

Traitement du signal

Vous êtes invités à porter une attention particulière à la rédaction et au soin de votre copie. Les numéros des questions doivent être mis en évidence et les résultats encadrés.

Travailler avec cours et TD ouverts est **chaudement recommandé** : il s'agit d'un entraînement, pas d'une évaluation. Utiliser votre calculatrice, Geogebra ou encore Python est **possible**, et peut parfois vous aider.

Travailler en groupe est **autorisé** mais le travail de rédaction doit être individuel. En cas de besoin, **n'hésitez pas à me poser des questions**, à la fin d'un cours ou par mail. Je rappelle également qu'un travail de groupe est un travail à plusieurs, et pas le travail d'une personne recopié plusieurs fois.

Critère de Shannon

On frappe un diapason avec un marteau. Avec une carte d'acquisition et un logiciel approprié, on visualise à l'ordinateur la tension de sortie délivrée par un micro, représentée figure 1.

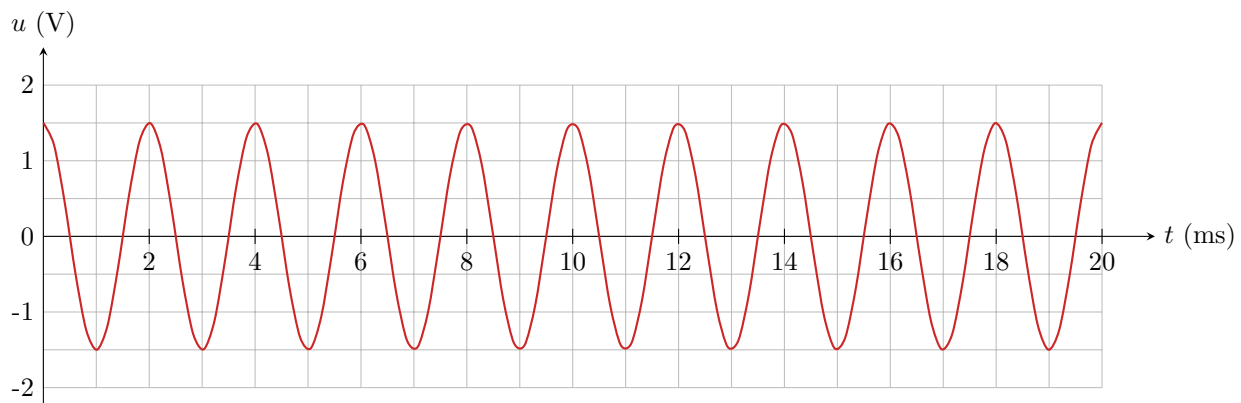


Figure 1 – Tension affichée sur l'ordinateur.

1 - Comment qualifier le signal généré par le diapason ? celui délivré par le micro ? (nature du signal, grandeurs support, analogique ou numérique)

2 - Déterminer la valeur moyenne, l'amplitude et la fréquence f de ce signal. Le son émis par le diapason est-il audible ? Représenter son spectre en amplitude.

L'ordinateur n'est pas capable d'enregistrer le signal en continu : il doit être numérisé au préalable. La carte d'acquisition permet de mesurer la valeur de la tension de sortie du micro en une suite discrète d'instant $t_n = nT_e$, tous multiples de la période d'échantillonnage T_e . Pour simplifier, on néglige la quantification du signal.

3 - Représenter le signal qu'aurait reçu l'ordinateur si $T_e = 0,25$ ms.

Le théorème de Shannon concerne un signal dont le spectre admet une fréquence maximale f_{\max} . Il indique que l'information contenue dans ce signal est perdue lors du processus d'échantillonnage si la fréquence d'échantillonnage $f_e = 1/T_e < 2f_{\max}$. On se propose de le vérifier qualitativement sur le signal précédent.

4 - Montrer par une représentation graphique que si $f_e = 0,8 f$ alors le signal affiché sur l'ordinateur est méconnaissable. En particulier, commenter l'influence de cette mauvaise acquisition sur la fréquence apparente du signal.

On aimerait maintenant visualiser le signal sinusoïdal émis par un laser rouge. Pour cela, on le place face à une photodiode reliée à l'ordinateur par l'intermédiaire d'une carte d'acquisition.

5 - Quelles sont les grandeurs support du signal émis par le laser ?

6 - Les meilleurs systèmes d'échantillonnage permettent d'atteindre une fréquence d'échantillonnage $f_e \sim 10^{11}$ Hz. Peut-on observer directement l'onde émise par le laser ? Avez-vous une idée de la grandeur physique observable ?

Traitement du signal

Notation des DM

Les DM que je donne sont courts, et correspondent à un exercice de TD un peu amélioré. Je ne demande pas de préparer les TD à la maison. En contrepartie, il faut faire les DM : il est illusoire d'espérer maîtriser une notion sans jamais la pratiquer par soi-même, et ces exercices que je vous propose sont conçus pour vous aider à travailler les points essentiels du chapitre correspondant.

Vous pouvez travailler à plusieurs. Mais retenez que :

- ▷ Trouver par soi-même est très bénéfique pour apprendre ;
- ▷ Trouver à plusieurs l'est aussi ;
- ▷ Recopier sur quelqu'un d'autre en faisant de l'effort de comprendre reste toujours plutôt bénéfique ;
- ▷ Recopier sur quelqu'un d'autre sans chercher à comprendre est une pure perte de temps. Mieux vaut faire autre chose.

Les exercices à rendre ne comptant pas dans la moyenne, ils sont évalués de la façon suivante. L'objectif reste de vous donner une indication sur la valeur de votre travail. En revanche, le sérieux sur les DM est déterminant pour le commentaire écrit sur votre bulletin, et donc la possibilité d'intégrer des écoles sur dossier.

Évaluation	Critères
A	L'exercice est traité en totalité avec peu d'erreurs.
B	Le travail est sérieux, même s'il y a plusieurs erreurs ou si l'exercice n'est pas terminé.
C	Erreurs trop nombreuses ou exercice trop peu avancé.
D	Travail qui manque manifestement de sérieux.
X	Travail non rendu.

Critère de Shannon

1 Le signal généré par le diapason est un signal **acoustique**, forcément **analogique**. Les grandeurs support sont la pression et la vitesse de déplacement de l'air. Le signal délivré par le micro est un signal **électrique analogique**. Ses grandeurs support sont l'intensité et la tension électriques.

C'est la carte d'acquisition qui convertit le signal analogique en signal numérique, pas le micro.

Attention à répondre à toute la question et rien qu'à la question : peu importe ici que les signaux soient périodiques ou harmoniques ... mais par contre n'oubliez pas de dire qu'ils sont acoustique et électrique !

2 Le signal est symétrique de part et d'autre de l'axe des abscisses, donc

$$\langle u \rangle = 0 \text{ V.}$$

On lit alors directement son amplitude,

$$A = 1,5 \text{ V.}$$

Enfin, la période du signal vaut $T = 2 \text{ ms}$, d'où

$$f = \frac{1}{T} = 500 \text{ Hz.}$$

Comme $20 \text{ Hz} < f < 20 \text{ kHz}$, **il s'agit bien d'un son audible**. Son spectre d'amplitude, représenté figure 2, ne contient que la fréquence f .

Il s'agit donc du spectre le plus simple qu'on puisse imaginer !

3 Voir figure 3.

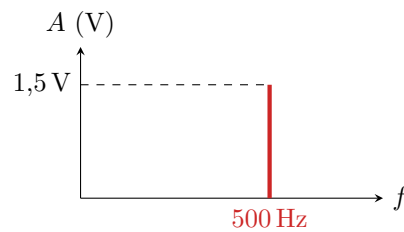


Figure 2 – Spectre d'amplitude du signal généré par le diapason.

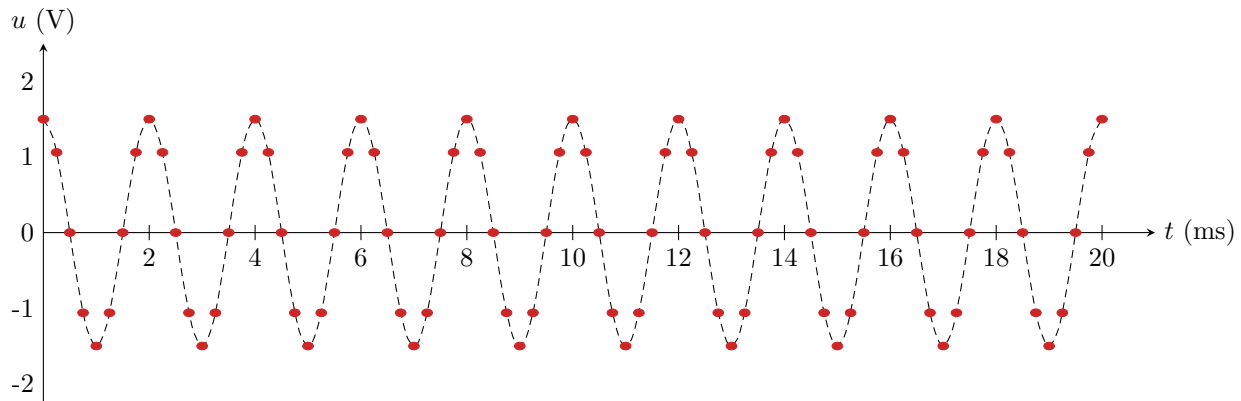


Figure 3 – Signal échantillonné avec $T_e = 0,25$ ms. Le signal de départ est représenté en pointillés pour faciliter la lecture, le signal échantillonné n'est composé que des points rouges.

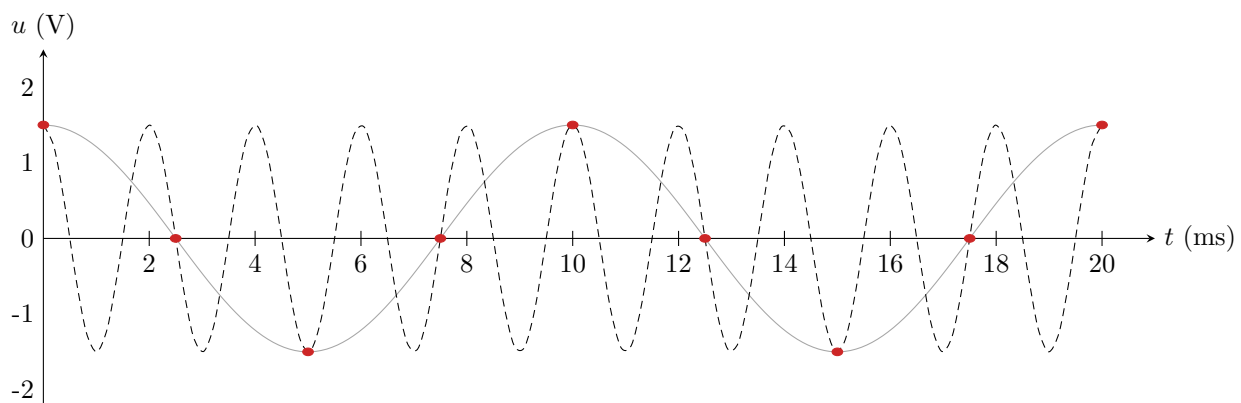


Figure 4 – Signal échantillonné avec $T_e = 0,25$ ms. Le signal de départ est représenté en pointillés pour faciliter la lecture, le signal échantillonné n'est composé que des points rouges. Le signal en gris est la sinusoïde de fréquence $f = f_{app}$.

4 Si $f_e = 0,8f$, alors $T_e = 2,5$ ms. Le signal échantillonné est représenté figure 4 : on ne reconnaît plus du tout le signal de départ. La période apparente du signal échantillonné est de 10 ms, ce qui donne une fréquence apparente $f_{app} = 100$ Hz, qui ne correspond pas à celle du signal enregistré : l'information « fréquence du signal » est perdue.

5 Le signal émis par le laser est une onde électromagnétique, ses grandeurs support sont donc **le champ électrique et le champ magnétique**.

6 Les ondes lumineuses visibles ont une fréquence de l'ordre de 10^{14} Hz, très supérieure à la meilleure fréquence d'échantillonnage : il est donc **impossible de visualiser directement l'onde laser**. La grandeur physique observable en optique est **l'énergie moyenne** apportée par l'onde.

L'ordre de grandeur de la fréquence optique est normalement à connaître, mais il faut surtout savoir le retrouver par la relation de dispersion $f = c/\lambda$ avec $c = 3 \cdot 10^8$ m \cdot s $^{-1}$ et $\lambda \sim 600$ nm, soit $f = 5 \cdot 10^{14}$ Hz.