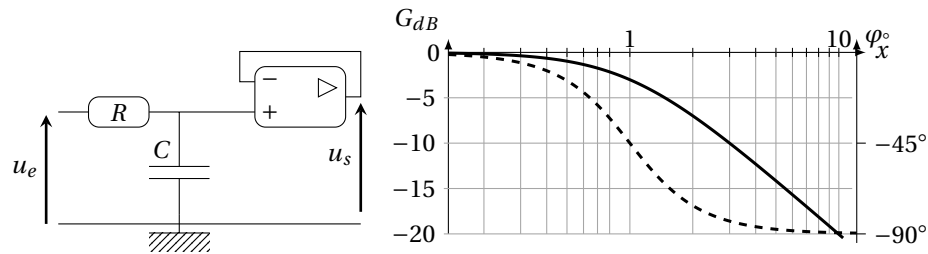
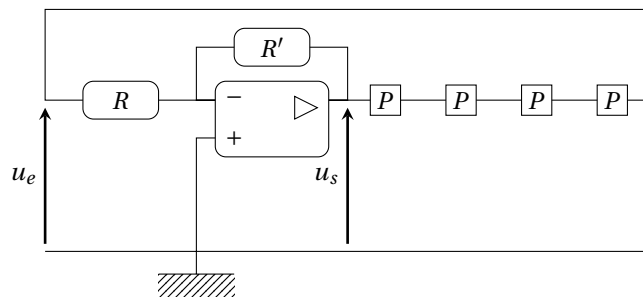


**Exercice 1**

Soit le montage suivant :



- 1) Interpréter le diagramme de Bode ci-dessous, où l'on a posé  $x = RC\omega$ . Quel est le type de montage ?
- 2) On réalise le montage suivant, où  $P$  désigne le montage précédent.



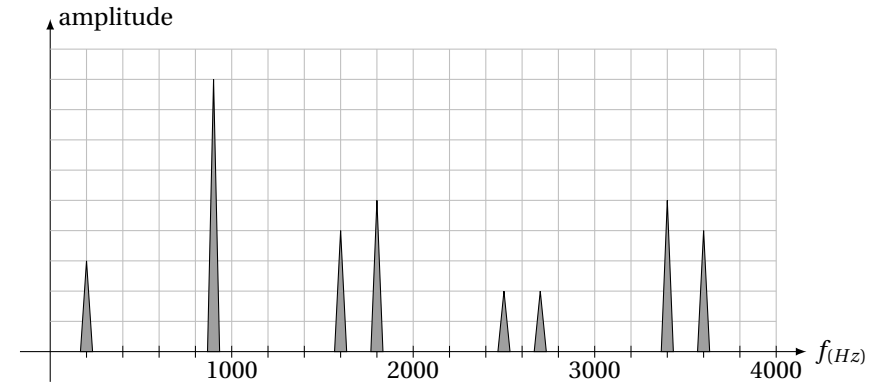
Quelle est la fréquence  $f_0$  des oscillations? Déterminer la valeur de  $R'$  si  $C = 10\ \mu\text{F}$  et  $f_0 = 1\ \text{kHz}$ .

**Exercice 2**

Détermination d'une fréquence d'échantillonnage.

La figure ci-dessous indique le spectre d'un signal périodique échantillonné dans la plage de fréquence de 0 à 4000 Hz.

Déterminez la période du signal, la période d'échantillonnage et tracer le spectre du signal non échantillonné.

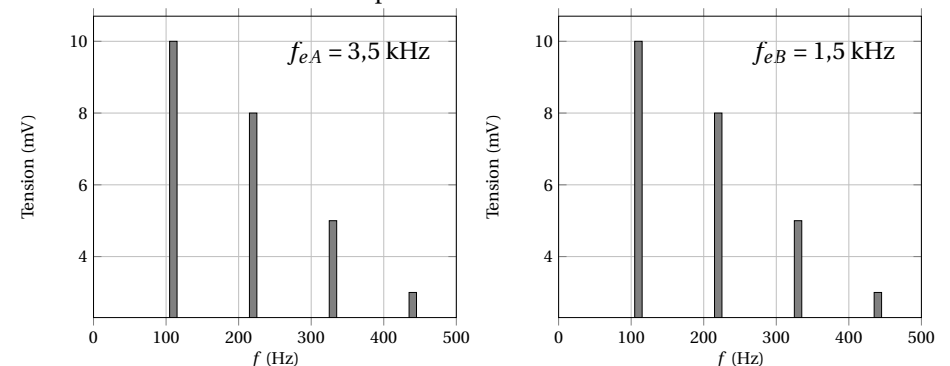


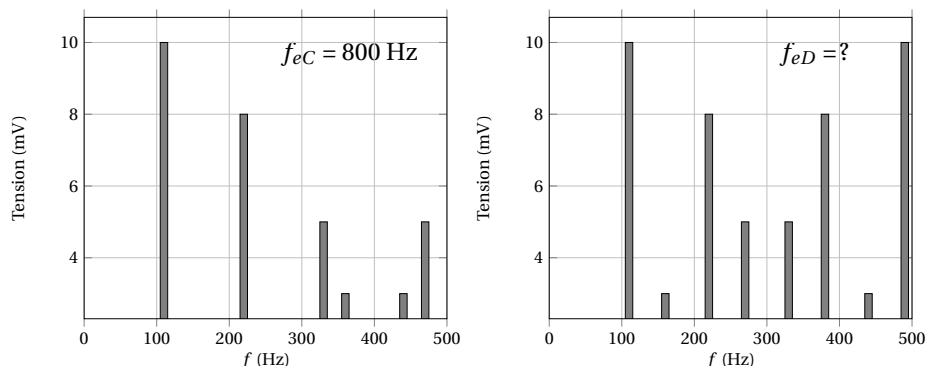
**Exercice 3**

On échantillonne à 8000 Hz une note pure jouée à 440 Hz (un La 3). Puis on gravit les octaves successives (à chaque fois, la fréquence est multipliée par 2) jusqu'à entendre un son, après restitution, qui semble plus grave qu'à l'octave précédente. Expliquer ce phénomène. A quelle fréquence se produit-il? Quelle est la fréquence apparente entendue?

**Exercice 4**

Un instrument de musique joue un La 1 de fréquence  $f_1 = 110\ \text{Hz}$ . On en réalise quatre numérisations (A, B, C et D) en changeant uniquement la fréquence d'échantillonnage  $f_e$ . Les spectres en fréquences obtenus sont représentés ci-après. Le dernier graphe montre le résultat de l'échantillonnage lors de la numérisation D. On considère que la numérisation A est très fidèle au son émis par l'instrument.

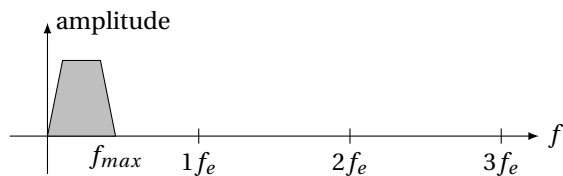




1. Quelle est la fréquence d'échantillonnage utilisée lors de la numérisation D?
2. Quel est la fréquence  $f$  de l'harmonique de rang le plus élevé contenu dans le La 1 joué par cet instrument?
3. Comparer la fréquence d'échantillonnage à  $f$  pour chaque numérisation. Le critère de Shannon est-il vérifié?
4. Est-il nécessaire d'augmenter indéfiniment la fréquence d'échantillonnage pour améliorer la numérisation d'un son?

### Exercice 5

1. On donne le spectre d'un signal analogique ci-dessous. On échantillonne le signal avec une fréquence  $f_e > 2f_{max}$ . Tracer le spectre du signal échantillonné. Pourquoi vaut-il mieux échantillonner à une fréquence au moins égale à deux fois  $f_{max}$  (théorème de Shannon)?



2. Les CD audio contiennent le signal sous forme numérique, l'échantillonnage étant fait à 44,1 kHz et la quantification sur 16 bits. Déterminer la place prise en mémoire par un morceau d'une durée de 5 minutes, en mébioctets (Mio).
3. On considère qu'un enregistrement audio doit reproduire fidèlement les sons de fréquences comprises entre 20,0 Hz et 20,0 kHz. Le signal analogique de départ contient des fréquences bien supérieures à 20,0 kHz, disons jusqu'à 30 kHz. Représenter qualitativement l'allure du spectre du signal échantillonné. Quelles sont les fréquences qui doivent être coupées avant la numérisation du signal?

### Exercice 6

La structure d'un oscilloscope numérique comprend un étage d'entrée atténuateur qui possède une impédance d'entrée de  $1 \text{ M}\Omega$  - information inscrite sur l'appareil en général -, un échantillonneur fonctionnant à la fréquence  $F_e$ , un convertisseur analogique-numérique qui envoie les données dans la mémoire et un système de traitement pour fournir l'image sur l'écran de l'oscilloscope. Un utilisateur souhaite pouvoir analyser des signaux classiques - sinusoïdal, triangle, créneau, impulsion - présentant des fréquences comprises entre 0,1 Hz et 10 MHz.

1. Pourquoi ne peut-on pas se contenter d'un oscilloscope dont la bande passante est égale à la fréquence maximale souhaitée?
2. Quelle est la valeur minimale du taux d'échantillonnage nécessaire?
3. La notice de l'appareil précise que, pour une bonne gestion de la capacité de la mémoire d'une capacité de 256 kio, le taux d'échantillonnage  $F_e$  est ajusté en fonction du calibre sélectionné sur l'appareil. En supposant qu'un échantillon occupe deux octets, quel taux d'échantillonnage  $F_e$  maximal permettrait d'observer 10 périodes d'un signal de fréquence 10 kHz? On restreint la cadence à  $100 \text{ Mech} \cdot \text{s}^{-1}$ . Combien un balayage occupe-t-il de capacité mémoire? Combien cela représente-t-il de points par période?
4. Le choix du convertisseur conditionne fortement le prix de l'appareil. Commenter les valeurs du tableau suivant.

Nombre de bits	8	12	16
Nombre de niveaux	256	4 096	65 536
Plus petite variation décelable	0,4%	244 ppm	15 ppm

5. Peut-on avec les convertisseurs proposés atteindre une précision de 0,1 mV pour une tension de 240 V?
6. En fait, pour mesurer des tensions de quelques dizaines ou de centaines de volts, on utilise une sonde qui atténue le signal d'un facteur 10. Quelle est la précision que l'on peut obtenir en utilisant un convertisseur 12 bits?

### Exercice 7

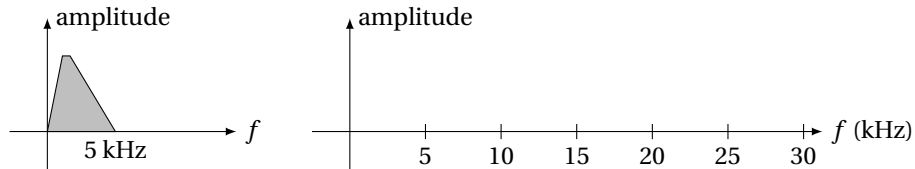
Les affirmations suivantes sont-elles vraies ou fausses?

Lorsqu'une personne parle devant un microphone, le signal qui en sort :

- a) contient toutes les fréquences du continu au MHz;
- b) ne contient qu'une seule fréquence;
- c) a une amplitude qui dépend du niveau sonore;
- d) a une fréquence qui dépend du niveau sonore;
- e) nécessite une bande passante de 50 Hz à 15 kHz pour une reproduction Hi-fi;
- f) se contente d'une bande passante de 300 Hz à 3 kHz pour une reproduction correcte.

**Exercice 8**

Un signal analogique  $x(t)$  dont le spectre est représenté ci-dessous à gauche est échantillonné à la fréquence  $f_e$ . Tracer l'allure du spectre du signal échantillonné  $x^*(t)$  pour trois valeurs de  $f_e$  : 7,5 kHz, 10 kHz et 15 kHz.

**Exercice 9**

Un oscillateur embarqué dans un avion émet un signal sinusoïdal  $s(t)$  modulé en fréquence. Ce signal se propage verticalement à la vitesse  $c = 3,0 \cdot 10^8$  m/s.

Au contact du sol, il donne naissance à une onde réfléchie : on ne tient compte ni du changement de phase dû à la réflexion ni de l'effet Doppler.

Une antenne solidaire de l'avion capte l'onde réfléchie  $r(t)$  et permet à un radioaltimètre de mesurer l'altitude  $z$  de celui-ci à partir du temps  $\tau$  nécessaire à l'onde radioélectrique pour effectuer l'aller-retour entre l'avion et le sol.

1) La fréquence  $f_e(t)$  du signal  $s(t)$  émis par l'oscillateur embarqué varie périodiquement au cours du temps : entre les instants  $t = 0$  et  $t = t_0$ , la fréquence  $f_e(t)$  croît linéairement de  $f_0$  à  $f_0 + \Delta f$ .

Pour  $0 < t < t_0$ , établir la loi de variation de la fréquence  $f_e(t)$ .

2) On pose :  $s(t) = A \cos[\theta(t)]$  avec  $f_e(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\theta(t)}{dt}$  et on fixe  $s(0) = A$ .

Établir pour  $0 < t < t_0$ , l'expression mathématique de  $s(t)$  en fonction de  $A$ ,  $f_0$ ,  $\Delta f$  et  $t_0$ .

3) Le signal capté par l'antenne réceptrice s'écrit :  $r(t) = as(t - \tau)$ . Établir l'expression mathématique de  $r(t)$  en fonction de  $a$ ,  $A$ ,  $f_0$ ,  $\Delta f$ ,  $t_0$ ,  $\tau$  et  $t$  et donner la signification physique des paramètres  $a$  et  $\tau$ .

4) Établir l'expression de  $\tau$  en fonction de l'altitude  $z$  et de la vitesse de propagation  $c$ . Quelle est la valeur de  $\tau$  si l'altitude de l'avion est  $z = 300$  m ?

5) À la réception, les signaux  $s(t)$  et  $r(t)$  sont multipliés et le signal résultat  $n(t) = kr(t)s(t)$  est traité par un filtre passe-bas qui ne garde que la partie basse du mélange.

Donner alors l'expression du signal de sortie  $v(t)$ .

6) On note  $f_b$  la fréquence du signal  $v(t)$ . Exprimer  $f_b$  en fonction de  $\Delta f$ ,  $c$ ,  $t_0$  et  $z$ . Montrer que  $f_b$  est une image de l'altitude  $z$ .

7) Application numérique : si  $f_0 = 4240$  MHz,  $\Delta f = 123$  MHz,  $t_0 = 9,67$  ms et  $f_b = 46$  kHz, calculer l'altitude  $z$  de l'avion.

**Exercice 10**

On considère un filtre numérique passe-bas du premier ordre associé à l'équation aux différences  $s_{k+1} = s_k + 2\pi\beta(e_k - s_k)$ , qui donne le moyen de calculer la valeur de l'échantillon suivant de la sortie. On rappelle que cette équation peut s'interpréter comme  $s_{k+1} = s_k + 2\pi f_c T_e (e_k - s_k)$ , où  $f_c$  et  $T_e$  représentent respectivement la fréquence de coupure du filtre et la période d'échantillonnage.

1. On prend  $\beta = 1/10$ . Déterminer la fréquence de coupure de ce filtre pour une fréquence d'échantillonnage de 1kHz, puis de 10 kHz. Les filtres analogiques se comportent-ils ainsi ?

2. La fréquence d'échantillonnage est fixée à 10 kHz, ainsi que la fréquence du signal  $e(t) = A \sin(2\pi f_e t)$ . On suppose de plus que  $s_0 = 0$ . Calculer les valeurs des  $s_k$ . Était-ce prévisible ? Expliquer.

3. Même question pour  $e(t) = A \cos(2\pi f_e t)$ .

4. En pratique, comment doit-on choisir la fréquence d'échantillonnage pour éviter les problèmes de la question précédente ?

On considère maintenant un filtre passe-bande, associé à l'équation différentielle :

$$\frac{d^2 s(t)}{dt^2} + \frac{\omega_0}{Q} \frac{ds(t)}{dt} + \omega_0^2 s(t) = \frac{\omega_0}{Q} \frac{de(t)}{dt}$$

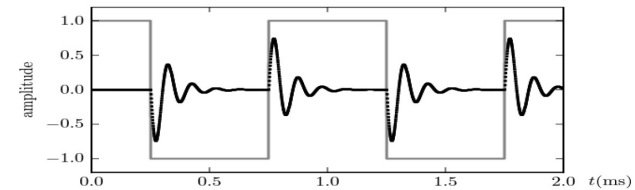
La période d'échantillonnage est notée  $T_e$ .

5. Montrer que l'équation aux différences peut se mettre sous la forme :

$$s_k = 2s_{k-1} - s_{k-2}(1 + \beta^2) + \frac{\beta}{Q}(e_{k-1} - e_{k-2} - s_{k-1} + s_{k-2})$$

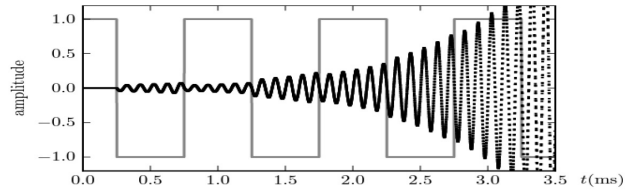
et préciser la valeur de  $\beta$  en fonction des paramètres.

6. La simulation représentée ci-dessous a été obtenue avec  $T_e = 1\mu s$ ,  $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = 5$  kHz, pour un signal d'entrée rectangulaire de fréquence  $f = 1$  kHz. Déterminer approximativement la valeur de  $Q$ .



7. Il est délicat de réaliser des filtres passe-bande de facteur de qualité  $Q$  élevé en électronique analogique, à cause entre autre du manque de précision des composants. On

pourrait penser que l'électronique numérique ne souffre pas de ce défaut. La simulation ci-dessous a été obtenue avec les mêmes paramètres que précédemment, sauf  $Q=50$ .



Comment qualifie-t-on le comportement de ce filtre? Conclure quant-à la validité de la méthode proposée.

### **Exercice 11**

On considère un disque blanc muni d'un secteur noir, en rotation à la vitesse  $N = 50 \text{ tr.s}^{-1}$  dans le sens horaire. dans l'obscurité, on observe ce disque à l'aide d'un stroboscope qui émet des éclaires à la fréquence  $N_0$ .

1. Décrire ce que l'on observe pour  $N_0 = 10 \text{ Hz}$ , puis  $N_0 = 5 \text{ Hz}$ , sachant que l'oeil ne voit qu'une image si celle-ci est rafraîchie à une fréquence supérieure à 25 Hz.
2. Même question pour  $N_0 = 100 \text{ Hz}$ , puis  $N_0 = 150 \text{ Hz}$ .
3. Même question pour  $N_0 = 40 \text{ Hz}$ , puis  $N_0 = 60 \text{ Hz}$
4. Même question pour  $N_0 = 51 \text{ Hz}$ , puis  $N_0 = 49 \text{ Hz}$ .