TRAVAUX DIRIGÉS N°7 DE SIGNAUX PHYSIQUES

Exercice 1

Données :

- *Un son pur est une onde sonore progressive périodique dont la variation réversible de pression en un point donné du milieu est d'allure sinusoïdale.*
- *Un son complexe est une onde sonore progressive périodique dont la variation réversible de pression en un point donné du milieu est d'allure non sinusoïdale.*

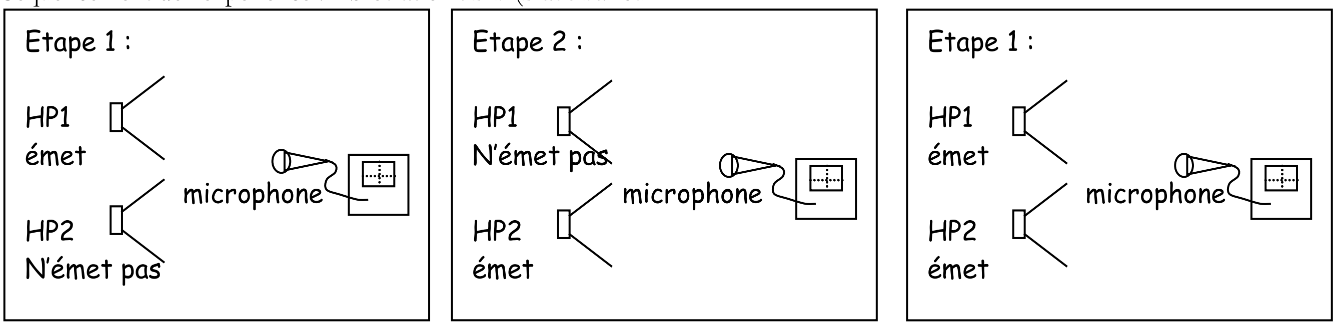
1 Exploitation des données :

1.1 Identifiez l'oscillogramme de l'exercice 2 qui correspondrait à un son « pur ».

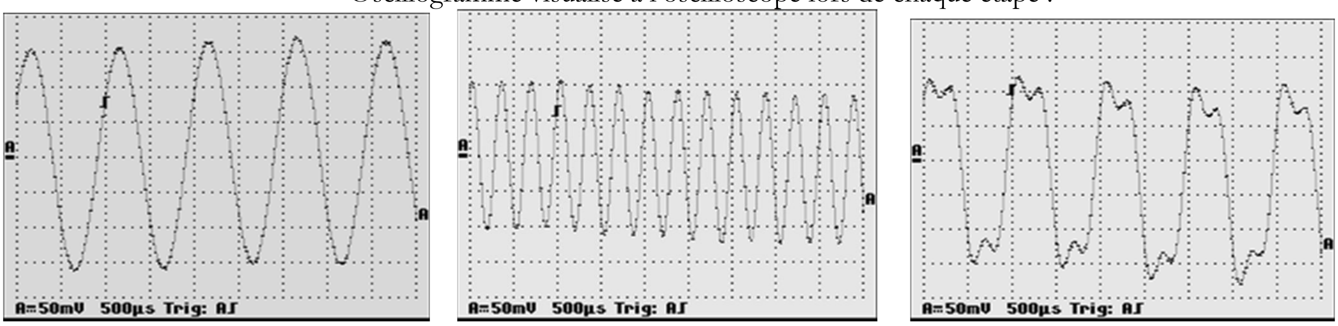
1.2 Identifiez l'oscillogramme de l'exercice 2 qui correspondrait à un son « complexe ».

2 Emission d'un son complexe :

Séquencement de l'expérience : Abréviation : HP (Haut Parleur



Oscillogramme visualisé à l'oscilloscope lors de chaque étape :



2.1 Exploitation de l'étape 1 :

2.1.1 Déterminez la nature du son émis par le haut parleur 1.

2.1.2 Déterminez la valeur de la fréquence du son émis.

2.2 Exploitation de l'étape 2 :

2.2.1 Déterminez la nature du son émis par le haut parleur 2. Justifiez.

2.2.2 Déterminez la valeur de la fréquence du son émis. Justifiez.

2.2.3 Quelle relation lie la valeur de la fréquence du son de l'étape 2 avec celle de l'étape 1 ?

2.3 Exploitation de l'étape 3 :

2.3.1 Déterminez la nature du son émis par les hauts parleurs 1 et 2. Justifiez.

2.3.2 Un technicien affirme que « un son complexe est constitué de sons purs de fréquences multiples ». Qu'en pensez-vous ? Justifiez.

2.3.3 Déterminez la valeur de la fréquence du son émis par les deux hauts parleurs. Justifiez.

2.3.4 Quel son pur émis impose la valeur de la fréquence du son complexe ?

2.3.5 Un technicien affirme que « la valeur de la fréquence du son complexe est imposée par la valeur de la fréquence la plus élevée du son pur contenu dans le son complexe ». Qu'en pensez-vous ? Justifiez.

3 « Décomposition en séries de Fourier » :

Données :

- *Toute onde progressive périodique d'allure non sinusoïdale peut se décomposer en une somme d'ondes progressives périodiques sinusoïdales dont les valeurs des fréquences de ces ondes sont des entiers multiples de la fréquence de l'onde d'allure non sinusoïdale ;*
- *On appelle « le fondamental » l'onde progressive périodique d'allure sinusoïdale dont la valeur de la fréquence correspond à la valeur de la fréquence de l'onde progressive périodique d'allure non sinusoïdale ;*
- *On appelle « harmonique » toute onde progressive périodique d'allure sinusoïdale dont la valeur de la fréquence est un entier multiple de la valeur de la fréquence du fondamental ;*
- *On appelle « rang » de l'harmonique la valeur de l'entier multiple de la fréquence du fondamental.*

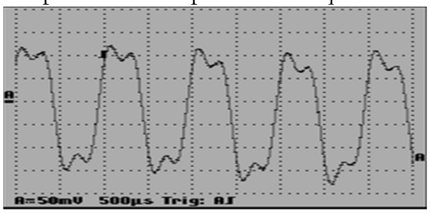
3.1 Quelle est la décomposition en séries de Fourier du son complexe émis lors de l'étape 3 ? Justifiez.

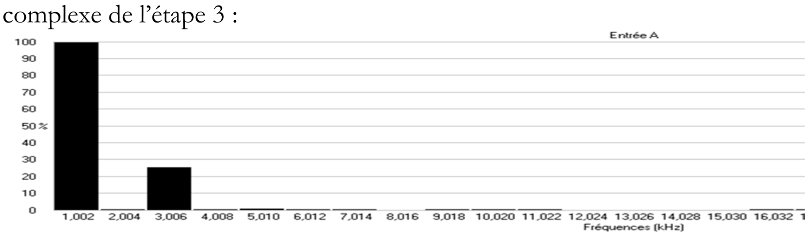
3.2 Parmi les étapes 1 et 2, identifiez l'oscillogramme qui correspond au « fondamental » du son complexe de l'étape 3 ? Justifiez.

3.3 Parmi les étapes 1 et 2, identifiez l'oscillogramme qui correspond à « l'harmonique » du son complexe de l'étape 3 ? Justifiez.
3.4 Déterminez le rang de l'harmonique du son complexe de l'étape 3. Justifiez.
3.5 Quelle est la décomposition en série de Fourier du son pur émis lors de l'étape 1 ? Justifiez.
3.6 Quelle est la décomposition en séries de Fourier du son pur émis lors de l'étape 2 ? Justifiez.
4. A propos de la notion de « spectre en fréquence » :
Données :

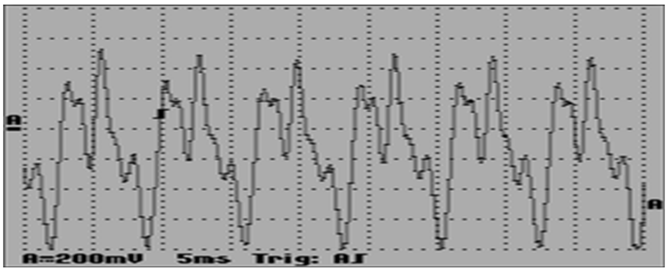
- *Le « spectre en fréquence » est la représentation graphique de la décomposition en série de Fourier de toute onde progressive périodique d'allure non sinusoïdale ;*

41 Exploitation du spectre en fréquence du son complexe de l'étape 3 :



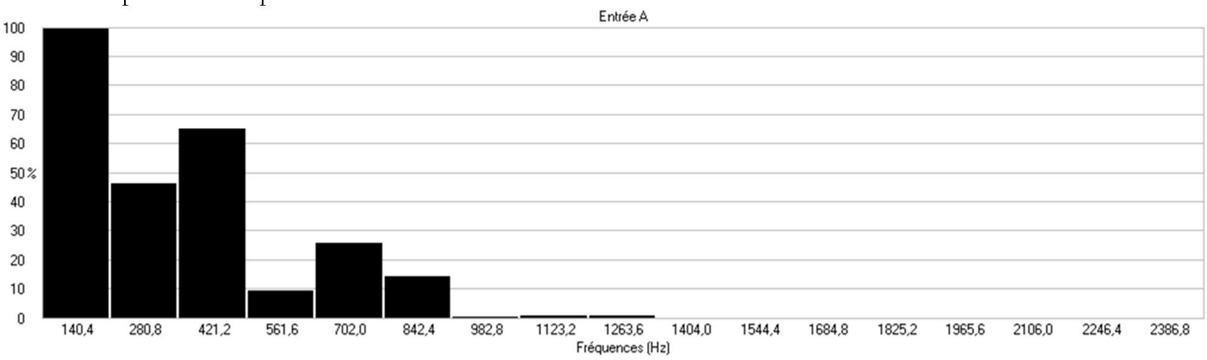


4.1.1 Quelle est la valeur de la fréquence du fondamental ?
4.1.2 Combien d'harmoniques sont contenus dans le son complexe de l'étape 3 ?
4.1.3 Quelle est la valeur de la fréquence du premier harmonique ?
4.2 Exploitation de l'oscillogramme du son « oh » :



4.2.1 Quelle est la nature du son « oh » ? Justifiez.
4.2.2 Déterminez la valeur de la fréquence du son « oh ».
4.2.3 Déterminez la valeur de la fréquence du fondamental du son « oh ». justifiez.
4.2.4 Le son « oh » possède t'il des harmoniques ? Justifiez.

4.3 Exploitation du spectre en fréquence du son « oh » :



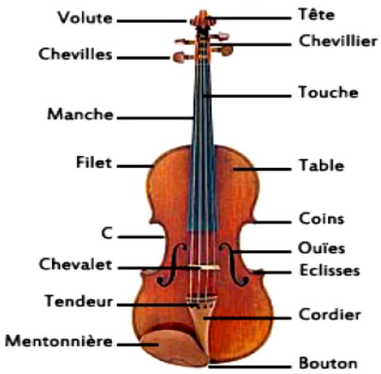
4.3.1 Quelle est la valeur de la fréquence du fondamental ?
4.3.2 La valeur de la fréquence du fondamental indiquée dans le spectre est-elle cohérente avec celle du son « oh » déterminée à l'oscilloscope ?
4.3.3 Combien d'harmoniques sont contenus dans le son « oh » ?
4.3.4 Quelle est la valeur de la fréquence du premier harmonique ?
4.3.5 Quelle est la valeur de la fréquence de l'harmonique de rang 3 ?
4.3.6 Quelle est l'amplitude de l'harmonique 4 ?

Exercice 2

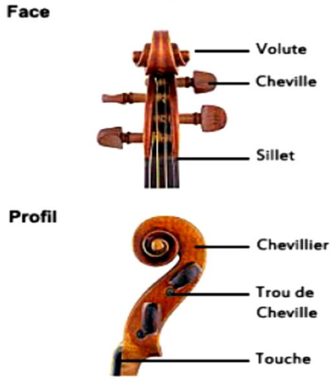
On donne dans le tableau ci-dessous les fréquences fondamentales des notes de la gamme tempérée pour les premières octaves.
Une corde de violon de longueur $L_0 = 39,6\ cm$ entre le sillet et le chevalet (considérés comme les points d'attache de la corde) donne la note sol_3. Le violoniste a la possibilité de poser un doigt sur la corde et de la bloquer contre le manche, changeant ainsi la longueur de la partie vibrante de la corde afin de jouer d'autres notes.

Fréquences des hauteurs (en hertz) dans la gamme tempérée								
Note\octave	0	1	2	3	4	5	6	7
Do	32,70	65,41	130,81	261,63	523,25	1046,50	2093,00	4186,01
Do♯ ou Ré ♭	34,65	69,30	138,59	277,18	554,37	1108,73	2217,46	4434,92
Ré	36,71	73,42	146,83	293,66	587,33	1174,66	2349,32	4698,64
Ré♯ ou Mi ♭	38,89	77,78	155,56	311,13	622,25	1244,51	2489,02	4978,03
Mi	41,20	82,41	164,81	329,63	659,26	1318,51	2637,02	5274,04
Fa	43,65	87,31	174,61	349,23	698,46	1396,91	2793,83	5587,65
Fa♯ ou Sol ♭	46,25	92,50	185,00	369,99	739,99	1479,98	2959,96	5919,91
Sol	49,00	98,00	196,00	392,00	783,99	1567,98	3135,96	6271,93
Sol♯ ou La ♭	51,91	103,83	207,65	415,30	830,61	1661,22	3322,44	6644,88
La	55,00	110,00	220,00	440,00	880,00	1760,00	3520,00	7040,00
La♯ ou Si ♭	58,27	116,54	233,08	466,16	932,33	1864,66	3729,31	7458,62
Si	61,74	123,47	246,94	493,88	987,77	1975,53	3951,07	7902,13

Violon - Fig 1



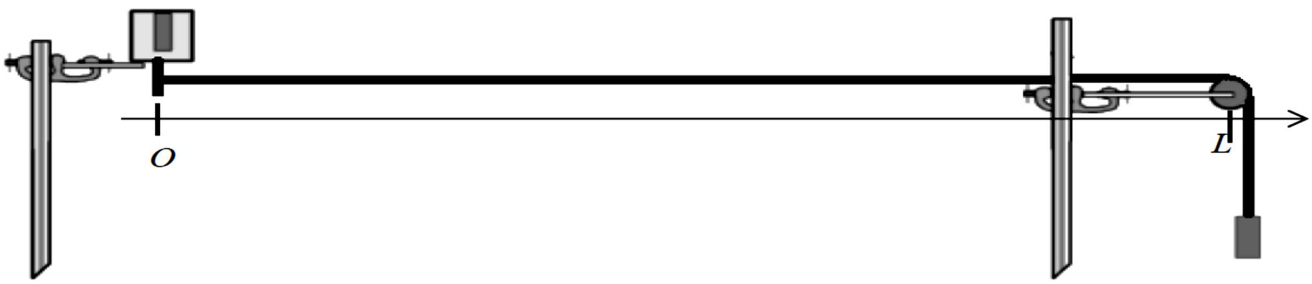
Tête du Violon - Fig 2



La longueur de corde sur laquelle il peut agir est de 17 cm à partir d'une distance égale à 3 cm du sillet.
1- Préciser par le calcul la note la plus aigüe et la plus grave qui peuvent être jouées en posant un doigt sur la corde.
2a- Sur cette corde, le musicien souhaite jouer la note Si_3. A quelle distance du sillet doit-il poser son doigt ?
2b- Quelles fréquences fondamentales seront associés aux sons émis si le musicien fait une erreur de position de son doigt de 5 mm ?
2c- En admettant qu'une oreille entraînée soit capable de détecter une fausse note si la variation relative de fréquence fondamentale entre la note jouée et la note théorique est au moins 2 %, remarque-t-on une fausse note dans le cas précédent ?

Exercice 3

On considère une corde de Melde de longueur $L = 1\ m$, tendue entre un vibreur et une poulie. Le vibreur en $x=0$, impose un mouvement vertical à la corde : $y(t) = a\sin(\omega t)$, avec $a = 0,5\ cm$. L'autre extrémité de la corde, en $x = L$, sur la poulie, est immobile. On considère que lorsque la corde est en résonance, l'onde stationnaire établie est la superposition d'une onde progressive sinusoïdale $y_1(x,t)$ dans le sens donné par $\vec{u}_x$, d'amplitude Y_1 de même pulsation ω que le vibreur, de vecteur d'onde k, de longueur d'onde λ, de phase à l'origine φ_1 et d'une onde progressive sinusoïdale $y_2(x,t)$ de sens opposé $(-\vec{u}_x)$, d'amplitude Y_2, de même pulsation ω, de même vecteur d'onde k, de même longueur d'onde λ et de phase à l'origine φ_2.



1- Ecrire les expressions de $y_1(x,t)$ et de $y_2(x,t)$.

2- Déterminer l'expression de l'onde stationnaire $y(x,t) = y_1(x,t) + y_2(x,t)$. Montrer que l'onde stationnaire peut se mettre sous la forme : $y(x,t) = Y_0 \sin(\omega t)\sin(k(L-x))$. On exprimera Y_0 en fonction de a, k et L. Rappel : $\cos a - \cos b = 2\sin\left(\frac{a+b}{2}\right)\sin\left(\frac{b-a}{2}\right)$.

3a- La corde étant en résonance au mode propre fondamental, que vaudrait l'amplitude Y_0 si on observait un fuseau entier sur la corde ? Comment devrait être l'amplitude du vibreur a pour qu'on observe effectivement un fuseau entier ?
3b- En réalité on n'observe pas tout à fait un fuseau complet au mode propre fondamental et l'amplitude crête à crête maximale de vibration mesurée au ventre est égale à $2A = 10\,cm$. Calculer la longueur d'onde λ. En déduire la fraction de fuseau effectivement observée.

Exercice 4

On considère une corde verticale de longueur $L = 2\ m$ à laquelle on associe un système d'axes cartésiens (Ox, Oy), l'axe Ox étant vertical descendant. L'extrémité inférieure D de la corde est libre.
Le point source $O(x=0)$, où est attachée la corde, est animé d'un mouvement transversal initié par un vibreur : $y(0,t) = Y_0 \cos(\omega t)$, avec $y_0 = 0,2\ cm$, $\omega = 10\pi\ rad.s^{-1}$.
A la résonance, une onde stationnaire s'établit le long du fil. Cette onde est décrite par la fonction : $y(x,t) = A\cos(kx + a).\cos(\omega t + \varphi)$, où k est « le vecteur d'onde » associé à la longueur d'onde λ.
À la résonance, l'extrémité libre D (en $x{=}L$) de la corde est toujours un ventre de vibration.
1- On considère dans cette question uniquement que le point O est un nœud de vibration. On donne la célérité des ondes sur la corde : $c = 8\,m.s^{-1}$.
1a- Quelle longueur minimale doit avoir la corde pour observer une onde stationnaire résonante ?
1b- Observe-t-on un mode propre de résonance sur la corde de longueur $L = 2\ m$ ou $L' = 2,4\ m$? Si oui, combien de nœuds observe-t-on sur la corde ? Calculer la longueur d'onde λ_0 de l'onde stationnaire.
2- On tient compte désormais du déplacement transversal du point O initié par le vibreur $(L = 2\ m)$.
2a- Déterminer φ et la relation entre A , y_0 et a .
2b- Etablir l'expression de A en fonction de y_0 , λ_0 et L . Qu'obtiendrait-on pour A si on considère que O est un nœud ? Commenter.

Exercice 5

Toutes les valeurs numériques sont données avec leur incertitude élargie à un niveau de confiance de 95%. Une corde de guitare est en acier de masse volumique $\rho = 7{,}87.10^3 \pm 3\ \mathrm{Kg}.m^{-3}$. La corde a un diamètre $D = 0{,}300\ \pm 0{,}001$ mm. La longueur de la corde est $L = 64{,}0 \pm 0{,}2\ cm$. La tension de la corde est $T = 100 \pm 1N$. On rappelle que la célérité d'une onde progressive sur une corde est donnée par $c = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$.

1. Calculer la célérité c.
2. Calculer l'incertitude de mesure (incertitude élargie) associée à un niveau de confiance de 95%.
3. Calculer la longueur d'onde du mode fondamental et sa fréquence fondamentale.

Exercice 6

Le didjeridoo est un instrument à vent utilisé par les aborigènes du nord de l'Australie. En le simplifiant, on peut le représenter comme un tuyau sonore cylindrique de longueur L , fermé à une extrémité et ouvert à l'autre. Lorsqu'une onde stationnaire s'établit dans un tuyau cylindrique, on observe un nœud (N) de vibration à une extrémité si celle-ci est fermée, et un ventre (V) de vibration si cette extrémité est ouverte.
On note c la célérité du son dans l'air

1) Exprimer la fréquence f_1 du fondamental en fonction de c et L .
2) Quelle devrait être la longueur minimale d'un tuyau ouvert aux deux extrémités (type flute) pour donner le même fondamental (aussi appelé note de même hauteur) qu'un didjeridoo ?

On analyse maintenant un son envoyé dans un tuyau AB de longueur $L = 80\,cm$ par l'intermédiaire d'un haut-parleur placé à l'extrémité B du tuyau. Le son émis est sinusoïdal de fréquence $f = 850\,\mathrm{Hz}$. On déplace un micro à l'intérieur du tube et on mesure les amplitudes suivantes en fonction de la position d du micro par rapport à l'extrémité A du tuyau. On obtient le tableau suivant

d (cm)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
V (mV)	0,2	11,3	16	11,4	0,2	11,2	16	11,5	0,15	11,1	16	11,6	0,3	11	16	11,7	0,3

3) Qu'observe-t-on aux extrémités du tuyau ?
4) Déterminer la célérité du son dans l'air contenu dans le tuyau à la température de l'expérience.
5) Quel est l'harmonique correspondant à ce mode de vibration ? Quelle est la fréquence du mode fondamental ?

Exercice 7

Analyser la figure ci-dessous. On commencera par une analyse qualitative, puis on en fera une étude quantitative (fréquences, amplitudes).