

## CONCOURS DE RECRUTEMENT D'ÉLÈVES PILOTE DE LIGNE

### ÉPREUVE DE PHYSIQUE

L'épreuve de physique de ce concours est un questionnaire à choix multiple qui sera corrigé informatiquement.

- 1) Pour remplir ce QCM, vous devez utiliser un stylo à bille ou feutre, à encre foncée : bleue ou noire. Vous devez **cocher** lisiblement la case en vue de la lecture informatisée de votre QCM.
- 2) Votre QCM ne doit pas être souillé, froissé, plié, écorné ou porter des inscriptions superflues, sous peine d'être rejeté informatiquement et de ne pas être corrigé.
- 3) Si vous voulez **modifier** votre réponse, **n'utilisez pas de correcteur** mais indiquez la nouvelle réponse sur la 2<sup>ème</sup> ligne.
- 4) Si vous voulez **annuler** votre réponse, vous devez cocher la case « Ann ». Dans ce cas-là, aucune réponse ne sera prise en compte.
- 5) Cette épreuve comporte **18** questions, certaines, de numéros consécutifs, sont liées. La liste des questions est donnée au début du texte du sujet.  
**Chaque candidat devra choisir au plus 12 questions parmi les 18 proposées.**

Il est inutile de répondre à plus de 24 questions : le logiciel de correction lira les réponses en séquence en partant de la ligne 1, et s'arrêtera de lire lorsqu'il aura détecté des réponses à 24 questions, quelle que soit la valeur de ces réponses.

**Chaque question comporte au plus deux réponses exactes.**

- 6) A chaque question numérotée entre 1 et 36, correspond sur la feuille-réponses une ligne de cases qui porte le même numéro (les lignes de 37 à 80 sont neutralisées).  
Chaque ligne comporte 5 cases A, B, C, D, E.

Pour chaque ligne numérotée de 1 à 36, vous vous trouvez en face de 4 possibilités :

- ▶ soit vous décidez de ne pas traiter cette question, **la ligne correspondante doit rester vierge.**
- ▶ soit vous jugez que la question comporte une seule bonne réponse, **vous devez cocher l'une des cases A, B, C, D.**  
Ex : si vous pensez que la bonne réponse est B vous cochez la case B.

- ▶ soit vous jugez que la question comporte deux réponses exactes, **vous devez cocher deux des cases A, B, C, D et deux seulement.**  
Ex : si vous pensez que la bonne réponse est A et C vous cochez les cases A et C

- ▶ soit vous jugez qu'aucune des réponses proposées A, B, C, D n'est bonne, **vous devez alors cocher la case E.**

**En cas de réponse fautive, aucune pénalité ne sera appliquée.**

Cette épreuve comporte :

- 1 page de garde (recto),
  - 2 pages de consignes (recto-verso),
  - 1 page d'avertissement (recto),
  - 8 pages de texte (recto-verso).
- Numérotée de 1 à 12

**TOUT DISPOSITIF ÉLECTRONIQUE EST INTERDIT  
(EN PARTICULIER L'USAGE DE LA CALCULATRICE)**

7) EXEMPLES DE RÉPONSES

Exemple I : Question 1 :

Pour une mole de gaz réel :

- A)  $\lim_{p \rightarrow 0} (PV) = RT$ , quelle que soit la nature du gaz.
- B)  $PV = RT$  quelles que soient les conditions de pression et température.
- C) Le rapport des chaleurs massiques dépend de l'atomicité.
- D) L'énergie interne ne dépend que de la température.

Exemple II : Question 2 :

Pour un conducteur ohmique de conductivité électrique  $\sigma$ , la forme locale de la loi d'OHM est :

- A)  $j = E/\sigma$
- B)  $j = \sigma E$
- C)  $E = \sigma^2 j$
- D)  $j = \sigma^2 E$

Exemple III : Question 3 :

- A) Le travail lors d'un cycle monotherme peut être négatif.
- B) Une pompe à chaleur prélève de la chaleur à une source chaude et en restitue à la source froide.
- C) Le rendement du cycle de CARNOT est  $1 + \frac{T_1}{T_2}$ .
- D) Le phénomène de diffusion moléculaire est un phénomène réversible.

**Vous marquez sur la feuille réponse :**

1 -  A  B  C  D  E

2 -  A  B  C  D  E

3 -  A  B  C  D  E

**AVERTISSEMENTS**

Dans certaines questions, les candidats doivent choisir entre plusieurs valeurs numériques. Nous attirons leur attention sur les points suivants :

- 1 - Les résultats sont arrondis en respectant les règles habituelles ; il est prudent d'éviter des arrondis trop imprécis sur les résultats intermédiaires.
- 2 - Les valeurs fausses proposées diffèrent suffisamment de la valeur exacte pour que d'éventuels écarts d'arrondi n'entraînent aucune ambiguïté sur la réponse.

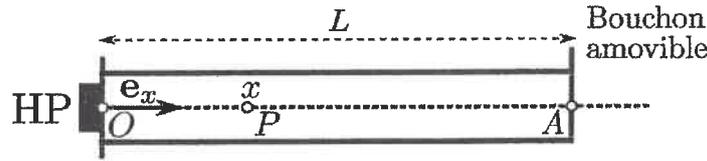
*Les notations utilisées sont celles en vigueur au niveau international. Ainsi, conformément à ces recommandations internationales, les vecteurs sont représentés en caractères gras et le produit vectoriel est symbolisé par  $\times$ . Les unités utilisées sont, sauf mention contraire explicite, celles du Système International (SI).*

**QUESTIONS LIÉES**

*Ondes Dynamiques [1, 2, 3, 4, 5, 6]  
Force et énergie [7, 8, 9, 10, 11, 12]  
potentielle [13, 14, 15, 16, 17, 18]  
électrostatique*

## Ondes

L'air contenu dans un tuyau cylindrique, de longueur  $L = OA = 2 \text{ m}$ , est excité par un haut-parleur (HP) émettant des ondes acoustiques sinusoïdales de fréquence  $f$ . Un bouchon situé en  $A$  ferme l'extrémité droite du tuyau. On note  $\Psi_f(x, t)$  la fonction d'onde de l'onde acoustique dans le tuyau,  $x$  étant l'abscisse d'un point  $P$  situé à l'intérieur du tube sur l'axe  $(O, e_x)$  et  $t$ , le temps. La vitesse du son dans le tuyau vaut  $c_s = 340 \text{ m.s}^{-1}$  (Fig. ci-après).



Aucune connaissance spécifique sur les ondes acoustiques n'est nécessaire pour aborder cette partie.

On observe que les ondes dans le tuyau se superposent pour former une onde stationnaire d'amplitude  $\psi_m$ . En présence du bouchon, elle vérifie les conditions aux limites, ainsi que la condition initiale suivantes :

$$\Psi_f(0, t) = 0 \quad , \quad \Psi_f(L, t) = 0 \quad \text{et} \quad \Psi_f(x, 0) = 0$$

1. En introduisant une constante spatiale et temporelle  $k_f$ , indiquer l'expression correcte de cette onde stationnaire :

A)  $\Psi_f(x, t) = \psi_m \sin(2\pi ft - k_f x)$                       C)  $\Psi_f(x, t) = \psi_m \sin(2\pi ft) \sin(k_f x)$   
 B)  $\Psi_f(x, t) = \psi_m \cos(2\pi ft) \sin(k_f x)$                       D)  $\Psi_f(x, t) = \psi_m \cos(2\pi ft) \cos(k_f x)$

2. Calculer numériquement la fréquence  $f_{1,f}$  de l'harmonique fondamentale.

A)  $f_{1,f} \approx 6 \text{ mHz}$                       B)  $f_{1,f} \approx 12 \text{ mHz}$                       C)  $f_{1,f} = 42,5 \text{ Hz}$                       D)  $f_{1,f} = 85 \text{ Hz}$

3. En introduisant l'entier  $n > 0$ , déterminer l'expression des longueurs d'ondes  $\lambda_n$  des ondes stationnaires qui peuvent exister dans le tuyau :

A)  $\lambda_n = \frac{L}{n}$                       B)  $\lambda_n = \frac{2L}{n}$                       C)  $\lambda_n = nL$                       D)  $\lambda_n = 2nL$

4. Le bouchon est désormais retiré. On observe alors une nouvelle onde stationnaire dans le tuyau, notée  $\Psi_o(x, t)$ , de même amplitude  $\psi_m$ . L'ouverture du tuyau modifie les conditions aux limites, la condition initiale restant la même :

$$\Psi_o(0, t) = 0 \quad , \quad \Psi_o(L, t) = \psi_m \quad \text{et} \quad \Psi_o(x, 0) = 0$$

En introduisant une nouvelle constante spatiale et temporelle  $k_o$ , déterminer l'expression de  $\Psi_o(x, t)$  :

A)  $\Psi_o(x, t) = \psi_m \sin(2\pi ft + k_o x)$                       C)  $\Psi_o(x, t) = \psi_m \sin(2\pi ft) \sin(k_o x)$   
 B)  $\Psi_o(x, t) = \psi_m \cos(2\pi ft) \sin(k_o x)$                       D)  $\Psi_o(x, t) = \psi_m \sin(2\pi ft) \cos(k_o x)$

5. Calculer numériquement la fréquence  $f_{1,o}$  de l'harmonique fondamentale.

A)  $f_{1,o} \approx 6 \text{ mHz}$                       B)  $f_{1,o} \approx 12 \text{ mHz}$                       C)  $f_{1,o} = 42,5 \text{ Hz}$                       D)  $f_{1,o} = 85 \text{ Hz}$

6. En introduisant l'entier  $m > 0$ , déterminer l'expression des longueurs d'ondes  $\lambda_m$  des ondes stationnaires qui peuvent exister dans le tuyau :

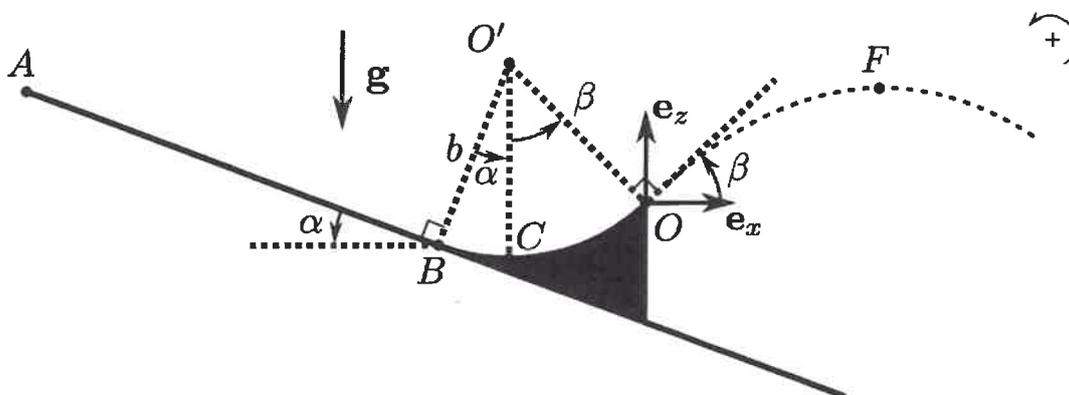
A)  $\lambda_m = \frac{L}{2m}$                       B)  $\lambda_m = \frac{L}{m}$                       C)  $\lambda_m = \frac{L}{m/2 + 1/4}$                       D)  $\lambda_m = \frac{L}{m + 1/2}$



## Dynamique

Un tremplin de saut en ski est constitué par l'association d'une portion rectiligne  $L = AB = 40$  m de piste inclinée d'un angle  $\alpha = 30^\circ$  par rapport à l'horizontale, suivie par une portion circulaire  $\widehat{BO}$  de centre  $O'$  et de rayon  $b = 20$  m. La tangente en  $O$  à la piste circulaire forme un angle  $\beta = 45^\circ$  avec l'horizontale (Fig. ci-après).

Le point  $C$  sur la piste circulaire est situé au-dessous et à la verticale de  $O'$ . On munit le référentiel du laboratoire d'un repère  $(O, \mathbf{e}_x, \mathbf{e}_z)$ ,  $\mathbf{e}_z$  étant un vecteur unitaire orienté dans la direction et dans le sens de la verticale ascendante. On note  $(x_A, z_A)$ ,  $(x_B, z_B)$  et  $(x_C, z_C)$ , respectivement les coordonnées cartésiennes des points  $A$ ,  $B$  et  $C$ . On étudie le mouvement d'un skieur, initialement immobile en  $A$ , en l'assimilant à un corpuscule (ou « point matériel »)  $S$  de masse  $m = 80$  kg, de coordonnées cartésiennes  $(x, z)$ . On désigne par  $\mathbf{g} = -g\mathbf{e}_z$  le vecteur champ de pesanteur et  $g \approx 10 \text{ m.s}^{-2}$  son intensité. On néglige tout frottement.



7. Exprimer puis calculer numériquement la vitesse  $v_B$  du skieur en  $B$ .
 

|                               |                                    |                                |                                      |
|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| A) $v_B = (\sqrt{3}gL)^{1/2}$ | B) $v_B = (2gL \sin \alpha)^{1/2}$ | C) $v_B = 20 \text{ m.s}^{-1}$ | D) $v_B \approx 25 \text{ m.s}^{-1}$ |
|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
  
8. On note  $\mathbf{a}_C$  le vecteur accélération du skieur au point  $C$ . Que peut-on affirmer :
 

|                                |  |  |   |
|--------------------------------|--|--|---|
| A) $\mathbf{a}_C = \mathbf{0}$ | B) $\mathbf{a}_C \cdot \mathbf{e}_x = 0$ | C) $\mathbf{a}_C \cdot \mathbf{e}_z = 0$ | D) $\ \mathbf{a}_C\  = \frac{v_C^2}{b}$ |
|--------------------------------|--|--|---|
  
9. On choisit l'origine de l'énergie potentielle de pesanteur en  $O$ . Exprimer l'énergie potentielle de pesanteur  $\mathcal{E}_p(B)$  en  $B$  du skieur :
 

|   |   |
|---|---|
| A) $\mathcal{E}_p(B) = mgb(\sin \beta - \sin \alpha)$ | C) $\mathcal{E}_p(B) = mgb(\sin \beta - \cos \alpha)$ |
| B) $\mathcal{E}_p(B) = mgb(\cos \beta + \cos \alpha)$ | D) $\mathcal{E}_p(B) = mgb(\cos \beta - \cos \alpha)$ |
  
10. Que dire de la norme du vecteur vitesse,  $v_O$ , du skieur en  $O$  ?
 

|  |  |
|--|--|
| A) $v_O = \left[ v_B^2 - 2 \frac{\mathcal{E}_p(B)}{m} \right]^{1/2}$ | C) $v_O = \left[ v_B^2 + 2 \frac{\mathcal{E}_p(B)}{m} \right]^{1/2}$ |
| B) $v_O = v_B$   | D) $v_O > v_B$   |
  
11. Le skieur quitte le tremplin en  $O$ . On note  $F$  le sommet de sa trajectoire (Fig. précédente). En tenant compte de la valeur numérique de  $\beta$ , quelle est l'altitude  $z_F$  de  $F$  ?
 

|                            |                             |                             |                             |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| A) $z_F = \frac{v_0^2}{g}$ | B) $z_F = \frac{v_0^2}{2g}$ | C) $z_F = \frac{v_0^2}{4g}$ | D) $z_F = \frac{2v_0^2}{g}$ |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
  
12. Un autre skieur, moins aguerri, se retrouve confiné au voisinage de  $C$  et oscille, d'avant en arrière, dans un mouvement de très faible amplitude. Quelle est la période  $T$  de ses oscillations ?
 

|   |  |                            |                        |
|---|--|----------------------------|------------------------|
| A) $T = \left( \frac{b}{g} \right)^{1/2}$ | B) $T = 2\pi \left( \frac{b}{g} \right)^{1/2}$ | C) $T \approx 9 \text{ s}$ | D) $T = 1,5 \text{ s}$ |
|---|--|----------------------------|------------------------|



On propose ici quelques considérations élémentaires d'électricité atmosphérique. La résolution de cet exercice ne requiert pas de connaissances particulières, hormis les notions de force et d'énergie électrostatiques exigées par le programme. Toutes les grandeurs électriques dont il est question dans cet exercice sont supposées indépendantes du temps. Les charges électriques, de valeurs constantes, sont considérées ponctuelles.

13. On assimile la Terre à une boule solide de rayon  $R_T \approx 6\,000$  km et de centre  $T$ . On suppose qu'elle porte une charge électrique  $Q \approx -500$  kC ponctuelle, localisée en  $T$ . On s'intéresse à la valeur  $E_T$ , au niveau du sol, du champ électrique dû à cette charge. Pour cela, on précise que, si une charge électrique  $q$  exerce une force électrostatique de valeur  $F_e$  sur une autre charge électrique  $q$ , alors cette dernière est soumise à un champ électrique de valeur  $E_e = F_e/|q|$ . Exprimer  $E_T$  puis calculer sa valeur. On donne  $1/(4\pi\epsilon_0) \approx 9 \times 10^9$  SI (SI = Système International des unités), où  $\epsilon_0$  est la permittivité diélectrique du vide.

A)  $E_T = \frac{|Q|}{4\pi\epsilon_0 R_T^2}$       B)  $E_T = \frac{|Q|}{4\pi\epsilon_0 R_T}$       C)  $E_T = 1 \text{ GV.m}^{-1}$       D)  $E_T = 125 \text{ V.m}^{-1}$

14. À l'instar du champ de pesanteur, le champ électrique au voisinage du sol peut-être considéré localement uniforme (sa valeur ne dépend pas de l'altitude), de direction verticale et orienté vers le bas (verticale descendante). Près du sol, l'atmosphère contient très majoritairement des ions de charge électrique  $q > 0$ . Quel est, dans le référentiel terrestre, le vecteur accélération  $\vec{a}$  d'un ion de masse  $m$ , dont le poids est négligeable, placé dans le champ électrique de valeur  $E_T$ ? Parmi les réponses proposées,  $\vec{e}_z$  est le vecteur unitaire orienté vers le haut (sens de la verticale ascendante).

A)  $\vec{a} = -\frac{qE_T}{m} \vec{e}_z$       B)  $\vec{a} = \frac{qE_T}{m} \vec{e}_z$       C)  $\vec{a} = \vec{0}$       D)  $\vec{a} = -\frac{mE_T}{q} \vec{e}_z$

15. Le mouvement vertical des ions positifs précédent définit un courant électrique. La valeur moyenne de ce courant est de  $2 \times 10^{-12}$  A par mètre carré de surface terrestre. En considérant la totalité de la surface terrestre, quel est l'ordre de grandeur de la durée  $\Delta t$  au bout de laquelle la charge positive transportée par ce courant est égale à  $|Q|$ ?

A)  $\Delta t \approx 10$  s      B)  $\Delta t \approx 10$  min      C)  $\Delta t \approx 100$  min      D)  $\Delta t \approx 10$  h

16. Les résultats précédents indiquent que la charge électrique de la Terre serait complètement neutralisée en peu de temps s'il n'existait pas un mécanisme de recharge. Ce sont les orages qui, en jouant le rôle de batterie électrique, permettent de maintenir une valeur de  $Q$  quasi constante. On se propose de déterminer quelques grandeurs caractéristiques qui interviennent dans un nuage d'orage. Pour cela, on peut modéliser grossièrement un tel nuage par un ensemble de deux charges ponctuelles, disposées verticalement, l'une négative  $Q_n \approx -40$  C proche de la base du nuage et l'autre positive  $Q_p \approx 40$  C à plus haute altitude. Sachant que ces deux charges sont distantes de  $d = 5$  km, exprimer le vecteur force électrostatique  $\vec{F}_e$  qu'exerce la charge négative  $Q_n$  sur la charge positive  $Q_p$ , puis calculer sa norme  $F_e$ . Parmi les réponses proposées,  $\vec{e}_z$  est le vecteur unitaire orienté vers le haut (sens de la verticale ascendante),  $z_n$  la coordonnée verticale de la charge  $Q_n$  et  $z_p$  celle de la charge  $Q_p$ .

A)  $\vec{F}_e = \frac{Q_n Q_p}{4\pi\epsilon_0 (z_p - z_n)^2} \vec{e}_z$       C)  $F_e \approx 6 \times 10^2$  N  
 B)  $\vec{F}_e = \frac{Q_n Q_p}{4\pi\epsilon_0 (z_p - z_n)} \vec{e}_z$       D)  $F_e \approx 6 \times 10^5$  N

17. Quelle est l'expression de l'énergie potentielle  $\mathcal{E}_{p,e}$  de la charge  $Q_p$  soumise à la force électrostatique de la part de la charge  $Q_n$ ? On prendra comme origine des énergies potentielles la configuration où les charges sont à des distances mutuelles infinies. Sachant que la production annuelle moyenne de puissance électrique en France était, en 2016, d'environ 150 GW (données officielles d'EDF), que vaut le rapport  $\alpha = \mathcal{E}_{p,e}/\mathcal{E}_{EDF}$  entre la valeur de  $\mathcal{E}_{p,e}$  et la valeur de l'énergie  $\mathcal{E}_{EDF}$  produite en une seconde sur le réseau électrique français.

A)  $\mathcal{E}_{p,e} = \frac{Q_n Q_p}{4\pi\epsilon_0 d}$       B)  $\mathcal{E}_{p,e} = \frac{Q_p}{4\pi\epsilon_0 d}$       C)  $\alpha \approx 0,02$       D)  $\alpha \approx 0,2$

18. Le nuage d'orage précédent présente une tension électrique  $U$  entre la base et son sommet que l'on peut écrire  $U = 2\mathcal{E}_{p,e}/|Q_n|$ . Calculer  $U$  numériquement. En outre, sachant que la valeur  $E_o$  du champ électrique correspondant peut être prise égale à  $F_e/|Q_n|$ , quel est le rapport  $\alpha_E = E_o/E_T$  entre  $E_o$  et la valeur  $E_T$  du champ obtenue à la question 13?

A)  $U \approx 1,5$  MV      B)  $U \approx 150$  MV      C)  $\alpha_E \approx 120$       D)  $\alpha_E \approx 0,1$

La figure 3 représente un convertisseur 3 bits, qui convertit une tension  $u$ , qui vérifie  $0 < u < V_{ref}$ . Il est composé de 7 comparateurs, d'une logique de commande et de résistances de valeur  $r$ ,  $2r$  et  $3r$ . Les comparateurs ont une impédance d'entrée infinie et délivrent un signal logique qui est au niveau haut lorsque la patte reliée à  $u$  a un potentiel supérieur à celui de la patte reliée à  $V_{ref}$  par l'intermédiaire des résistances.

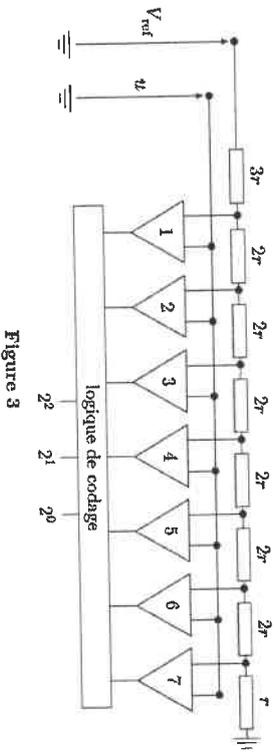


Figure 3

C.1) Expliquer le fonctionnement de ce convertisseur.

On note  $u_N$  la tension numérisée, reconstruite à partir de  $s_N$ . Comment passe-t-on de  $s_N$  à  $u_N$ ?

C.2) Pour un convertisseur 8 bits, combien faut-il de comparateurs ? Quels sont les avantages et inconvénients comparés des convertisseurs série et parallèle ?

D – La figure 4 représente le signal numérisé  $s_N$  en fonction de la tension à numériser  $u$ .

D.1) Que vaut  $N$  dans l'exemple donné ?

D.2) Donner les valeurs de  $s_N$  en base 2, et de  $u_N$  pour  $u = 1, 28$  V.

D.3) Quelle type d'erreur induit la numérisation ? Préciser l'écart maximal entre la valeur de la tension numérisée  $u_N$  et  $u$ .

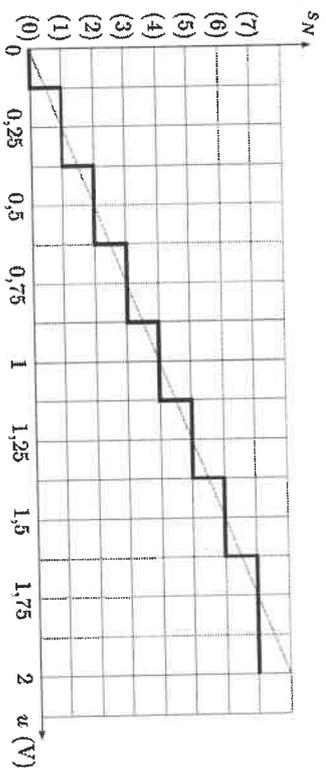


Figure 4

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  $j^2 = -1$ .

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

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

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,  $s_A(t)$  désigne la tension de sortie du filtre et  $s_A(t)$  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.