

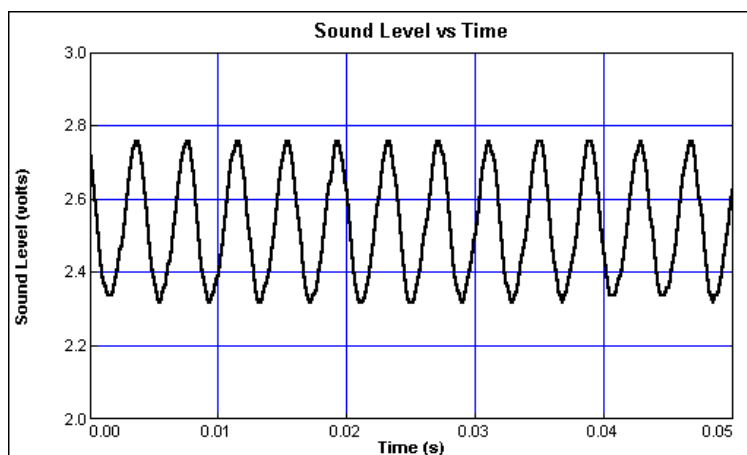
# Ondes sonores et battements

Les ondes sonores consistent en séries de variations de la pression de l'air. Le diaphragme d'un microphone capte ces variations en se déplaçant en réponse aux variations de la pression : Ce mouvement est ensuite converti en signaux électriques. Avec un microphone connecté à un ordinateur, on peut explorer les propriétés de sons ordinaires.

La première propriété que vous mesurerez est la *période*, soit la durée d'un cycle complet de variation. Comme la période est un temps, on la note habituellement  $T$ . L'inverse de la période ( $1/T$ ) est appelée la *fréquence*,  $f$ , c'est le nombre de cycles complets par seconde. La fréquence se mesure en Hertz (Hz).  $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$ .

L'*amplitude* est une deuxième propriété du son. En variant, la pression de l'air devient plus haute ou plus basse que la pression moyenne ambiante. La variation maximale au-dessus ou en dessous de la moyenne est appelée l'amplitude. L'amplitude d'un son est liée de près à sa "force".

Quand deux ondes sonores sont émises, leurs variations de pression se combinent. Pour des ondes sonores, cette combinaison est additive. On dit que les ondes obéissent au *principe de superposition linéaire*. Le battement est un exemple de superposition. Deux sons de fréquence presque égale créeront une variation de l'amplitude sonore, que nous appelons battement. On peut étudier ce phénomène avec un microphone, une interface de laboratoire et un ordinateur.



## OBJECTIFS

- Mesurer la fréquence et la période d'ondes sonores émises par des diapasons.
- Mesurer l'amplitude d'ondes sonores émises par des diapasons.
- Observer les battements entre les ondes émises par deux diapasons.

## MATERIEL

Power Macintosh  
LabPro  
Microphone Vernier

Logger Pro  
2 diapasons ou clavier électronique



## QUESTIONS PREALABLES

1. Pourquoi certains instruments sont-ils accordés avant de jouer en groupe? Comment les musiciens s’y prennent-ils pour accorder leurs instruments?
2. Comme les ondes sonores sont des séries d’augmentations et de diminutions de la pression de l’air, que se passerait-il si l’augmentation d’une onde sonore était située au même lieu et en même temps que la diminution d’une autre onde de la même amplitude

## PROCEDURE

1. Connectez le Microphone Vernier au Channel 1 du LabPro.
2. Ouvrez le fichier dans le dossier Experiment 21 de *Physics with Computers*. L’ordinateur va mesurer des données pendant juste 0.05 s tant les variations de pression des ondes sonores sont rapides. L’axe vertical correspond à la variation de la pression de l’air dans des unités arbitraires


### Partie I Ondes simples

3. Avec un diapason ou un clavier électronique placé près du microphone, produisez un son et cliquez sur . Les données devraient être sinusoïdales, comme sur l’échantillon de la page précédente. Si vous utilisez un diapason, frappez-le avec un objet assez mou, comme un maillet de caoutchouc ou une semelle en caoutchouc. Le diapason peut être endommagé si on le frappe avec un objet trop dur. Si vous frappez trop ou pas assez fort, la forme du signal peut être vilaine, dans ce cas, essayez à nouveau.
4. Notez l’allure du graphique. Comptez et notez le nombre de cycles complets montrés après le premier pic de vos données...
5. Cliquez sur le bouton Examine, . En déplaçant la souris sur le graphique, notez les temps correspondant aux premier et dernier pics de l’onde. Divisez la différence,  $t$ , par le nombre de cycles pour déterminer la période du diapason.
6. Calculez la fréquence du diapason en Hz et notez-la dans le tableau des données.
7. En déplaçant la souris sur le graphique, notez les valeurs y maximum et minimum pour un pic et un creux adjacents...
8. Calculez l’amplitude de l’onde en prenant la moitié de la différence entre le maximum et le minimum. Notez ces valeurs dans le tableau des données.
9. Imprimez le graphique.
10. Sauvez vos données en sélectionnant Store Latest Run dans le menu Data. Cachez les en sélectionnant Hide Run ► Run 1 dans le menu Data.
11. Répétez les étapes 3 – 9 pour la seconde fréquence. Sauvez les dernières données sous Run 2. Puis cachez Run 2.

### Partie II Battements

12. Deux sons purs de fréquences différentes émis ensemble donneront lieu à un phénomène appelé battement. Parfois les ondes se renforcent et parfois elles se réduisent mutuellement,

de façon régulière à cause de la fréquence fixe de chaque son. Pour observer le battement, frappez les deux diapasons en même temps et écoutez. Si le battement est assez lent, vous devriez pouvoir entendre la variation de l'intensité. Si le battement est rapide un seul son, qui n'est plus pur, se fait entendre.

13. Collectez les données des deux sons. Vous devriez voir une variation de l'amplitude au cours du temps. Pour cela, il faut frapper les deux diapasons avec la même force et les tenir à la même distance du micro. Lorsque vous obtenez une fonction d'onde propre, sélectionnez Store Latest Run dans le menu Data. Le battement sera stocké sous Run 3.
14. La figure est complexe, avec une variation lente de l'amplitude qui enveloppe une variation plus rapide. Ignorez la variation plus rapide, et vous concentrant sur l'enveloppe, comptez le nombre de maxima d'amplitude après le premier maximum et notez le dans le tableau des données.
15. Cliquez sur le bouton Examine, . En déplaçant la souris sur le graphique, notez les temps correspondant aux premier et dernier maxima d'amplitude. Divisez la différence,  $t$ , par le nombre de cycles pour déterminer la période de battement (en s). Calculez la *fréquence de battement* en Hz à partir de la période. Notez ces valeurs dans le tableau des données...

## TABLEAU DES DONNEES

### Part I Ondes Simples

Diapason ou note	Nombre de cycles	Premier maximum (s)	Dernier maximum (s)	$t$ (s)	Période (s)	Fréquence calculée (Hz)

Diapason ou note	Pic (V)	Creux (V)	Amplitude (V)

Diapason ou note	Paramètre A (V)	Paramètre B ( $s^{-1}$ )	$f = B/2$ (Hz)

### Part II Battements

Nombre de cycles	Premier maximum (s)	Dernier maximum (s)	$t$ (s)	Période de battement (s)	Fréquence de battement calculée (Hz)



## ANALYSE


### Partie I Ondes simples

1. Dans cette analyse, vous verrez comment une fonction sinus peut s'ajuster aux données. Le déplacement des particules dans un milieu portant une onde périodique peut être modélisé par une fonction sinusoïdale. Dans les manuels, vous trouverez des expressions du type:

$$y = A \sin(2\pi f t)$$

Dans le cas du son, une onde longitudinale,  $y$  est la variation de la pression de l'air qui constitue l'onde.  $A$  est l'amplitude de l'onde (une mesure de l'intensité du son), et  $f$  est la fréquence. Le temps est représenté par  $t$  et la fonction sinus requiert un facteur  $2\pi$  quand elle est évaluée en radians.


Logger *Pro* va ajuster la fonction  $y = A * \sin(B*x + C) + D$  aux données expérimentales.  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , et  $D$  sont des paramètres (nombres) que Logger *Pro* donne après un ajustement. Cette fonction est plus compliquée que le modèle donné précédemment, mais la forme sinusoïdale de base reste la même. Si on compare les deux fonctions terme à terme, l'amplitude  $A$  correspond au terme d'ajustement  $A$ , et  $2\pi f$  correspond au paramètre  $B$ . Le temps  $t$  est représenté par le  $x$ , l'axe  $x$  de Logger *Pro*s. Les nouveaux paramètres  $C$  et  $D$  décalent la fonction ajustée sur les axes horizontal et vertical respectivement et sont nécessaires à un ajustement correct. Seuls les paramètres  $A$  et  $B$  sont importants pour la présente expérience. En particulier, la valeur numérique de  $B$  vous permet de trouver la fréquence  $f$  avec  $B = 2\pi f$ . Sélectionnez Show ▶ Run 1 dans le menu Data pour montrer la fonction d'onde du premier son tone. Cachez les autres données. Cliquez sur le bouton Curve Fit , , sélectionnez "A\*sin(B\*x +C) + D" dans la liste des modèles et "Sound Level Run 1" dans la liste Perform Fit On . Cliquez sur  pour faire l'ajustement.

2. Cliquez  pour revenir au graphique. Le modèle et ses paramètres apparaissent dans une boîte flottante dans le coin supérieur gauche du graphique. Notez les paramètres  $A$  et  $B$  du modèle dans votre tableau de données.
3. Comme  $B$  correspond à  $2\pi f$  dans l'ajustement, utilisez cette information pour calculer la fréquence. Entrez sa valeur dans le tableau des données. Comparez cette fréquence à la fréquence calculée précédemment. Laquelle devrait être la plus exacte? Pourquoi?
4. Comparez le paramètre  $A$  à l'amplitude de l'onde.
5. Cachez Run 1 et montrez Run 2, la deuxième onde. Répétez les étapes 1 – 4 pour Run 2.

### Partie II Battements

6. Comment combiner les deux fréquences individuelles pour obtenir la fréquence de battement que vous avez mesurée? Comparez votre conclusion à l'information que peuvent vous apporter les manuels

## EXTENSIONS

1. Les battements observés dans Run 3 résultent de l'addition des ondes sonores des deux diapasons. Si les ondes sonores se combinent par une simple addition, alors la somme algébrique des données des ondes individuelles devraient être similaires aux données du battement. Les étapes suivantes vous aideront à faire cette addition
  - a. Montrez les Runs 1 et 2 et cachez les autres. Ce sont les ondes des deux notes prises individuellement.
  - b. Dans la fenêtre (Window) Table, localisez Run 1. Cliquez une fois sur la tête de la colonne Sound pour sélectionner toute la colonne de données.
  - c. Choisissez Copy dans le menu Edit pour copier les données.
  - d. Déroulez le tableau vers Run 2 et localisez la colonne "Add." Maintenez enfoncée la touche de commande (Macintosh) et cliquez dans la première cellule de la colonne Add. Cela prépare la colonne pour l'entrée. Choisissez Paste dans le menu Edit pour coller les données copiées du Run 1 dans la colonne Add de Run 2.
  - e. La Table est prévue pour calculer la somme des deux colonnes dans une colonne appelée "Sum." Pour conserver la même échelle qu'avant, la Sum est ensuite divisée par deux. Visionnez la somme graphiquement en cachant les Runs 1 et 3, puis en montrant Run 2. Cliquez sur l'étiquette de l'axe y pour montrer le dialogue de sélection de l'axe y et ôtez toutes les coches à l'exception de la colonne Sum. Cliquez . Vous verrez maintenant la somme mathématique des Runs 1 et 2 (mais divisée par deux pour l'échelle). Comparez ceci aux données de battement en cachant Run 2 et en montrant Run 3. (Il est difficile de voir avec les deux graphiques à l'écran à la fois) Cliquez sur l'étiquette de l'axe pour sélectionner seulement la colonne Sound. En quoi la somme est-elle similaire aux données de mesure? En quoi est-elle différente? Les graphiques sont-ils en accord avec le modèle de la superposition additive? Si la superposition était multiplicative, cela changerait-il le graphique
2. Il existe des produits dans le commerce, appelés *active noise cancellers*, consistant en un ensemble de casque à écouteurs, microphones et de l'électronique. Prévu pour être porté dans un environnement bruyant où l'utilisateur doit pouvoir entendre (par exemple des communications radio), les écouteurs réduisent le bruit bien au-delà de la simple isolation phonique du casque: Comment ce dispositif fonctionne-t-il?
3. L'identité trigonométrique

$$\sin x + \sin y = 2 \sin \frac{x+y}{2} \cos \frac{x-y}{2}$$

est utile pour faire le modèle du battement. Montrez comment la fréquence de battement que vous avez mesurée ci-dessus peut être prédite en utilisant deux ondes sinusoïdales de fréquences  $f_1$  et  $f_2$ , dont les variations de pression sont données par  $\sin(2\pi f_1 t)$  et  $\sin(2\pi f_2 t)$ .

4. Dans les battements, on fait surtout attention à la variation globale d'intensité. Utilisez les outils d'analyse pour déterminer la fréquence de la variation à l'intérieur de l'enveloppe, et trouver le lien avec les fréquences des deux ondes émises.
5. Examinez l'allure du graphique obtenu en jouant deux notes adjacentes sur un clavier. Qu'est-ce qui change, et qu'est-ce qui reste pareil, lorsque les deux notes sont plus écartées?