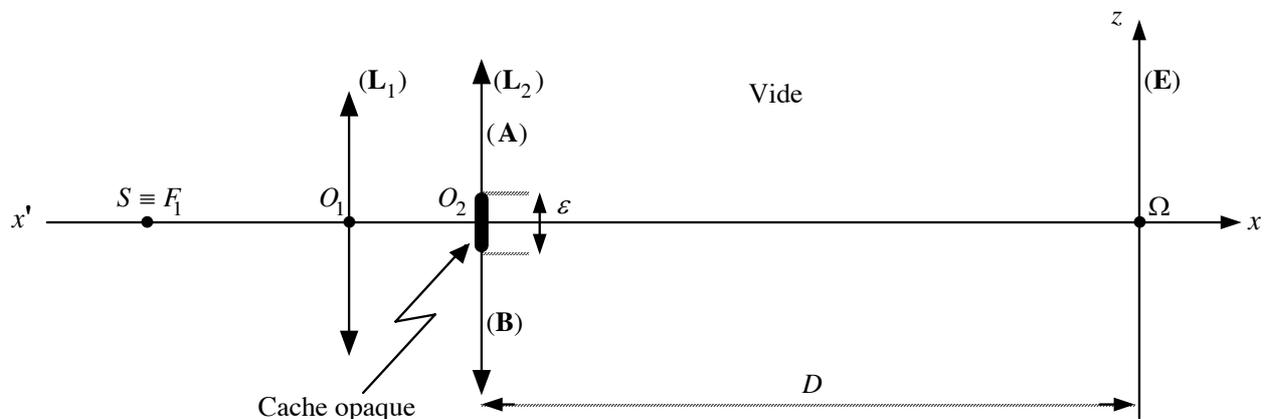


Figure C.1

### III. Interférences lumineuses

Les images  $S'_A$  et  $S'_B$  sont deux sources quasi-ponctuelles cohérentes d'un dispositif interférométrique. Le plan d'observation du champ d'interférences est un écran ( $\mathbf{E}$ ) perpendiculaire (plan de front) à l'axe optique  $x'x$  en  $\Omega$  et situé à la distance  $D$  de ( $\mathbf{L}_2$ ). L'écran ( $\mathbf{E}$ ) est muni d'un repère cartésien d'axes  $\Omega y$  et  $\Omega z$ , avec  $\Omega z$  parallèle au segment joignant  $S'_A$  et  $S'_B$ . Le rayon de la monture des lentilles ( $\mathbf{L}_1$ ) et ( $\mathbf{L}_2$ ) est supposé suffisamment grand pour ne pas intervenir dans l'étendue du champ d'interférences.

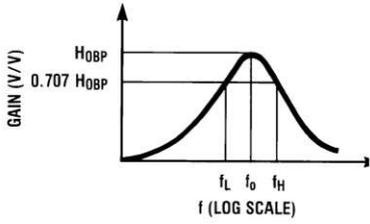
1. Préciser, sur le dessin (§ C.II.1), la zone (ou domaine) d'interférences.
2. Déterminer, en fonction de  $\varepsilon$ , la largeur  $\Delta z$  (positive) du champ d'interférences dans le plan  $y\Omega z$ .
3. Si  $M$ , de coordonnées  $(0, y, z)$ , est un point de ce champ, exprimer, en fonction de  $\varepsilon, D, f_2'$  et  $z$ , la différence de marche  $\delta(M) = \delta(z)$  entre deux rayons qui interfèrent au point  $M$ , sur le plan ( $\mathbf{E}$ ).
4. Exprimer, en fonction de  $\varepsilon, D, f_2'$  et  $\lambda_0$ , l'interfrange  $i$ .
5. *Application numérique :*  
 $\lambda_0 = 0,5893 \mu\text{m}$  ;  $f_2' = + 2,50 \times 10^{-1} \text{ m}$  ;  $\varepsilon = 2,00 \times 10^{-3} \text{ m}$  ;  $D = 1,00 \text{ m}$ .
  - a) Calculer l'interfrange  $i$ .
  - b) En déduire le nombre  $N$  de franges brillantes visibles.
  - c) ( $\mathbf{E}$ ) est un écran, translucide et fin, derrière lequel un observateur peut étudier le champ d'interférences, supposé peu déformé. L'œil, réduit à un point  $C$  pour simplifier, est placé sur l'axe  $x'x$ , à une distance  $d = \overline{\Omega C} > 0$  de l'écran. Cet œil peut séparer deux points dont la distance angulaire est supérieure à  $\alpha_{\min} = 5,00 \times 10^{-4} \text{ rad}$  ( $\alpha$  est l'angle sous lequel l'œil observe, depuis  $C$ , les deux points). Calculer la valeur maximale  $d_{\max} = \overline{\Omega C}_{\max}$  au-delà de laquelle l'œil, placé en  $C$ , ne parvient plus à distinguer deux points de l'écran, proches de  $\Omega$  et séparés d'une interfrange  $i$ .
6. La lumière émise par la source est en réalité un doublet comprenant les deux longueurs d'onde  $\lambda_1 = 0,5890 \mu\text{m}$  et  $\lambda_2 = 0,5896 \mu\text{m}$ .
  - a) Au bout de combien d'interfranges, comptées à partir de l'origine  $\Omega$ , les deux systèmes d'interférences devraient-ils se brouiller, c'est-à-dire lorsqu'une première coïncidence, entre une frange sombre d'un système et une frange claire de l'autre, se produit ?
  - b) Ce phénomène est-il observable avec le dispositif interférométrique utilisé dans ce problème ?

**Fin de l'énoncé**

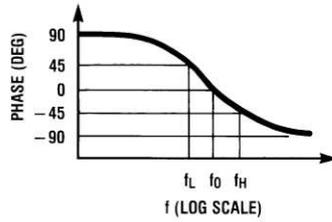
# Annexe

## Filtres réalisables avec le LMF100

$$H_{BP}(s) = \frac{H_{OBP} \frac{\omega_0}{Q} s}{s^2 + \frac{s\omega_0}{Q} + \omega_0^2}$$



(a)



(b)

$$Q = \frac{f_0}{f_H - f_L}; f_0 = \sqrt{f_L f_H}$$

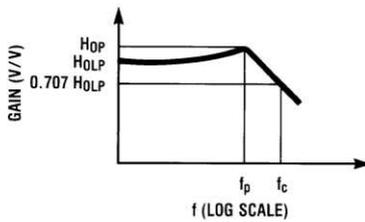
$$f_L = f_0 \left( \frac{-1}{2Q} + \sqrt{\left(\frac{1}{2Q}\right)^2 + 1} \right)$$

$$f_H = f_0 \left( \frac{1}{2Q} + \sqrt{\left(\frac{1}{2Q}\right)^2 + 1} \right)$$

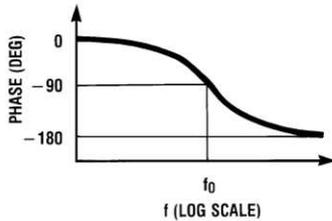
$$\omega_0 = 2\pi f_0$$

FIGURE 1. 2nd-Order Bandpass Response

$$H_{LP}(s) = \frac{H_{OLP} \omega_0^2}{s^2 + \frac{s\omega_0}{Q} + \omega_0^2}$$



(a)



(b)

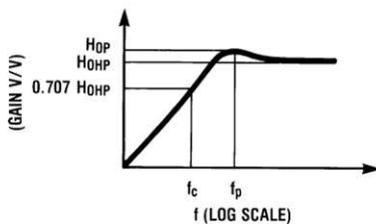
$$f_c = f_0 \times \sqrt{\left(1 - \frac{1}{2Q^2}\right) + \sqrt{\left(1 - \frac{1}{2Q^2}\right)^2 + 1}}$$

$$f_p = f_0 \sqrt{1 - \frac{1}{2Q^2}}$$

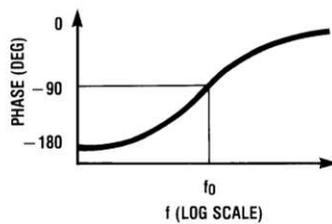
$$H_{OP} = H_{OLP} \times \frac{1}{\frac{1}{Q} \sqrt{1 - \frac{1}{4Q^2}}}$$

FIGURE 2. 2nd-Order Low-Pass Response

$$H_{HP}(s) = \frac{H_{OHP} s^2}{s^2 + \frac{s\omega_0}{Q} + \omega_0^2}$$



(b)



$$f_c = f_0 \times \left[ \sqrt{\left(1 - \frac{1}{2Q^2}\right) + \sqrt{\left(1 - \frac{1}{2Q^2}\right)^2 + 1}} \right]^{-1}$$

$$f_p = f_0 \times \left[ \sqrt{1 - \frac{1}{2Q^2}} \right]^{-1}$$

$$H_{OP} = H_{OHP} \times \frac{1}{\frac{1}{Q} \sqrt{1 - \frac{1}{4Q^2}}}$$

FIGURE 3. 2nd-Order High-Pass Response

## Spécification du microprocesseur i7-4500U

Instruction Set	64-bit
Instruction Set Extensions	SSE 4.1/4.2, AVX 2.0
Lithography	22 nm
Max TDP	15 W
Max CPU Configuration	1
T <sub>JUNCTION</sub>	100°C
Package Size	40mm x 24mm x 1.5mm