OS – TD 10

Propagation d'un signal et interférences

Méthodes, compétences et savoirs-faire

1 - Valeurs moyenne et efficace

Signal créneau avec *offset*

Soit le signal périodique de période T, défini de la façon suivante : $c(t) = \begin{cases} c_m & \text{si } t \in \left[0; \frac{T}{2}\right]; \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$

1. Quelle est la valeur moyenne $< c >$ de ce signal ? (Cette valeur moyenne est souvent désignée par le terme anglais « *offset* ».)
2. Déterminer sa valeur efficace.

Signal sinusoïdal

1. On considère le signal $s_1(t) = s_0$. Quelles sont ses valeurs moyenne et efficace ?
2. On considère le signal $s_2(t) = s_m \cos(\omega t + \varphi)$. Quelles sont ses valeurs moyenne et efficace ?
3. On considère le signal $s(t) = s_1(t) + s_2(t)$. Quelles sont ses valeurs moyenne et efficace ?
4. Qu'en conclure quant à la loi d'additivité des valeurs moyennes et efficaces ?

2 - Déphasage et retard temporel

On dispose d'un émetteur et de deux capteurs C_1 et C_2, alignés, avec C_1 plus proche de l'émetteur que C_2. Les deux capteurs C_1 et C_2 permettent d'obtenir des signaux dont les chronogrammes, respectivement courbe 1 et courbe 2, sont représentés à la figure 1.1. L'axe des abscisses est gradué en secondes.

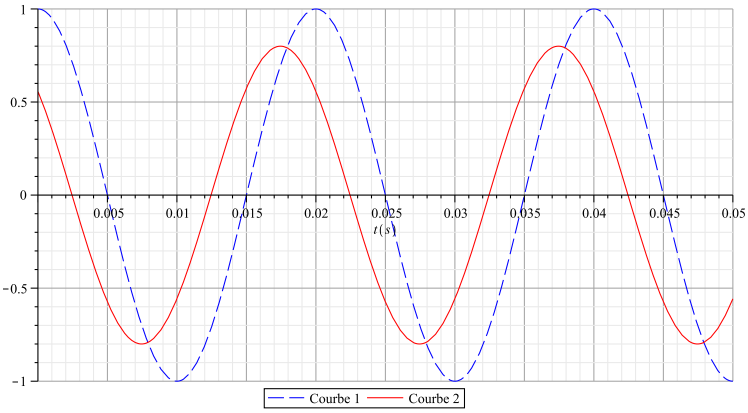


FIGURE 1.1 – La courbe 1 est en pointillés, la courbe 2 en traits pleins.

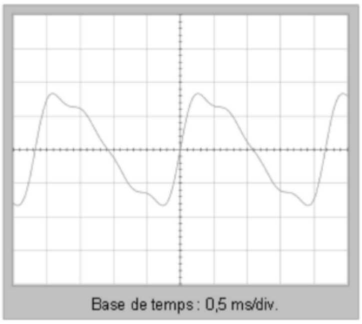
1. Les deux signaux sont-ils synchrones ? Pourquoi ?
2. Le signal correspondant à la courbe 1 est-il en avance ou en retard sur celui correspondant à la courbe 2 ? Quelle est la valeur de cette avance (ou retard) ?
3. Quelle est la fréquence des signaux ?
4. Si on considère que les signaux correspondent à des ondes acoustiques dans l'air à la température ambiante, quelle est leur longueur d'onde ?
5. Que vaut le déphasage entre les deux courbes ?
6. De quelle distance supplémentaire faudrait-il décaler les deux capteurs pour que les signaux reçus soient en phase ? Si on choisit de déplacer uniquement C_2 pour réaliser la condition précédente, est-il plus court de le rapprocher ou de l'éloigner de C_1 ?

I - Signaux en quadrature

1. Rappeler ce que signifie le fait d'être en quadrature pour deux signaux ?
2. On donne $s_1(t) = s_{1m}\cos(\omega\, t)$. Proposer deux expressions de $s_2(t)$, d'amplitude s_{2m} si s_2 est en quadrature avec s_1.
3. Déterminer l'amplitude du signal résultant des interférences entre les deux signaux.
4. Que devient le résultat précédent si $s_{1m} = s_{2m}$?
5. Écrire l'expression temporelle du signal résultant, lorsque $s_{1m} = s_{2m}$ et $\varphi_2 - \varphi_1 = +\frac{\pi}{2}$.

II - Décomposition harmonique

1. L'Oscillogramme ci-contre a été obtenu en enregistrant le signal émis par un micro placé à côté d'une guitare. Déterminer la fréquence du mode fondamental, et des 2 premiers harmoniques.



2. Quelle est la différence entre le spectre d'un son créé par un instrument de musique (une flûte par exemple) et le spectre d'un bruit ? On rappelle qu'un bruit est un signal où toutes les fréquences sont présentes. Expliquer pourquoi on peut utiliser les résultats des ondes harmoniques pour l'étude des sons des instruments.
3. La figure 2 ci-dessous donne l'acquisition d'un son émis par un violon et son spectre. Mesurer la fréquence de la note et sa période. Les résultats sont-ils compatibles entre les deux figures ?

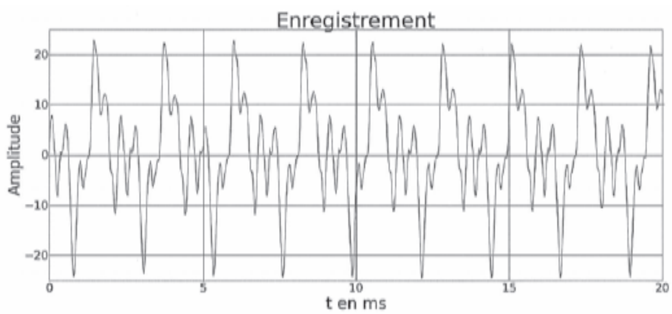


Figure 2.a - Enregistrement d'un son émis par un violon
(l'amplitude est graduée en unité arbitraire)

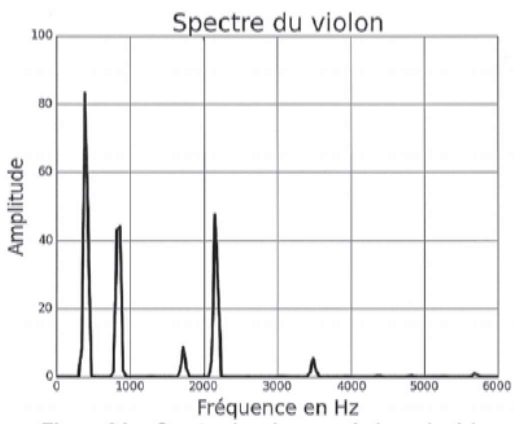


Figure 2.b – Spectre du même son émis par le violon
(l'amplitude est graduée en unité arbitraire)

4. La figure 3 ci-dessous donne les acquisitions de deux sons (émis par une flûte (a) et par un harmonium (b)) qui correspondent à la même note (figure (a)) et le spectre de ces deux instruments (figure (b)) mais qui ont été mélangés. Attribuer à chaque spectre son instrument.

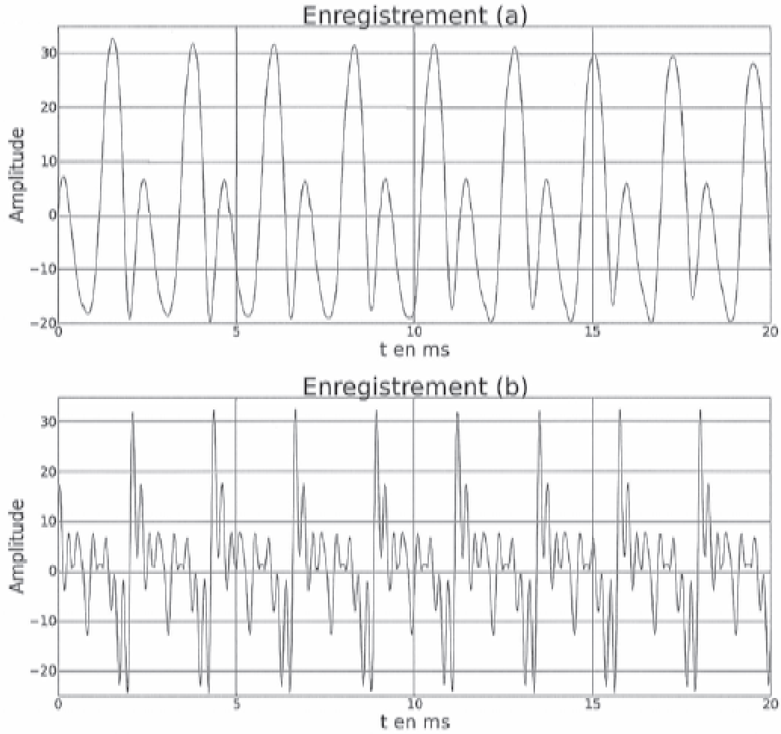


Figure 3.a - Enregistrements de sons émis par une flûte (a) et par un harmonium (b)
(l'amplitude est graduée en unité arbitraire)

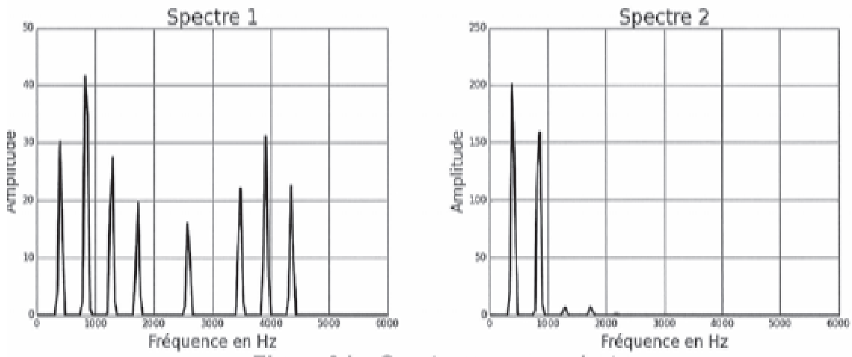


Figure 3.b - Spectres correspondants
(l'amplitude est graduée en unité arbitraire)

III - Interférences en ondes ultrasonores

On branche deux émetteurs d'ultrasons E_1 et E_2 sur le même générateur de signaux sinusoïdaux de fréquence $f = 40\,\text{kHz}$. Les deux émetteurs sont à distance de $a = 12\,\text{cm}$ l'un de l'autre. On place un récepteur d'ultrasons R sur une droite parallèle à $(E_1\,E_2)$ à une distance $d = 45\,\text{cm}$. Le signal délivré par R est envoyé sur un oscilloscope numérique. Lorsqu'on déplace R parallèlement à la droite reliant les deux émetteurs, l'amplitude du signal sinusoïdal observé sur l'oscilloscope varie (voir figure 1.4).

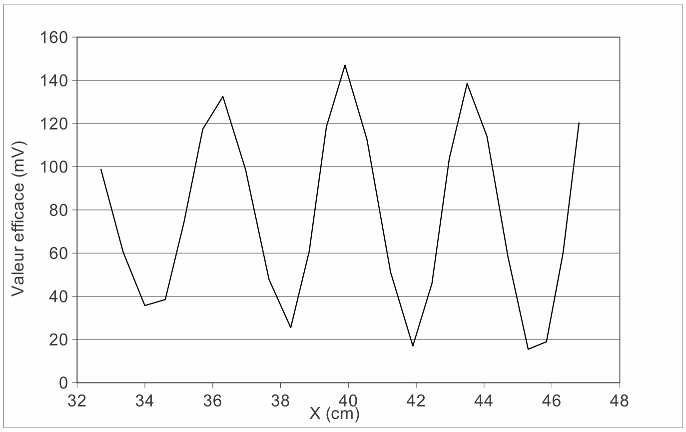


FIGURE 1.4 – Valeur efficace du signal reçu en fonction de la position du capteur

1. Faire un schéma du dispositif expérimental.
2. Si on note d_1 la distance entre l'émetteur E_1 et le capteur R, on peut écrire que, sur E_1, c'est-à-dire lorsque $d_1 = 0$, l'onde émise est de la forme : $s_1(0, t) = s_{1m}\cos(\omega\, t)$ en choisissant la phase à l'origine nulle. Comment s'écrit l'onde reçue par le capteur si seul E_1 est allumé et pour une distance d_1 quelconque ?
3. Écrire de la même façon que précédemment l'onde reçue par le capteur pour une distance E_2R notée d_2 quelconque si seul E_2 est allumé en choisissant la phase à l'origine nulle.
4. Pourquoi peut-on supposer que les phases à l'origine sur les émetteurs sont identiques ?
5. Exprimer maintenant l'onde résultante reçue par le capteur, lorsque les deux émetteurs sont allumés.
6. Exprimer les conditions d'interférences constructives et destructives en fonction de d_1 et d_2.
7. D'après la figure, quelle est l'abscisse X pour laquelle le capteur est positionné sur la médiatrice de E_1E_2 ? On choisit alors de travailler avec une abscisse x centrée en ce point, de façon à ce que la position centrale soit bien en $x = 0$.
8. Exprimer d_1 et d_2, puis $d_2^2 - d_1^2$ en fonction de x, a et d.
9. En remarquant que $d_2^2 - d_1^2 = (d_2 + d_1)(d_2 - d_1)$ et que si $d \gg a$ et $d \gg x$ alors on a $d_1 + d_2 \approx 2\,d$, en déduire une expression approchée de $d_2 - d_1$ en fonction de x, a et d.
10. Déduire des questions précédentes l'expression de l'interfrange i, c'est-à-dire la plus petite distance séparant deux positions du capteurs pour lesquelles les interférences sont constructives. Application numérique.
11. Comparer à ce qui est observé sur la figure.