

Instructions

Démonstrations

Expérimentations

Données analytiques

Manuel d'Instructions

Vibreux de corde

WA-9857



Sommaire

Introduction	3
Installation de l'équipement	4
Activité d'initiation	8
Démonstration 1 : Densité de corde et longueur d'onde	9
Démonstration 2 : Analogie du tube fermé	11
Expérimentation 1 : Vitesse de propagation d'onde	13
Expérimentation 2 : Ondes stationnaires	17
Expérimentation 1 : Note du professeur – Vitesse de propagation d'onde	21
Expérimentation 2 : Note du professeur : Ondes stationnaires	23

Vibreur de corde

Modèle No WA-9857



Équipement inclus

Référence des pièces

Vibreur de corde
 Transformateur
 Corde à onde (3 mètres, non représentée)

WA-9857
 540-050
 SE-9409

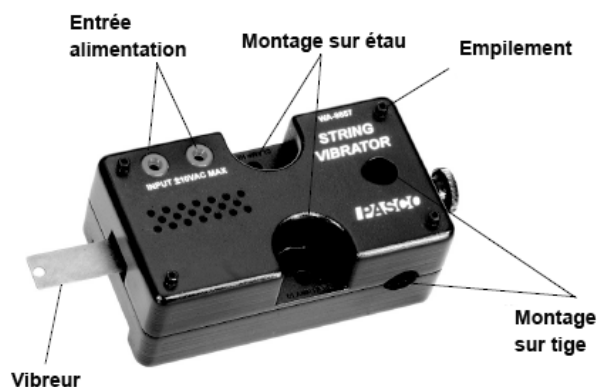
Les démonstrations et expérimentations décrites dans ce manuel nécessitent du matériel supplémentaire. Pour plus d'informations, se référer à la liste d'équipement de chaque activité.

Introduction

Le vibreur de corde WA-9857 permet de produire une onde stationnaire à l'aide d'une corde rigide ou élastique. Avec cet appareil, vous pouvez étudier les notions de fréquence, longueur d'onde, et résonance, ainsi que les paramètres ayant un impact sur ces grandeurs. Il est recommandé pour les démonstrations en classe et les travaux pratiques.

Le vibreur de corde utilise un système bobine-aimant pour faire entrer en vibration une lame en acier inoxydable à laquelle vous attachez une corde rigide ou élastique. Le signal de vibration (cas d'onde persistante) est généré grâce au transformateur (passage en courant continu). Dans le cas où vous souhaitez obtenir un signal variable, un générateur alternatif comme le générateur WA-9867 est requis.

Installation de l'équipement



Energie

Raccorder le transformateur au vibreur de corde puis brancher le transformateur sur le secteur. Le courant continu produit par le transformateur permet au vibreur de corde de générer une onde de fréquence et d'amplitude constantes. La fréquence de fonctionnement est conditionnée par la nature du courant fourni au niveau du secteur (50 ou 60 Hz dans la plupart des pays).

Si vous souhaitez appliquer au vibreur de corde un signal variable, vous pouvez utiliser n'importe quel générateur capable de produire un courant alternatif d'amplitude 10V et d'intensité allant jusque 1A, comme par exemple le générateur de signaux sinusoïdaux (Réf WA-9867).

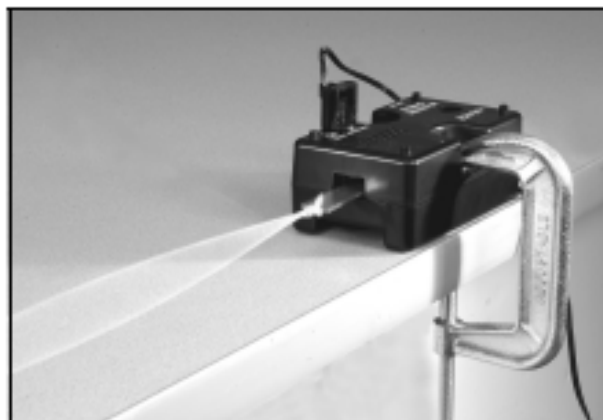
Option de montage

Le vibreur de corde peut être attaché au plan de travail de plusieurs manières

En étau

Le vibreur de corde possède deux points d'attache lui permettant d'être fixé avec un étau sur le plan de travail. Vous devez utiliser un étau assez large capable d'englober dans son entrefer l'épaisseur du plan de travail plus 3cm.

L'étau PASCO Small C-Clamp (SE-7286, vendu par 6) permet de fixer le vibreur de corde sur un plan de travail d'une épaisseur allant jusque 5 cm. L'étau PASCO Large C-Clamp est compatible avec des plans de travail d'une épaisseur allant jusque 7cm.



Sur axe

Le vibreur de corde peut également être fixé sur un axe horizontal ou vertical d'un diamètre allant jusque (12,7mm). Faites glisser l'axe à travers le boîtier dans l'orientation voulue et serrer avec la vis prévue à cet effet.

Le support Universal Table Clamp (ME-9472) et l'axe de 45 cm (ME-8736) sont particulièrement adaptés à cet usage car ils permettent de fixer l'axe verticalement au bord du plan de travail.

Montage permanent

Deux orifices aménagés dans le boîtier permettent de fixer le vibreur de corde sur une surface plane. Placer une rondelle en dessous de chaque tête de vis pour protéger le plastique du boîtier.



Installation de la corde

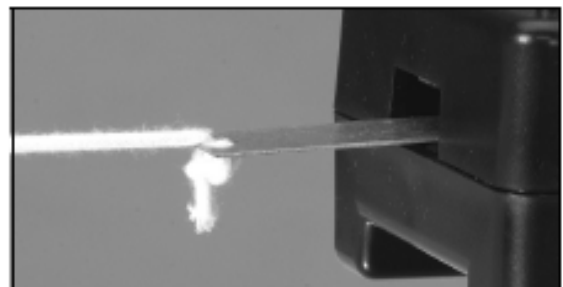
Choix de la corde

La corde élastique fournie avec le vibreur est adaptée pour les démonstrations ainsi que de nombreux travaux pratiques. La corde élastique est facile à utiliser, produit de bonnes amplitudes et ne nécessite pas de masse suspendue pour produire une tension, mais sa densité linéaire n'est pas constante lorsqu'elle est tendue. Pour les expérimentations visant à mettre en évidence la relation entre la longueur d'onde et la densité de la corde, il est préférable d'utiliser une corde rigide, comme la corde tressée (SE-8050) ou la corde jaune (ME-9876).

Fixation de la corde

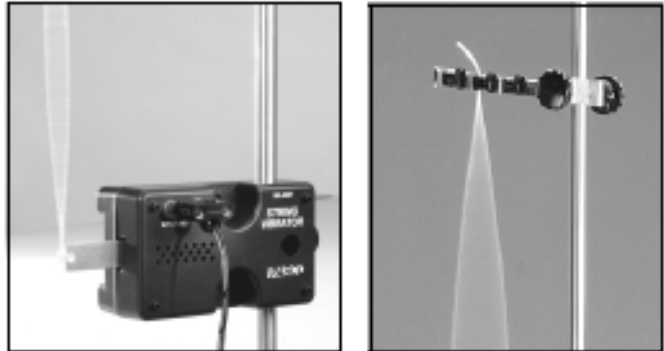
Si vous utilisez la corde élastique, ou toute autre corde épaisse, passez la à travers l'orifice de la lame métallique, faites un nœud libre ne passant pas à travers le trou quand vous tirez sur la corde. Si l'extrémité de la corde est usée, ajuster la pour faciliter le passage à travers l'orifice.

Si vous utilisez une corde fine, enfiler la à travers l'orifice de la lame et nouez la en boucle autour de l'orifice.



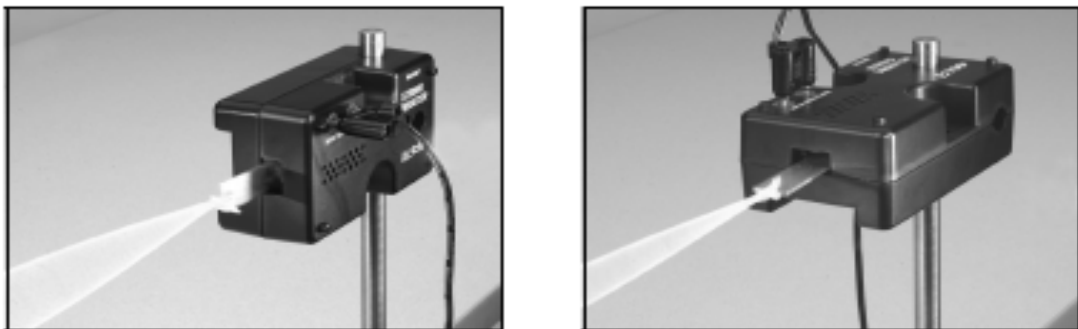
Corde verticale

La configuration verticale est pratique pour les démonstrations en cours. Elle nécessite un axe vertical et un composant de fixation horizontal au sommet de l'axe comme un support de pendules (SE-9443) pour attacher la corde élastique. Pour ajuster la longueur et la tension, déplacer le support verticalement sur l'axe.



Corde horizontale

Les images ci-dessous montrent deux possibilités pour la configuration horizontale. Comme les ondes stationnaires produites peuvent parfois vibrer dans un plan, il peut être nécessaire de tourner le boîtier afin de visualiser les ondes.



Sur la photo de gauche, l'onde est visible du dessus, mais elle n'est pas facilement visible pour des élèves assis dans la salle de classe. Comme explicité sur la photo de droite, l'onde est visible latéralement, configuration la plus pratique pour des démonstrations.

Appliquer une tension à une corde rigide

Lorsque vous utilisez la corde rigide, il est nécessaire d'y appliquer une tension. Cela peut être effectué à l'aide de la corde en configuration horizontale, d'une masse suspendue, d'une poulie et d'un étau comme précisé ci-contre. La tension sur la corde est corrélée au poids de la masse suspendue.



Bon et mauvais nœuds

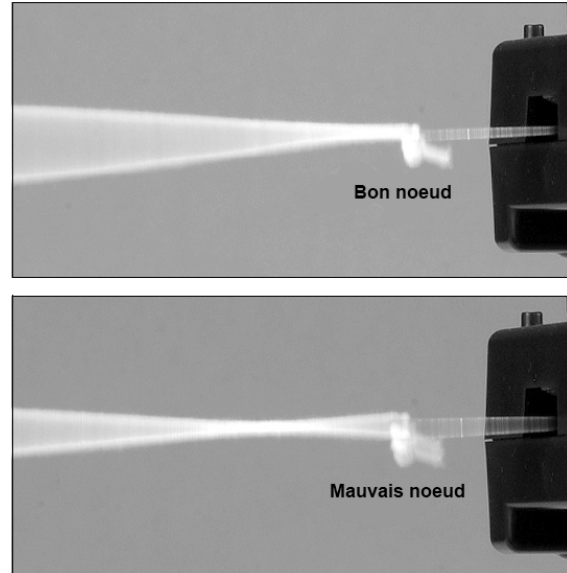
La plupart des démonstrations et expérimentations nécessitent d'ajuster la longueur, la tension ou la fréquence pour produire un modèle d'onde stationnaire. Il est tentant de ne considérer que l'amplitude de l'onde et de la produire la plus grande possible; mais il est également important de s'assurer que les nœuds sont bien réalisés, en particulier le nœud sur la lame métallique vibrante.

Vérifier l'extrémité de la lame vibrante. Il doit y avoir un nœud au point d'attache, comme précisé sur la première photo de droite.

La deuxième photo est un exemple de mauvais nœud.

La lame provoquant un bruit métallique sur le boîtier en plastique indique un mauvais nœud.

La méthode à employer pour corriger un mauvais nœud dépend du type d'installation expérimentale. Avec la corde élastique, l'ajustement se fait généralement à la fois sur la longueur en déplaçant une des extrémités. Avec une corde rigide, accompagnée d'une poulie et d'une masse suspendue, vous pouvez ajuster la longueur de la corde en déplaçant le vibreur de corde, ou ajuster la tension en changeant la masse suspendue. Avec les deux types de corde, si vous utilisez un générateur à fréquence alternative, vous pouvez modifier la fréquence.



Rangement

Les boîtiers sont emboîtables pour faciliter le rangement.



Activité d'initiation

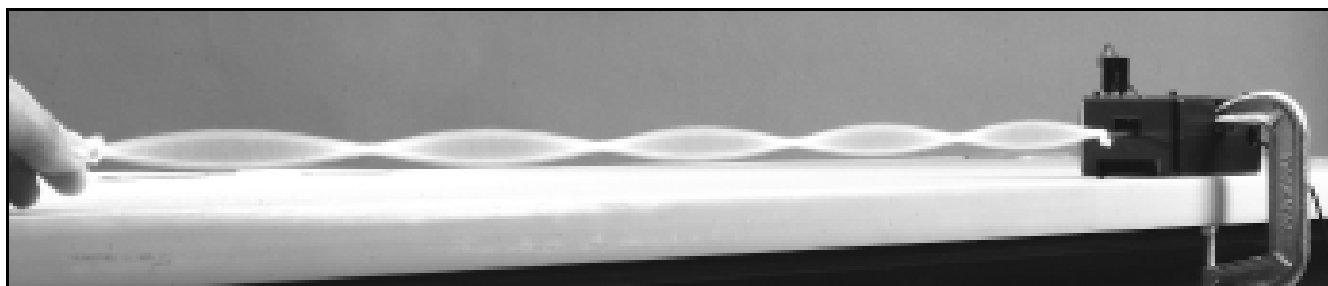
Équipement nécessaire

Référence des pièces

Vibreur de corde	WA-9857
Transformateur	inclus dans WA-9857
Corde élastique	inclus dans WA-9857 (ou SE-9409)
Étau ou autre matériel permettant de fixer le vibreur de corde	SE-7286 ou équivalent

Cette activité est plus facile à réaliser à deux ou plus

1. Attachez le vibreur de corde sur le plan de travail. Vous allez étendre la corde sur environ 2m, donc prévoyez l'espace suffisant.
2. Coupez 1m de corde élastique et attachez une extrémité à la lame vibrante
3. Connectez le transformateur au vibreur de corde
4. Tenez l'extrémité libre de la corde comme présenté ci-dessous et augmentez lentement la tension en tirant à l'opposé du vibreur de corde



5. Observez la répartition des ondes stationnaires qui apparaît lorsque vous étirez la corde. Notez ce qui arrive au nombre de fuseaux lorsque vous augmentez la tension. Le fait d'augmenter la tension entraîne-t-il une augmentation ou une diminution du nombre de fuseaux ?
6. Ajustez la tension jusqu'à ce que la corde vibre en 4 fuseaux. Ajustez alors délicatement la tension de manière à être en configuration « bon nœud » au niveau de la lame. Maintenez cette tension pour le reste de l'expérimentation
7. Mesurez la longueur d'onde. (Comment la longueur d'onde est-elle liée à la longueur d'un fuseau ?)
8. Touchez la corde au niveau d'un des anti-nœuds (point de vibration maximale). Que ce passe-t-il ?
9. Touchez la corde au niveau d'un des nœuds. Que se passe-t-il ? Quelle est la différence avec précédemment ?
10. Demandez à un autre élève de pincer la corde au niveau du nœud du milieu, sans changer la tension. Comment évolue la longueur d'onde.

Démonstration 1 : Densité de corde et longueur d'onde

Equipement nécessaire

Référence des pièces

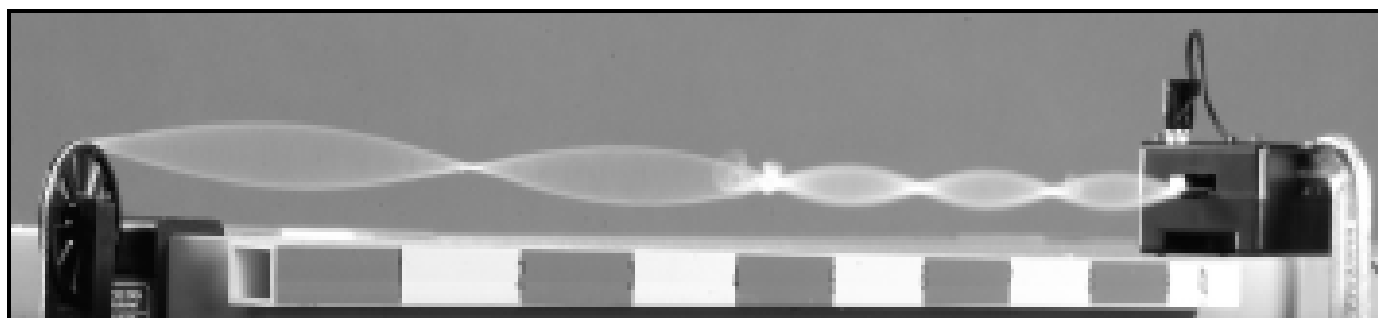
Vibreux de corde	WA 98-57
Transformateur	inclus dans WA-9857
Corde élastique (50cm)	inclus dans WA9857 (ou SE-9409)
Corde rigide (80cm)*	ME9876 (ou équivalent)
Etau ou équivalent permettant de fixer le vibreur de corde	SE-7286 (ou équivalent)
Grande poulie	ME-9450
Axe de montage pour grande poulie	SA-9242
Etau universel pour plan de travail	ME-9472 ou équivalent
Kit masse + crochet, ou une masse de 100g	ME-8979 ou équivalent

Equipement optionnel**

Transformateur de courant alternatif	(ou équivalent) WA-9857
Câble avec fiches banane	SE-9750

* La corde rigide recommandée par PASCO (incluse dans ME-9876) a une densité linéaire de 1,5g/m.

**Cette démonstration est plus facile à réaliser avec un transformateur alternatif (ME-9867), ou un autre générateur de courant alternatif $\pm 10V$, 1A plutôt qu'avec le transformateur de courant continu. En effet, il vous permet d'ajuster la fréquence plutôt que la longueur de la corde élastique.



Installation

1. Coupez 50cm environ de corde élastique et 80cm de corde rigide. Nouez les deux ensemble et attachez la corde élastique à la lame vibrante du vibreur de corde. (Faites des nœuds aussi petits que possible)
2. Fixez la poulie à l'extrémité de la table et le vibreur de corde à environ 1m. Attachez une masse de 100g à l'extrémité de la corde rigide en utilisant la poulie.
3. Connectez le transformateur au vibreur de corde. Si vous utilisez un transformateur de courant alternatif, réglez la fréquence sur 50Hz environ et augmentez l'amplitude.

4. Desserrez l'étau du vibreur de corde et glissez-le le long de la table pour ajuster la longueur de la partie vibrante de la corde rigide. Ajustez-la de sorte que le nœud connectant la corde élastique à la corde rigide coïncide avec un nœud. (l'amplitude peut être faible, mais elle augmentera aux étapes suivantes)
5. Observez la corde élastique. Vous cherchez à ce que le point d'attache de la corde sur la lame vibrante coïncide avec un nœud, mais ça ne sera probablement pas le cas au début. Si vous utilisez le transformateur de courant continu, allez à l'étape suivante. Si vous utilisez le transformateur de courant alternatif, passez directement à l'installation optionnelle ci-dessous.
6. A l'aide d'un feutre, marquez la corde élastique au niveau du nœud le plus proche de la lame.
7. Débranchez le transformateur. Ajuster la corde élastique de sorte que son point de fixation sur la lame corresponde à la marque faite au feutre. Rebrancher le transformateur.
8. Ajustez la position du vibreur de corde de sorte que le nœud connectant la corde élastique à la corde rigide coïncide avec un nœud. Vérifiez que la connexion à la lame coïncide bien également avec un nœud.

Installation optionnelle pour transformateur alternatif

Suivez d'abord les étapes 1 à 5 ci-dessus. Après que vous ayez positionné le vibreur de corde de sorte que le nœud connectant la corde élastique à la corde rigide coïncide avec un nœud, ajustez la fréquence de sorte qu'un autre nœud coïncide avec le point d'attache sur la lame.

Démonstration

La photo précédente représente la démonstration utilisant un transformateur de courant continu. Vous pouvez observer que la corde avec la densité linéaire la plus importante (corde élastique) a une longueur d'onde plus faible. Comme les deux cordes reçoivent la même fréquence, la corde la plus dense doit avoir une vitesse de propagation d'onde plus faible.

Démonstration supplémentaire

Comparez les longueurs d'onde de deux cordes parallèles. Attachez les deux cordes au même vibreur de corde, mais reliez-les à des poulies différentes. Appliquez la même tension aux deux cordes mais ajustez différemment les longueurs (en déplaçant les poulies le long du bord de la table) pour obtenir des ondes stationnaires de différentes longueurs d'onde.

Démonstration 2 : Analogie du tube fermé

Équipement nécessaire

Référence des pièces

Vibreux de corde	WA 98-57
Transformateur	inclus dans WA-9857
Corde élastique (50cm)	inclus dans WA9857 (ou SE-9409)
Fil noir (50cm)	ME-9875 (ou équivalent)
Etau ou équivalent permettant de fixer le vibreur de corde	SE-7286 (ou équivalent)
Grande poulie	ME-9450
Axe de montage pour grande poulie	SA-9242
Etau universel pour plan de travail	ME-9472 ou équivalent
Kit masse + crochet*	ME-8979 ou équivalent

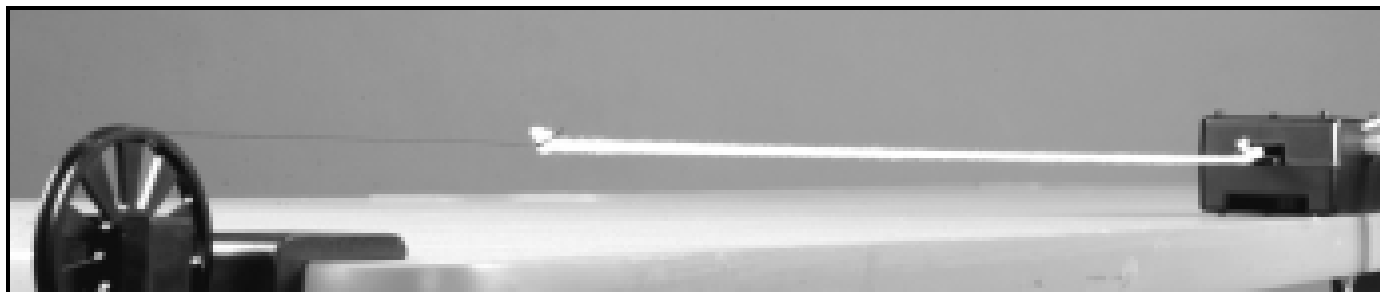
Équipement optionnel

Transformateur de courant alternatif (ou équivalent)	WA-9857
Câble avec fiches banane	CORD4

* Cette démonstration est plus facile à réaliser avec un transformateur alternatif (ME-9867), ou un autre générateur de courant alternatif $\pm 10V$, 1A plutôt qu'avec le transformateur de courant continu. En effet, dans ce cas une seule masse de 150g suffit (pas besoin d'ajuster la valeur de la masse).

Installation

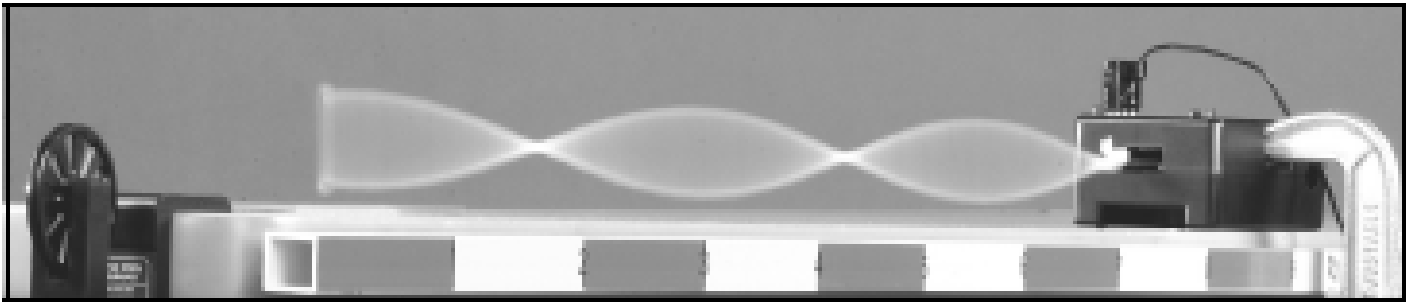
1. Coupez environ 50cm de corde élastique et 50 cm de fil noir. Fixez-les ensemble et attachez la corde élastique à la lame du vibreur de corde. (Faites des nœuds aussi petits que possible).
2. Fixez la poulie à l'extrémité de la table et le vibreur de corde à environ 70cm. Suspendez une masse de 150g au fil noir à l'aide de la poulie.



3. Connectez le transformateur au vibreur de corde. Si vous utilisez un transformateur de courant alternatif, réglez la fréquence sur 50Hz environ et augmentez l'amplitude.

4. Ajustez la masse suspendue (ou la fréquence du transformateur) de sorte qu'un noeud coïncide avec la lame et un anti-noeud avec le point de fixation du fil noir et de la corde élastique.

Démonstration



Cette démonstration est équivalente au son produit dans un tube dont une extrémité est ouverte et l'autre fermée. Notez que le fuseau portant l'anti-noeud à son l'extrémité matérialise un quart de longueur d'onde, alors que les autres fuseaux matérialisent une demie longueur d'onde.

En plaçant un fond noir derrière les ondes, on peut masquer la façon dont le phénomène est produit. La corde élastique blanche se voit, alors que le fil noir disparaît lorsque le vibreur de corde est en fonctionnement.

Expérimentation 1

Vitesse de propagation d'onde

Équipement nécessaire

Référence des pièces

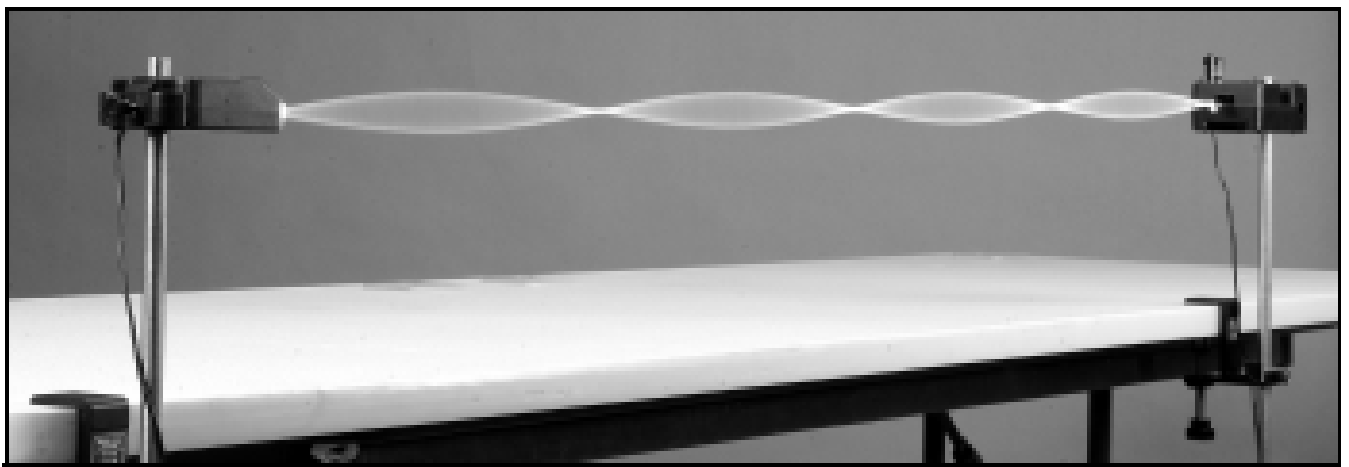
Vibreur de corde	WA 98-57
Transformateur	inclus dans WA-9857
Corde élastique (50cm)	inclus dans WA9857 (ou SE-9409)
Etau universel (qté 2)	ME-9472 ou équivalent
Cordes de 45cm (qté 2)	ME-8736 ou équivalent
Capteur de force	CI-6746, CI-6537, ou PS-2104
Capteur de tension	CI-6503 ou PS-2115
Interface informatique et logiciel, compatible avec les capteurs	Nombreuses références PASCO
Balance	SE-8765A ou équivalent
Mètre à ruban	SE-8712A ou équivalent

Introduction

Dans cette expérimentation, vous allez déterminer la vitesse de propagation d'une onde dans une corde en utilisant trois méthodes. Premièrement, vous calculerez la vitesse à partir de la longueur d'onde et de la fréquence d'une onde stationnaire dans la corde. Puis vous calculerez la vitesse à partir de la densité linéaire et la tension de la corde. Enfin, vous mesurerez le temps nécessaire à une impulsion pour parcourir une distance connue, et calculerez à partir de ces données la vitesse de l'impulsion.

Procédure

1. raccordez le capteur de force, le vibreur de corde et la table à l'aide de cordes et d'étaux comme présenté ci-dessous.



2. Coupez environ 1m de corde élastique. Mesurez sa longueur exacte en position détendue. Mesurez la masse à l'aide d'une balance. Calculez la densité linéaire à l'état de repos (masse/longueur). (Si votre balance n'est pas assez précise pour mesurer la masse d'1mètre de corde, mesurez la masse d'une longueur plus importante et faites le calcul à partir de cette valeur).
3. Attachez la corde à la lame du vibreur de corde. Formez une boucle à l'autre extrémité et glissez-la dans le crochet du capteur de force.
4. Branchez le transformateur et connectez-le au vibreur de corde
5. Déplacez le capteur de force ou le vibreur de corde pour ajuster la tension dans la corde de manière à ce qu'elle vibre en 3 ou 4 fuseaux. Lorsque vous ajustez la tension, vérifiez l'extrémité de la lame vibrante. Le point d'attache de la corde sur la lame doit coïncider avec un nœud. Il est plus important de faire coïncider avec un nœud au niveau de la lame que d'avoir une grande amplitude.
6. Notez le nombre de fuseaux

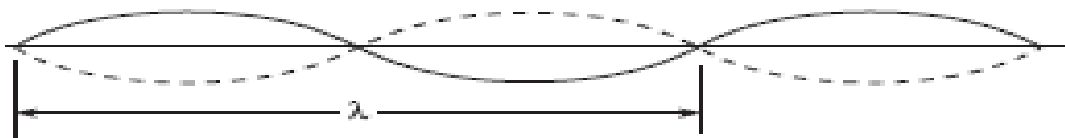
Tension

Vous utiliserez un capteur de force pour mesurer la tension de la corde

1. Ajustez la fréquence à 100Hz
2. Décrochez la corde du capteur de force et tarez le capteur de force. Ré-attachez la corde
3. Enregistrez les données pendant quelques secondes
4. Calculez la force moyenne. Cette valeur constitue la tension de la corde.

Calcul de la vitesse de propagation d'onde à partir de la longueur d'onde et de la fréquence

1. Mesurez la longueur de la corde tendue (L) depuis le capteur de force jusqu'à la lame du vibreur de corde. Utilisez cette mesure et le nombre de fuseaux d'onde pour calculer la longueur d'onde λ . Attention : une longueur d'onde est composée de 2 fuseaux.



2. La vitesse de propagation d'onde (v) est reliée à la longueur d'onde (λ) et la fréquence (f) par

(Equation 1)

$$v = \lambda f$$

Calculez la vitesse de propagation d'onde.

($f = 50,0$ Hz en France)

Calcul de la vitesse de propagation d'onde à partir de la tension et de la densité linéaire

Vous pouvez également calculer la vitesse de propagation d'onde à partir de la tension (F) et de la densité linéaire (μ) de la corde tendue par :

(Equation 2)

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

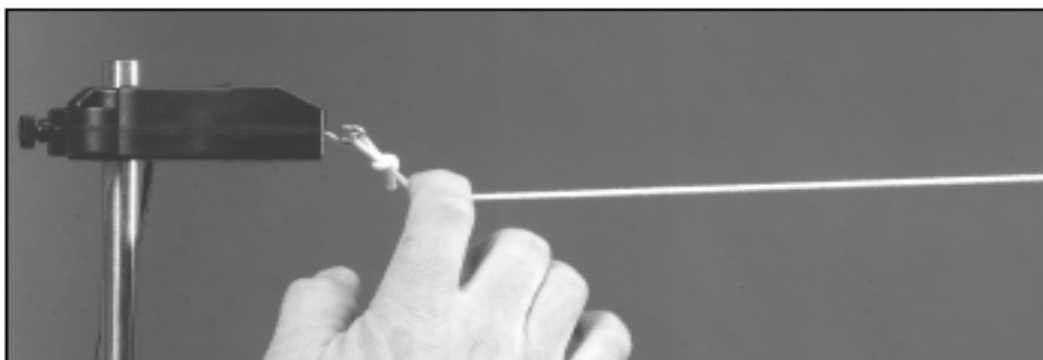
La densité linéaire est ici la masse par unité de longueur de la corde lorsque la corde est tendue. La valeur sera moins importante que pour la corde au repos. Vous allez maintenant calculer la densité linéaire de la corde tendue

1. Débranchez la corde du capteur de force et mesurez sa longueur au repos (depuis la lame du vibreur de corde jusqu'à la boucle de l'autre extrémité).
2. Calculez la densité linéaire de la corde tirée en utilisant la formule :
Densité linéaire tendue $\mu = (\text{Longueur au repos} / \text{Longueur tendue}) \times \text{Densité linéaire au repos}$
3. Calculez la vitesse de propagation d'onde avec les valeurs de F et μ .

Calcul de la vitesse de propagation d'onde à partir d'une impulsion simple

Une autre manière de déterminer la vitesse de propagation d'onde est de mesurer la vitesse d'une impulsion simple. Vous utiliserez le capteur de force et le capteur de tension pour suivre le trajet de l'impulsion le long de la corde.

1. Débranchez le vibreur de corde. Connectez le capteur de tension à l'entrée secteur du vibreur de corde.
2. Ajustez la fréquence d'échantillonnage des capteurs de force et de tension sur 1000Hz
3. Pour appliquer une impulsion à la corde, tirez la corde vers le bas aussi près que possible du capteur de force (comme précisé sur la photo). Remarquez que lorsque l'impulsion atteint le vibreur de corde, il provoque un déplacement de la lame du vibreur du bas vers le haut. Ce mouvement provoque le déplacement d'un aimant à travers une bobine, qui génère une variation de tension mesurée par le capteur de tension.



4. Commencez à enregistrer les données juste avant d'appliquer l'impulsion à la corde, puis arrêtez immédiatement l'enregistrement.
5. Observez les données de force et de tension sur le graphe, et trouvez le temps écoulé, Δt , entre la chute brutale de tension et la variation de tension.
6. calculer la vitesse d'impulsion :

(Equation 3)

$$v = L/\Delta t$$

Conclusions

Vous avez calculé la vitesse de propagation d'onde en employant 3 méthodes différentes :

1. Comparez les résultats. Sont-ils similaires ? Sinon, pouvez-vous expliquer pourquoi ?
2. Quelles méthodes pensez-vous être la plus appropriée ? Expliquez pourquoi

Pour aller plus loin

Réitérez cette expérimentation avec une longueur de corde différente (vous trouverez que la tension nécessaire à l'obtention d'une onde stationnaire sera différente). Avant que vous ne mesuriez v en utilisant les 3 méthodes, essayez de prédire les différences de résultats que vous allez obtenir par rapport à vos résultats initiaux.

Expérimentation 2

Ondes stationnaires

Équipement nécessaire

Référence des pièces

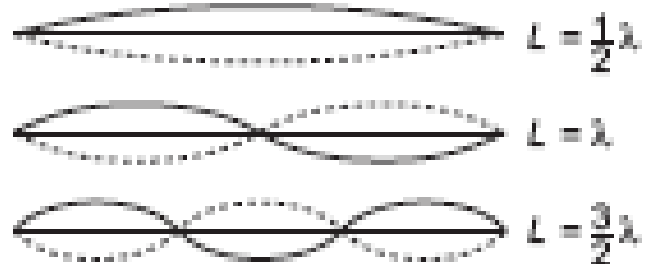
Vibreur de corde	WA 98-57
Transformateur	inclus dans WA-9857
Corde rigide tressée	SE-8050 ou équivalent
Etau ou équivalent permettant de fixer le vibreur de corde	SE-7286 (ou équivalent)
Grande poulie	ME-9450
Axe de montage pour grande poulie	SA-9242
Etau universel pour plan de travail	ME-9472 ou équivalent
Kit masse + crochet*	ME-8979 ou équivalent
Balance	SE-8765A ou équivalent
Mètre à ruban	SE-8712A ou équivalent

Objectif

L'allure générale des ondes peut être visualisée grâce aux ondes stationnaires générées sur une corde. Ce type d'onde est très important car la plupart des vibrations rencontrées dans la vie courante sont de ce type. Par exemple vibrations d'une clé à accord ou des cordes d'un piano. L'objectif de cette expérimentation est d'étudier l'effet de la force d'étirement et de la fréquence de l'onde sur la vitesse de propagation d'onde dans une corde vibrante.

Théorie

Les ondes stationnaires sont produites par l'interférence de deux ondes en déplacement. Ces deux ondes possèdent la même longueur d'onde, vitesse et amplitude, mais se déplacent en sens opposé sur le même support. Les conditions nécessaires pour produire des ondes stationnaires peuvent être créées sur une corde élastique tendue à laquelle on inculque des vibrations, renvoyées en sens inverse à l'extrémité de la corde et interférant alors avec les ondes arrivant en sens inverse.



Une corde élastique tendue possède plusieurs modes naturels de vibrations (3 exemples ont été montrés précédemment). Si la corde est fixée aux deux extrémités, alors il doit y avoir un nœud à chaque extrémité. Elle peut vibrer en un seul fuseau, dans ce cas la longueur de la corde (L) est égale à la moitié de la longueur d'onde (λ). Elle peut également vibrer en deux fuseaux avec un nœud à chaque extrémité et un nœud au milieu : dans ce cas, la longueur d'onde est égale à la longueur de la corde. Elle peut également vibrer avec un nombre supérieur de fuseaux. Dans chaque cas, la longueur de la corde est égale à un certain nombre de demie longueur d'onde.

Si vous utilisez une corde élastique tendue avec une fréquence arbitraire, vous ne verrez probablement pas de mode particulier de vibrations. La plupart des modes se mélangent dans ce cas.

Mais si la tension et la longueur de la corde sont ajustées sur la fréquence du générateur de vibration, un mode de vibration prendra le dessus sur les autres (amplitude plus importante).

Pour toute onde de longueur d'onde λ et de fréquence f , la vitesse v est

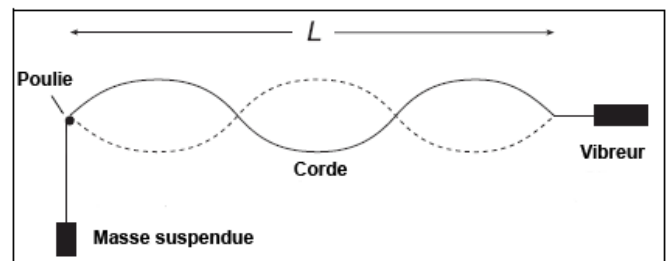
(Equation 1)
$$v = \lambda f$$

La vitesse de propagation d'onde d'une corde est également donnée par :

(Equation 2)
$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

Où F est la tension de la corde et μ la densité linéaire de la corde (masse/longueur).

Dans cette expérimentation, les ondes stationnaires sont matérialisées à l'aide d'une corde élastique tendue fixée sur le vibreur de corde. L'installation est schématisée ci-contre. La tension de la corde est directement liée au poids des masses suspendues à la poulie. Il est donc possible de modifier la tension en changeant les masses.

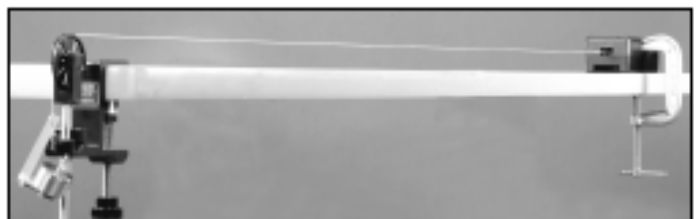


L est la longueur de la corde et n est le nombre de fuseaux. (Attention, notez que n n'est pas le nombre de nœuds). Comme un fuseau représente $\frac{1}{2}$ longueur d'onde, il vient :

(Equation 3)
$$\lambda = 2L/n \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Installation

1. Mesurez la longueur exacte d'un morceau de corde de plusieurs mètres. Mesurez sa masse et calculez sa densité linéaire, μ (masse/longueur). (Si votre balance n'est pas suffisamment précise, utilisez un morceau de corde plus long pour calculer la densité linéaire).
2. Comme présenté sur la photo, fixez le vibreur de corde et la poulie à environ 1m de distance. Attachez la corde à la lame du vibreur, passez-la sur la poulie et fixez-y une masse de 100g environ. Coupez l'excédent de corde.
3. Mesurez la distance séparant le nœud de fixation à la lame et le sommet de la poulie. Cette distance est notée L . (L n'est pas la longueur de la corde que vous avez mesuré à la première étape)
4. Branchez le vibreur de corde sur le secteur



Procédure

1. Ajustez la tension en ajustant le poids de la masse de manière à ce que la corde vibre en 2 fuseaux. Ajustez plus précisément la tension de manière à obtenir un nœud bien défini au centre. Assurez-vous également que le point de fixation à la lame coïncide bien avec un nœud. Il est plus important d'avoir un nœud bien défini au niveau de la lame que d'avoir une grande amplitude de vibration. Cependant, une fois le nœud à la lame bien positionnée, ajustez de manière à ce que l'amplitude soit la plus grande possible dans ces conditions.
2. Relevez la masse m de la masse suspendue (n'oubliez pas de tenir compte de la masse du crochet). Quelle est l'incertitude de votre valeur ? De combien pouvez-vous changer la masse sans observer d'effet. Mesurez l'incertitude.

Analyse – Méthode 1

1. Calculez la tension (en incluant l'incertitude) de la corde

$$\text{Tension} = F = mg$$

2. Calculez la vitesse (en incluant l'incertitude) de propagation de l'onde à partir de vos valeurs de tension (F) et de densité linéaire (μ).

$$v_{F,\mu} = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

Relevez la valeur obtenue, ainsi que son incertitude et le nombre de chiffre significatifs pertinents.

3. Calculez la vitesse de propagation d'onde à partir de la longueur d'onde (λ) et la fréquence (f)

$$v_{\lambda,f} = \lambda f$$

En France, la fréquence est de 50,0Hz.

4. Comparez les deux valeurs obtenues. Quelle est la différence ? Comparez cette différence et l'incertitude déterminée à l'étape 2.
5. Calculez le pourcentage de déviation entre $v_{F,\mu}$ et $v_{\lambda,f}$

$$\% \text{ Déviation} = (v_{F,\mu} - v_{\lambda,f}) / v_{\lambda,f} \times 100\%$$

6. Répétez la même procédure avec une vibration à 3 ou 4 fuseaux.

Analyse – Méthode 2

1. Répétez la procédure avec des ondes stationnaires réparties sur 3, 4, 5 fuseaux... Relevez la masse, m (y compris l'incertitude), et le nombre de fuseaux, n , dans un tableau

2. Pour chaque valeur de masse, calculez la tension (y compris l'incertitude) de la corde

$$\text{Tension} = F = mg$$

3. Tracez le graphe $F = f(n)$. Décrivez l'allure des courbes.
4. Pour chaque valeur de n , calculez $1/n^2$. Tracez le graphe $F = f(1/n^2)$. Est-ce que la courbe est linéaire ?
5. Déterminez la pente de la droite théorique optimale
6. Combinez les équations 1, 2 et 3 (voir paragraphe théorie), et montrez que la tension peut être exprimée à l'aide de cette formule :

$$F = (4\mu f^2 L^2)(1/n^2)$$

Par conséquent, la pente de la droite théorique optimale d'équation $F = f(1/n^2)$ a pour valeur $4\mu f^2 L^2$

7. Utilisez la pente de votre graphe pour calculer la densité μ de la corde. Calculez également l'incertitude de μ .
8. Comparez cette valeur de densité mesurée à la valeur de densité calculée (à partir de la masse et la longueur de la corde). Quelle est la différence ? Comparez la différence à l'incertitude calculée à l'étape 7.
9. Calculez le pourcentage de déviation entre la valeur mesurée et la valeur calculée de μ .

$$\% \text{ Déviation} = (\text{Mesurée} - \text{Calculée}) / \text{Calculée} \times 100\%$$

Expérimentation 1 : Vitesse de propagation d'onde

Notes du professeur

Notes concernant les équipements

Etaux

A la place d'étaux et d'axes de tables, vous pouvez utiliser 2 étaux pour fixer le vibreur de corde et le capteur de force à la table. Utilisez alors une boîte ou un livre pour élever le capteur de force de quelques centimètres au dessus du niveau de la table. Faites attention de ne pas appliquer une pression trop forte avec l'étau sur le capteur de force.

Balance

La densité de la corde élastique est d'environ 1,5g/M, il est donc préférable d'utiliser une balance à 0,01g près. Si vous avez une balance moins précise, faites utiliser aux élèves un morceau de corde plus long.

Capteurs et interfaces

Cette expérimentation nécessite de recueillir des données du capteur de force et du capteur de tension. Il y a plusieurs options possibles. Contactez notre support technique ou notre site internet pour plus d'informations. Un exemple de combinaison d'équipements pratiques (ceux utilisés dans les démonstrations précédentes) :

- PASPORT capteur de force (PS-2104)
- PASPORT capteur de tension (PS-2115)
- Interface Powerlink (PS-2001) ou Interface GLX (PS-2002)
- Logiciel DataStudio®

Etant donné la variété d'équipement pouvant être utilisés, les instructions précédentes ne donnent pas le détail de la méthode d'acquisition des données. Les étudiants doivent être formés à l'utilisation de capteurs, interfaces et logiciel pour :

- Utiliser le matériel informatique afin de recueillir les données des capteurs de force et de tension
- Changer la fréquence d'échantillonnage des capteurs
- Enregistrer les données
- Tracer un graphe à l'aide des données
- Trouver la valeur moyenne d'une série de données

Procédures pour l'échantillonnage des données

La corde va s'étendre d'environ deux fois sa longueur initiale. Si vous n'avez pas assez d'espace dans le laboratoire, utilisez un morceau plus petit.

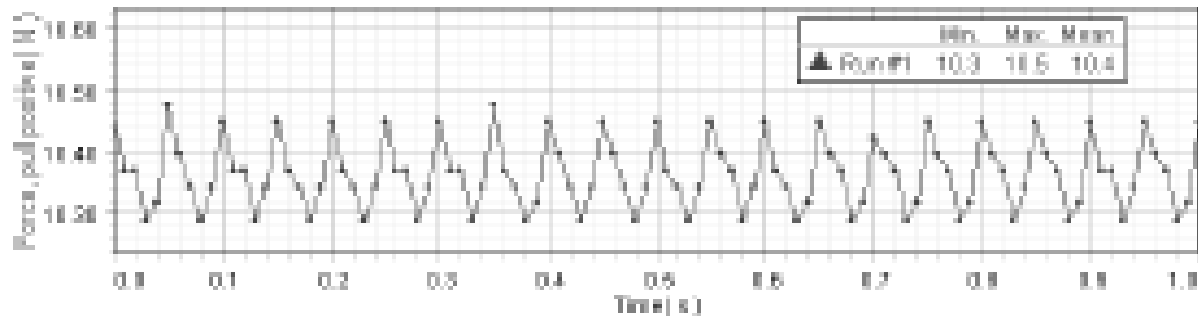
Corde non tendue = 1,354m (sans les nœuds)

Masse = 5,74g

Densité linéaire de la corde non tendue = $4,24 \times 10^{-3}$ kg/m

Tension

$$F = 10,4\text{N}$$

**Vitesse de propagation d'onde à partir de la longueur d'onde et de la fréquence**

Longueur tendue = $L = 2,343\text{m}$

Nombre de fuseaux = 4

$$\lambda = 1,172\text{m}$$

$$f = 60,0\text{Hz}$$

$$v = \lambda f = 70,2\text{m/s}$$

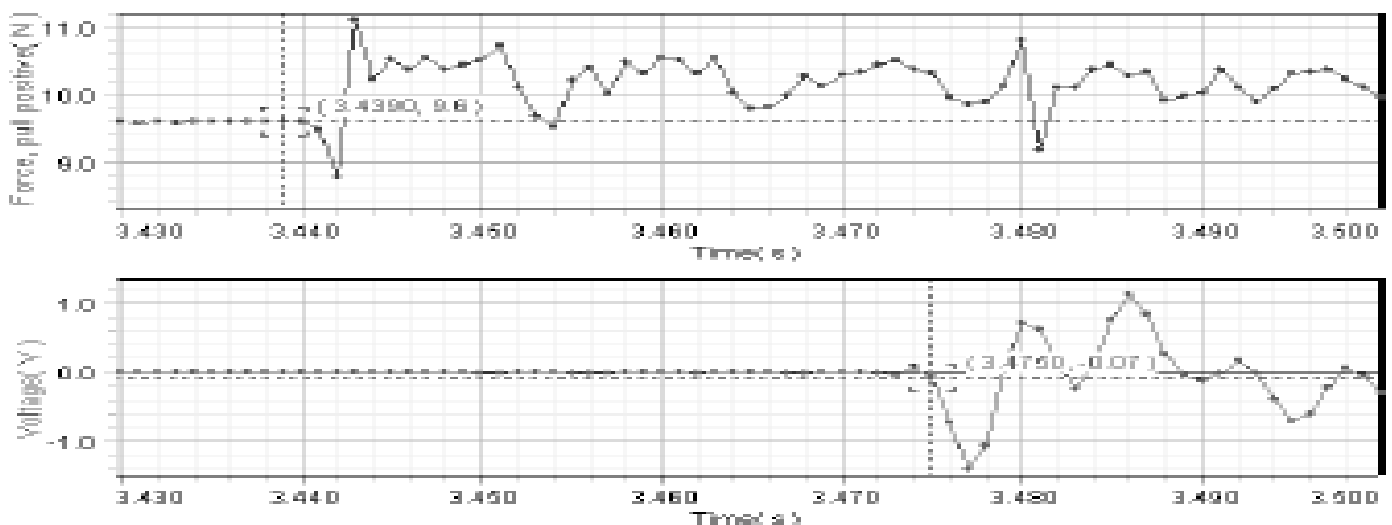
Vitesse de propagation d'onde calculée à partir de la tension et la densité de la corde

La longueur de la corde détendue mesurée dans cette partie de l'expérimentation sera inférieure à celle mesurée au départ car il y a des nœuds aux extrémités

Longueur de la corde détendue (nœuds) = $1,162\text{m}$

$$\mu = 2,11 \times 10^{-3} \text{ kg/m}$$

$$v = \sqrt{F/\mu} = 70,2 \text{ m/s}$$

Vitesse d'une impulsion simple

La chute brutale de tension peut apparaître comme une chute ou une hausse brutale de la force, selon que le capteur de force est configuré pour enregistrer une tension comme une force positive ou négative.

Assurez-vous de bien mesurer le changement brutal de force, et non pas la variation lente qui peut survenir juste avant. Il est préférable de faire la mesure plusieurs fois et de calculer la valeur moyenne.

$$\Delta t = 3,4 \times 10^{-2} \text{s}$$

$$v = L/\Delta t = 68,8 \text{m/s}$$

Conclusions

- 1) Dans les données ci-dessus, les trois calculs de v divergent de 5% les uns des autres. (Les deux premiers calculs sont parfaitement égaux, mais ce n'est pas systématique). Avec une fréquence d'échantillonnage de 1000Hz, l'incertitude sur la mesure est de 1ms, soit 3% de Δt , qui contribue largement à la déviation de 5% évoquée ci-dessus.
- 2) La méthode basée sur la fréquence et la longueur d'onde est certainement la plus appropriée parce qu'elle n'implique qu'une mesure, la longueur, qui est précise à quelques millimètres (ou à 0,1%). La fréquence du transformateur est généralement proche de sa valeur nominale, vous pouvez donc négliger cette incertitude. Vous pouvez également utiliser le capteur de tension pour mesurer la fréquence de transformateur. N'essayez pas de mesurer directement sur la prise secteur.

Expérimentation 2 :

Notes du professeur : Ondes stationnaires

La densité recommandée pour la corde est d'environ 0,266g/m, il est donc préférable d'utiliser une balance à 0,01g près. Si vous avez une balance moins précise, mettez à disposition des élèves un morceau de corde plus long pour le peser.

Les ondes stationnaires sur $n = 1, 2$ ou 3 fuseaux sont assez faciles à obtenir. Les ondes stationnaires sur plus de 4 fuseaux peuvent nécessiter un ajustement de la masse à 1g près ou moins. Vous pouvez réaliser ces ajustements en ajoutant des morceaux de papier à la masse. Cela permettra d'estimer la masse à 0,5g près.

Analyse – Méthode 1

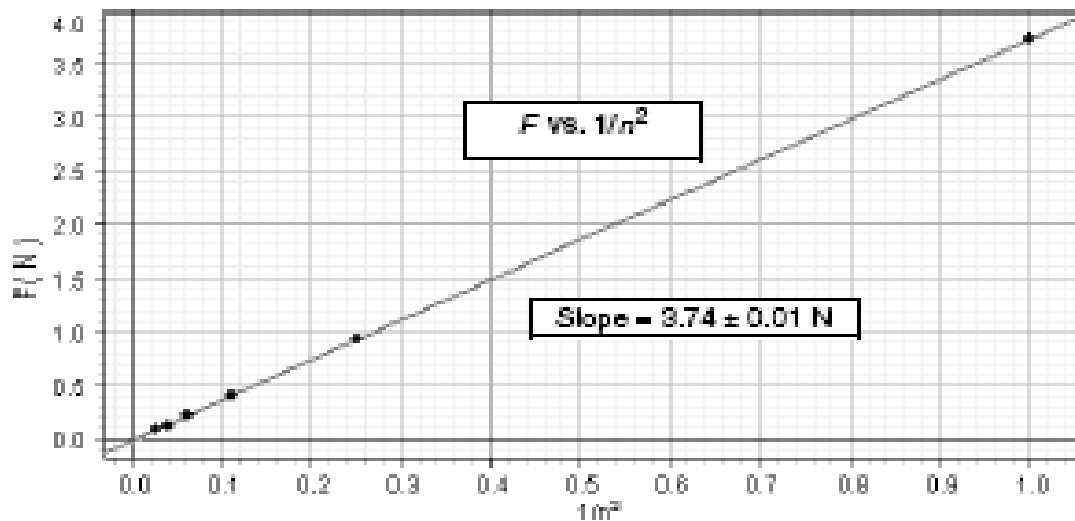
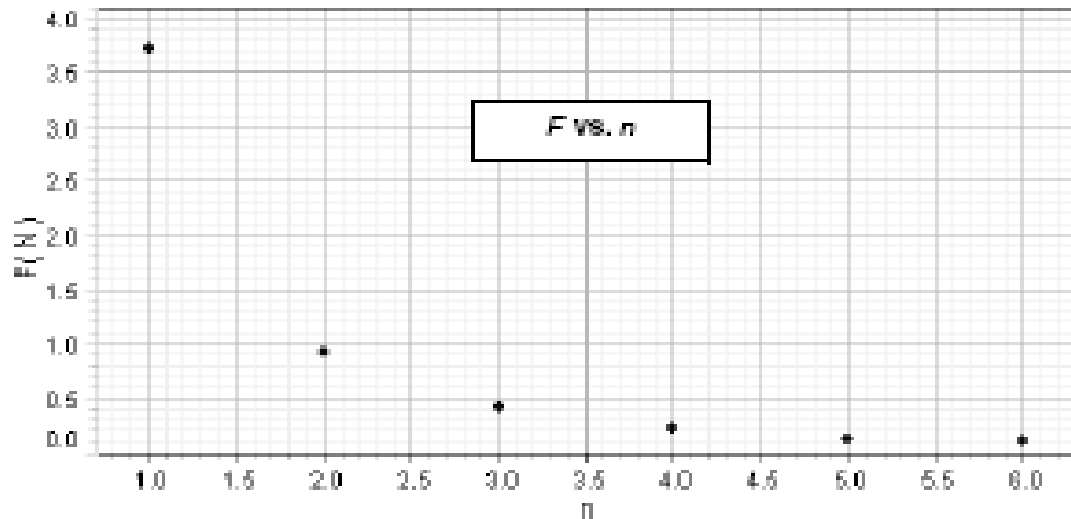
$$L = 0,987 \text{ m}$$

$$F = 60,0 \text{ Hz}$$

$$\mu = 2,66 \times 10^{-4} \text{ kg/m}$$

Nombre de fuseaux	Masse suspendue (g)	Incertitude (g)	$V_{F\mu}$ (m/S)	$V_{\lambda f}$ (m/s)	% Déviation
1	380	10	120	118	1,7%
2	95	2	60	59,2	1,3%
3	41	1	39	39,5	1,3%
4	22,5	1	29	29,6	2,0%
5	14	1	23	23,7	3,0%
6	9	1	20	19,7	1,5%

Analyse – Méthode 2



$$4\mu f^2 L^2 = 3,74 \pm 0,01 \text{ N}$$

$$f = (60,0 \pm 0,1) \text{ Hz}$$

$$L = (0,987 \pm 0,001 \text{ m})$$

$$\mu = (3,74 \pm 0,001 \text{ N}) / (4f^2 L^2) = (2,67 \pm 0,01) \times 10^{-4} \text{ kg/m}$$

Ce résultat diffère de la mesure directe de densité linéaire de $0,01 \times 10^{-4} \text{ kg/m}$. Cette différence est comprise dans l'incertitude mesurée

$$\% \text{ Déviation} = (2,67 \times 10^{-4} \text{ kg/m} - 2,66 \times 10^{-4} \text{ kg/m}) / 2,66 \times 10^{-4} \text{ kg/m} \times 100\% = 0,4\%$$