DS 1

Électronique

Lycée Thiers - Physique-Chimie - MPI/MPI*- 2026-2027

30/09/26

Sujet MPI - Le devoir dure 3h.
Les différents problèmes sont indépendants et peuvent être traités dans l'ordre de votre choix.
La présentation globale de la copie ainsi que l'homogénéité des formules est prise en compte dans la notation.

Problème I - Cours - Bascule à mémoire RS

On note S l'entrée SET, R l'entrée RESET et Q la sortie du système.

I.1. Rappeler le principe d'une bascule à mémoire RS.

I.2. Donner la table de vérité en prenant R, S et Q^- en entrée, Q^- étant la valeur de la sortie avant la bascule.

I.3. Donner la définition d'un système bistable.

I.4. Indiquer pourquoi plusieurs réalisations sont possible pour un tel circuit.

I.5. Montrer que la relation

$$Q_+ = S + \bar{R} \cdot Q_- \ . \tag{0.1}$$

définit une bascule RS. Justifier son appellation « mémoire à inscription prioritaire ». Donner le circuit logique correspondant.

I.6. On donne le circuit suivant de la figure 1. Justifier que ce circuit constitue une bascule RS.

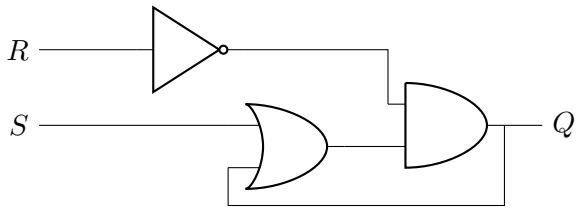


Fig. 1 – Circuit proposé.

Problème II - Caractéristiques électriques d'un microphone

Ce sujet est extrait de l'épreuve de physique CCS 2 MPI 2024.

D'un point de vue électrique, le micro se modélise de la façon représentée à la figure 6.

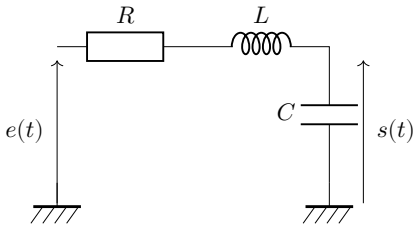


Figure 6

$e(t)$ est la force électromotrice induite par le mouvement de la corde. L désigne l'inductance propre du bobinage et R sa résistance. De plus, le grand nombre de spires présentes dans le bobinage provoque un effet capacitif représenté par le condensateur C.

Q 15. Étudier le comportement asymptotique de ce circuit. En déduire le type de filtrage réalisé par le micro.

Q 16. Donner l'expression de la fonction de transfert du micro en régime sinusoïdal forcé $\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{s}}{\underline{e}}$.

Q 17. Écrire la fonction de transfert sous la forme $\underline{H}(j\omega) = \dfrac{H_0}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} + j\frac{\omega}{Q\omega_0}}$ et exprimer les paramètres H_0, ω_0 et Q en fonction de R, L et C.

Q 18. Montrer que, si $Q > \frac{1}{\sqrt{2}}$, il y a résonance à une pulsation ω_r à déterminer.

Q 19. Tracer l'allure du diagramme de Bode en amplitude dans le cas $Q > \frac{1}{\sqrt{2}}$.

Q 20. Expliquer comment tracer expérimentalement un diagramme de Bode.

Q 21. Dans le cas précis du micro de guitare, expliquer pourquoi il n'est pas possible de tracer expérimentalement le diagramme de Bode.

Q 22. Un potentiomètre de résistance r est traditionnellement ajouté en parallèle de la capacité C. Donner l'expression littérale du nouveau gain statique du circuit en présence de ce potentiomètre. Ce dernier est accessible pour le guitariste. Quelle est son utilité ?

On souhaite mesurer les paramètres R, L et C de deux micros différents : le micro **Fender Lace Sensor** et le mirco **De Armond Dynasonic**. En l'absence de vibration de la corde, le micro est modélisé par le dipôle, d'impédance $\underline{Z}$, représenté à la figure 7 gauche.

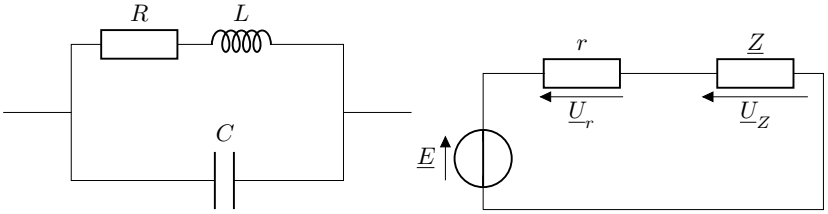


Figure 7

On réalise le montage de la figure 7 à droite, dans lequel e est une source de tension idéale, délivrant une tension sinusoïdale de la forme : $e(t) = E\cos(\omega t)$. r est un résistor de résistance $r = 10$ kΩ.

Q 23. Exprimer $\underline{Z}$, l'impédance du micro orienté en convention récepteur, en fonction de R, L, C et ω.

Q 24. Montrer que $\underline{Z} = r\frac{\underline{U}_Z}{\underline{U}_r}$.

Q 25. Le graphe de la figure 8 représente $\frac{|\underline{U}_Z|}{|\underline{U}_r|}$ en fonction de la pulsation ω pour les deux micros étudiés : trait plein pour le le micro **Fender** et pointillés pour micro **Dynasonic**.

Montrer qu'en basses fréquences $\underline{Z} \simeq R$ et en déduire la valeur de R pour chaque micro.

Q 26. Les relevés expérimentaux mettent en évidence que pour des fréquences de l'ordre de 1 kHz, $\underline{Z}$ est dominée par R et L. Montrer que pour ces fréquences $L \simeq \frac{1}{\omega}\sqrt{\left(r\frac{|\underline{U}_Z|}{|\underline{U}_R|}\right)^2 - R^2}$. En déduire la valeur de L pour chaque micro.

Q 27. $\underline{Z}$ peut s'écrire sous la forme $\underline{Z} = R\frac{1+jQ\frac{\omega}{\omega_0}}{1-\frac{\omega^2}{\omega_0^2}+j\frac{\omega}{Q\omega_0}}$. Simplifier l'expression de $\underline{Z}$ dans l'hypothèse $Q \gg 1$ et ω proche de ω_0. Expliquer comment évaluer C à partir des relevés expérimentaux. En déduire la valeur de C pour chaque micro.

Q 28. Justifier, à partir des mesures expérimentales, l'affirmation suivante : « Le micro Fender sonne plus aigu que le micro Dynasonic ».

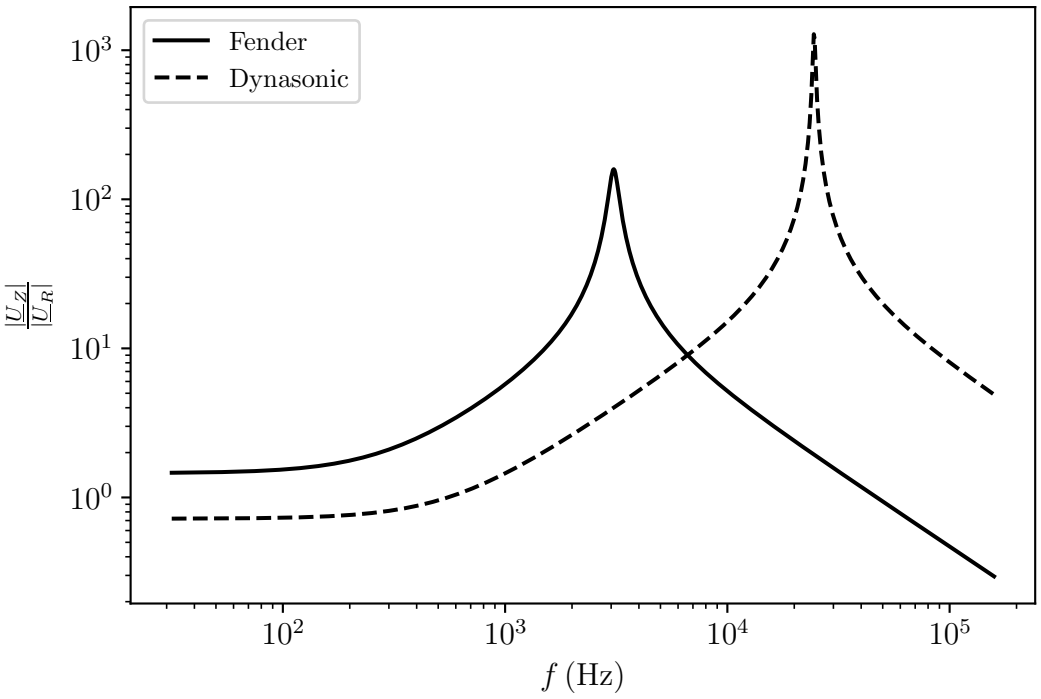


Figure 8

Problème III - Téléphonie mobile

Ce sujet est extrait de l'épreuve de physique CCS MPI 2023.

II Dictée d'un message : principe de l'échantillonnage

La communication via les téléphones portables a également fait évoluer les pratiques. Si autrefois, on « passait un coup de fil » désormais les messages SMS ont révolutionné la communication : 200 000 SMS sont envoyés chaque seconde dans le monde, soit le chiffre de 6100 milliards expédiés sur l'année ! Mais ce n'est pas pour autant que l'utilisateur pianote sur son clavier, le texte ne se tape plus, on le dicte à son téléphone qui le retranscrit en message textuel. Dans cette partie, on s'intéresse à ce système de reconnaissance vocale (*speech-to-text*) en mettant en évidence quelques critères pour assurer une traduction correcte de la dictée.

II.A – Échantillonnage par échantillonneur bloqueur

On considère dans un premier temps un signal $s(t)$ composé d'une composante sinusoïdale, d'amplitude crête à crête 3 V et de fréquence $f = 1/T = 100$ Hz, et d'une composante continue dont la valeur de tension est 1,5 V. On souhaite échantillonner ce signal avec une période T_e.

Q 24. Dessiner soigneusement l'allure du signal $s(t)$. Expliquer le principe de l'échantillonnage de ce signal analogique. On pourra faire apparaitre la période T_e sur le dessin.

Pour réaliser cette opération, on utilise un interrupteur commandé CD4016 appelé *échantillonneur bloqueur à tension positive*. La figure 1 reproduit un extrait des caractéristiques de ce composant.

General Description

The CD4016BM/CD4016BC is a quad bilateral switch intended for the transmission or multiplexing of analog or digital signals. It is pin-for-pin compatible with CD4066BM/CD4066BC.

Features

- Wide supply voltage range 3V to 15V
- Wide range of digital and analog switching $\pm 7.5\ V_{PEAK}$
- "ON" resistance for 15V operation 400Ω (typ.)
- Matched "ON" resistance over 15V signal input $\Delta R_{ON} = 10\Omega$ (typ.)
- High degree of linearity 0.4% distortion (typ.) @ f_{IS} = 1 kHz, $V_{IS} = 5\ V_{p-p}$, $V_{DD} - V_{SS} = 10V$, $R_L = 10\ k\Omega$
- Extremely low "OFF" switch leakage 0.1 nA (typ.) @ $V_{DD} - V_{SS} = 10V$ $T_A = 25°C$
- Extremely high control input impedance $10^{12}\Omega$ (typ.)
- Low crosstalk between switches −50 dB (typ.) @ $f_{IS} = 0.9$ MHz, $R_L = 1\ k\Omega$
- Frequency response, switch "ON" 40 MHz (typ.)

Applications

- Analog signal switching/multiplexing
  - Signal gating
  - Squelch control
  - Chopper
  - Modulator/Demodulator
  - Commutating switch
- Digital signal switching/multiplexing
- CMOS logic implementation
- Analog-to-digital/digital-to-analog conversion
- Digital control of frequency, impedance, phase, and analog-signal gain

Schematic and Connection Diagrams

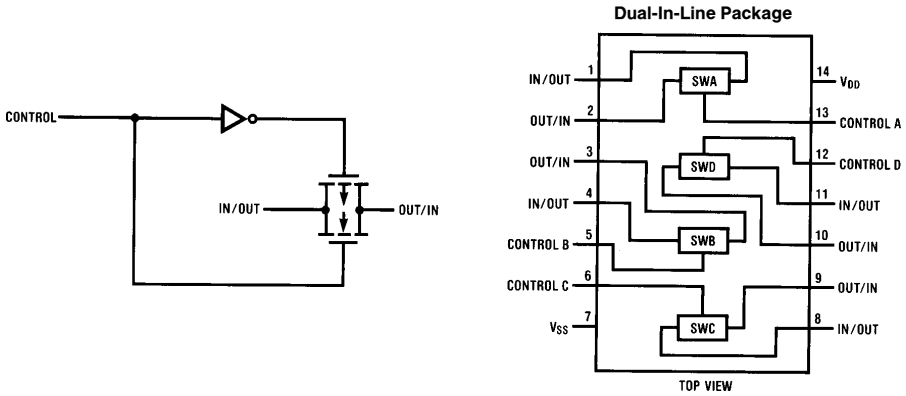


Figure 1 Extrait des caractéristiques du CD4016

Le montage proposé pour échantillonner le signal $s(t)$ utilise les voies 1 et 2 et la borne de contrôle 13 reçoit le signal d'horloge. À la sortie du CD4016, on récupère le signal $V_{\text{ech}}(t)$ aux bornes d'un condensateur (figure 2).

Q 25. Expliquer l'intérêt de récupérer le signal échantillonné $V_{\text{ech}}(t)$ aux bornes du condensateur de capacité C_e.

Le signal d'horloge $h(t)$ appliqué sur la borne 13 est généré par un signal logique de fréquence $f_e = 1/T_e = 1{,}0$kHz d'amplitude crête à crête de 10 V et de composante continue 5 V (ainsi le signal horloge évolue entre 0 V et 10 V). Il est utilisé en mode pulse dont on peut régler le rapport cyclique α, qui est le rapport entre la durée pendant laquelle le signal délivre une tension de 10 V pendant une période et la période du signal.

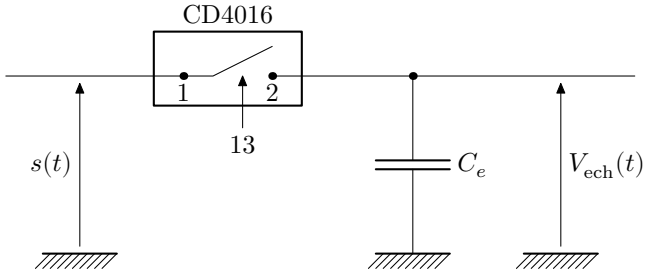


Figure 2 Montage échantillonneur bloqueur à tension positive

Q 26. La figure 3 présente l'oscillogramme du signal d'horloge, dont le rapport cyclique vaut $\alpha = 2\,\%$. Déterminer la valeur de la durée du pic.

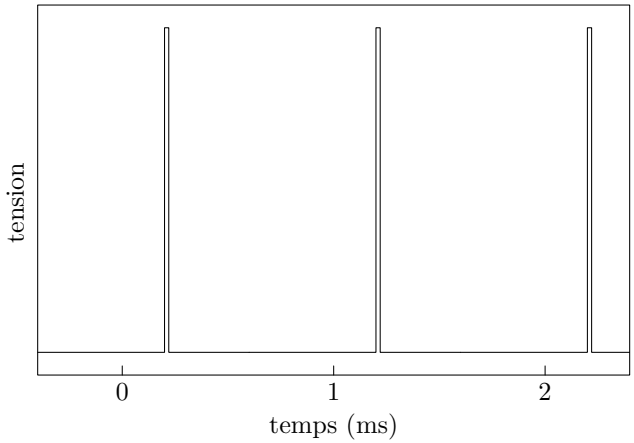


Figure 3 Signal d'horloge

Q 27. Les allures du signal échantillonné $V_{\text{ech}}(t)$ et du signal $s(t)$ sont représentées sur la figure 4. Commenter l'allure de l'oscillogramme ainsi obtenu.

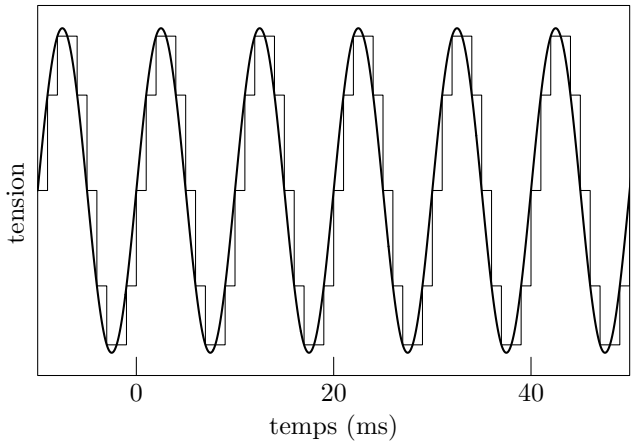


Figure 4 Superposition du signal $s(t)$ et du signal échantillonné $V_{\text{ech}}(t)$

On réalise l'analyse spectrale du signal échantillonné V_{ech} sur l'oscilloscope. On obtient alors les spectres (figure 5) dont on relève l'amplitude des différents pics dans le tableau 1.

pic	1	2	3	4	5	6	7
fréquence (Hz)	100	900	1100	1900	2100	2900	3100

Tableau 1 Relevé des harmoniques du spectre de $V_{\text{ech}}(t)$

Q 28. Expliquer l'existence des pics de fréquence supérieure à 100 Hz. Commenter les valeurs des fréquences obtenues dans le spectre de $V_{\text{ech}}(t)$.

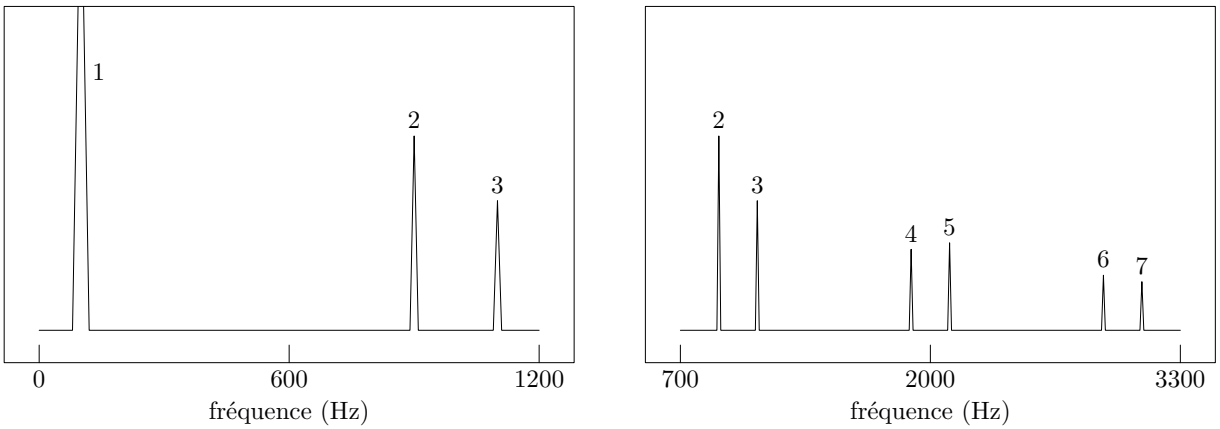


Figure 5 Analyse spectrale du signal échantillonné $V_{\text{ech}}(t)$

On reprend le même montage que précédemment et le même signal d'horloge $h(t)$, signal logique de fréquence $f_e = 1/T_e = 1{,}0\,\text{kHz}$. Désormais le signal $s(t)$ est un signal de fréquence $f = 1/T = 110\,\text{Hz}$ de la forme

$$s(t) = \frac{S}{2} + \frac{2S}{\pi}\sum_{k=0}^{+\infty}\frac{\sin\big((2k+1)2\pi ft\big)}{2k+1}.$$

Q 29. Représenter l'allure temporelle et spectrale du signal $s(t)$. On se limitera à un nombre fini d'harmoniques (rang $k = 3$).

Q 30. Représenter le spectre du signal échantillonné $V_{\text{ech}}(t)$ de ce nouveau signal $s(t)$ par le même signal d'horloge $h(t)$.

Q 31. Quel phénomène voit-on apparaitre ? Proposer un critère quantitatif pour y remédier afin d'assurer une retranscription correcte du signal $s(t)$. Comment s'appelle ce critère ?

II.B – Filtrage numérique du bruit ambiant

Une source récurrente d'erreurs de retranscription de la dictée est le bruit ambiant. Dans cette partie on se propose de mettre en place un algorithme permettant une filtration efficace des bruits parasites et notamment des bruits blancs de « hautes » fréquences.

Q 32. Rappeler comment on peut réaliser un filtre passe-bas du premier ordre avec un circuit RC.

Q 33. Donner la forme canonique de la fonction de transfert de ce circuit en faisant apparaitre la fréquence de coupure ω_c.

Q 34. En déduire l'équation différentielle liant l'entrée $s_e(t)$ et la sortie $s_s(t)$ dans le cas d'un filtre passe-bas du premier ordre de temps caractéristique τ qu'on liera à ω_c.

Le filtrage numérique correspond à la chaine de traitement du signal présentée en figure 6.

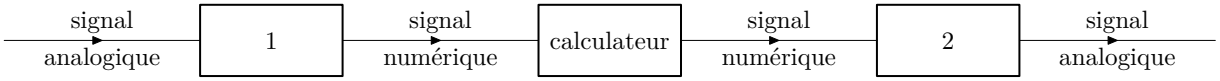


Figure 6 Chaine de traitement du signal

Q 35. Identifier les fonctions des opérateurs numérotés 1 et 2 et du calculateur sur la figure 6.

Q 36. Citer deux avantages d'une telle technique de filtrage vis-à-vis d'un filtre analogique. Citer l'inconvénient majeur du filtrage numérique.

On note T_e la période d'échantillonnage des signaux $S_e[n]$ et $S_s[n]$, les valeurs respectives de $s_e(t)$ et $s_s(t)$ à l'instant d'échantillonnage $t_n = nT_e$ où n est un entier positif ou nul. À l'entrée du calculateur, le signal numérisé se présente sous la forme d'un tableau de valeurs. Le calculateur génère un tableau de valeurs $S_s[n]$ pour la sortie à partir du tableau de valeurs $S_e[n]$ de l'entrée.

Q 37. Si l'on suppose la période d'échantillonnage T_e « petite » par rapport à τ, donner une approximation d'ordre 1 de la dérivée à l'instant t_n en faisant intervenir $S_s[n]$ et $S_s[n-1]$.

Q 38. En déduire la relation donnant $S_s[n]$ en fonction de $S_s[n-1]$ et $S_e[n-1]$ pour un filtre passe-bas d'ordre 1.

Q 39. Quelle information supplémentaire faut-il fournir au calculateur pour qu'il puisse calculer tous les $S_s[n]$?

Pour illustrer la fonction de filtrage numérique, l'expérimentateur dicte la phrase « je passe le concours Centrale-Supélec ». L'analyse spectrale du texte dicté est réalisée à partir de deux enregistrements du texte, l'un dicté au calme, l'autre en présence de cris d'enfants (figure 7).

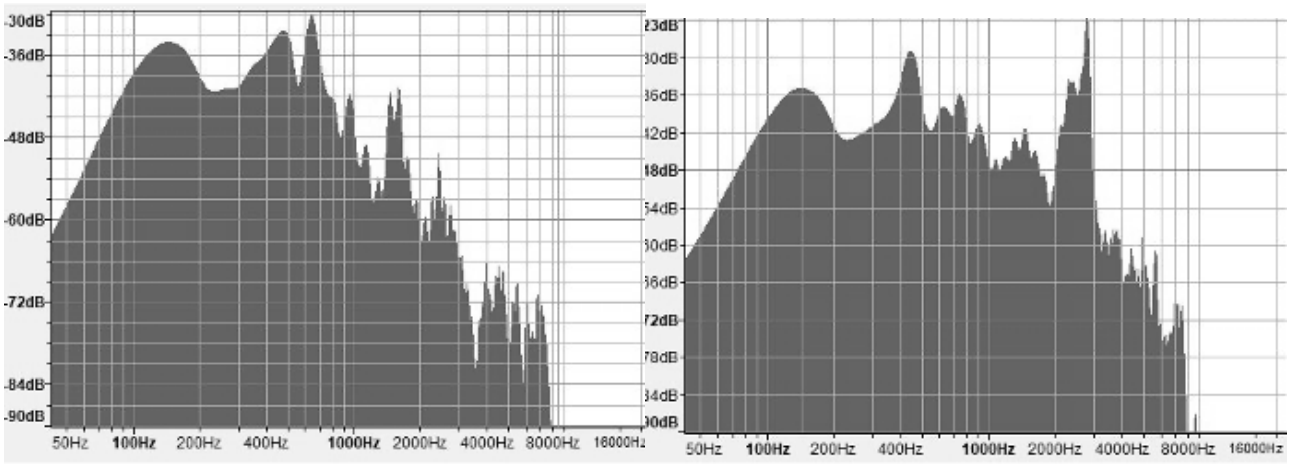


Figure 7 Spectre de la dictée « je passe le concours Centrale-Supélec »

Q 40. Identifier la zone de fréquences à filtrer et proposer une valeur de fréquence de coupure pour le filtre passe-base d'ordre 1.

On dispose d'un fichier monophonique `dictee.wav` au format WAV/LPCM contenant l'enregistrement de la phrase. Ce fichier est chargé dans un vecteur Python à l'aide du programme de la figure 8.

```
import numpy as np
import scipy.io.wavfile

fe, Se = scipy.io.wavfile.read("dictee.wav")
```

Figure 8 Chargement du signal d'entrée

La fonction `scipy.io.wavfile.read` lit un fichier audio au format WAV/LPCM. Elle renvoie la fréquence d'échantillonnage (en Hz) utilisée dans le fichier et un vecteur contenant les échantillons du signal.

Q 41. Compléter le programme de la figure 8 de façon à produire un signal de sortie privé des cris d'enfants.