

Dispositifs expérimentaux :

Miroir de Bragg sur corde vibrante

Nous avons utilisé une corde de Bragg horizontale avec à une extrémité un excitateur vertical vibreur de Melde et à l'autre extrémité un système masse qui nous a permis de tendre la corde uniformément sur toute sa longueur.

Nous avons placé l'excitateur en position verticale. Pour fixer la corde à l'excitateur, nous avons effectué un nœud sur la tige situé au-dessus de l'axe central du vibreur de Melde. Nous avons situé ce nœud à une longueur correspondant à une demi longueur d'onde du début de la structure de Bragg construite sur la corde.

Nous avons disposé entre 4 et 10 motifs pour la structure de Bragg. À la fin du dernier motif, nous avons reposé la corde sur un système masse poulie, la poulie étant fixée à la même hauteur que le nœud sur le vibreur de Melde. En aval de la poulie, nous avons tendu la corde avec une masse connue pendant vers le bas. Avec la longueur de corde utilisée autour d'un mètre, nous avons suspendu une masse de 105 g pour la tendre, ce qui s'est révélé suffisant.

Concernant l'utilisation du vibreur de Melde, nous l'avons contrôlé avec une tension sinusoïdale délivrée par un générateur basse fréquence et amplifiée par un amplificateur. Nous avons travaillé dans la gamme basse fréquence du vibreur de Melde, autour de 30 Hz.



Miroir de Bragg sur ressort slinky

Nous avons utilisé le ressort de bragg horizontal attaché à une extrémité au vibreur de Melde en position horizontal et fixé à l'autre extrémité.

Pour fixer le ressort à l'excitateur, nous avons solidarifié une plaque fine circulaire au vibreur de Melde et nous avons attaché le ressort à cette plaque avec des pinces légères. Nous avons laissé un nombre demi entier de longueur d'onde dans le ressort slinky avant le premier motif de la structure de Bragg et après le dernier motif. Au total nous avons utilisé $N = 41$ spires sur $L = 77$ cm entre l'excitateur et la fixation. Pour que le ressort reste horizontal et ne subisse pas son poids, nous avons utilisé des fils à coudre pour suspendre le ressort à une barre horizontale que nous avons placée au-dessus du ressort. Nous avons attaché les



Aina RAMAMONJY
Bruno FONTAINE
Paul LEPEUDRY

fil à coudre toutes les 4 spires grâce à un nœud. L'autre extrémité de chaque permet de régler facilement la longueur du ressort en déplaçant simplement les anneaux. L'influence de la gravité sur le comportement du ressort peut alors être négligée. De plus les fils de suspension sont de longueur suffisamment grande pour limiter leurs effets sur l'oscillation du ressort (le déplacement du point d'attache est faible devant la longueur du fil ce qui ne fait pas apparaître de force dans le sens de déplacement des spires).

Construction des structures de Bragg :

Structure de Bragg sur corde vibrante

Nous avons utilisé le matériel suivant :

- un cordon caoutchouc de diamètre 2 mm et de masse linéique $\mu_{\text{corde}} = 8,9 \text{ g.m}^{-1}$
- deux gaines thermo rétractables de masses linéiques $\mu_{\text{gaine trans}} = 5,3 \text{ g.m}^{-1}$ et $\mu_{\text{gaine bleue}} = 3,7 \text{ g.m}^{-1}$
- un pistolet chauffant

Nous avons défini de la manière suivante un motif de la structure de Bragg : un quart de longueur d'onde de sur la corde nue et un quart de longueur d'onde sur la corde revêtue avec la gaine thermo rétractable. En fonction de la masse au bout de la corde, de la fréquence d'excitation et des masses linéiques, nous avons calculé ces longueurs selon :

$$L_{\text{corde nue}} = \frac{1}{4f} \sqrt{\frac{mg}{\mu_{\text{corde}}}}$$
$$L_{\text{corde gainée}} = \frac{1}{4f} \sqrt{\frac{mg}{\mu_{\text{corde}} + \mu_{\text{gaine}}}}$$

Nous avons calculé ces longueurs pour $f = 30 \text{ Hz}$, $m = 105 \text{ g}$:

$$L_{\text{corde nue}} = 8,9 \text{ cm}, \quad L_{\text{corde gainée bleue}} = 7,5 \text{ cm}, \quad L_{\text{corde gainée trans}} = 7,1 \text{ cm}$$

Nous avons donc coupé des morceaux de gaine thermo rétractable de taille 7,5 cm pour la gaine bleue et 7,1 cm pour la gaine transparente. Pour habiller périodiquement la corde, nous avons amené un morceau de gaine thermo-rétractable de la bonne longueur (7,1 cm ou 7,5 cm) assez loin d'une extrémité. Puis nous l'avons chauffé au pistolet de sorte que son diamètre rétrécisse et que le morceau de gaine épouse parfaitement la corde. Nous avons enfilé un nouveau morceau de gaine thermo-rétractable sur la corde (du côté encore non gainé), que nous avons aussi chauffé pour le fixer en laissant une portion de corde nue de 8.9 cm entre les deux segments gainés. Nous avons répété l'opération jusqu'à obtenir le nombre de motifs voulus.

Structure de Bragg sur ressort slinky

Nous avons utilisé le matériel suivant :

- un ressort slinky de raideur produit raideur nombre de spires $k_n * n = K = 62 \text{ N.m}^{-1}$, de diamètre 65 mm et de masse d'une spire $m_{\text{spire}} = 2,8 \text{ g}$
- les deux mêmes gaines thermo rétractables
- un pistolet chauffant

Aina RAMAMONJY
Bruno FONTAINE
Paul LEPEUDRY

Nous avons défini de la manière suivante un motif de la structure de Bragg : un quart de longueur d'onde de sur le ressort slinky nu et un quart de longueur d'onde sur le ressort revêtu cette fois des deux gaines thermo rétractables. En fonction du nombre de spires total en vibration N , de la longueur sur laquelle elles sont étendues L , du produit raideur nombre de spires, de la masse par spire et de la fréquence d'excitation f , nous avons calculé ces longueurs selon :

$$L_{\text{ressort nu}} = \frac{c}{4f} \text{ et } L_{\text{corde gainée}} = \frac{c'}{4f}$$
$$\text{où } c = \frac{L}{N} \sqrt{\frac{K}{m_{\text{spire}}}} \text{ et } c' = \frac{L}{N} \sqrt{\frac{K}{m_{\text{spire revêtue}}}}$$

sont les célérités des ondes longitudinales dans respectivement dans le ressort slinky nu et le ressort revêtu avec la gaine thermo rétractable (N/L : densité de spires du ressort). Avec $\frac{N}{L} = 0,52 \text{ cm}^{-1}$ et pour $f=20 \text{ Hz}$, nous avons calculé

$$L_{\text{ressort nu}} = 3,6 \text{ cm}, \quad L_{\text{corde gainée}} = 2,9 \text{ cm}$$

Nous avons trouvé que ces longueurs correspondent respectivement à 42 et à 33,8 cm de spires déroulées.

De même que pour construire la structure de Bragg sur la corde, nous avons enfilé un morceau de gaine de 33,8 cm loin d'une extrémité avant de le chauffer puis nous avons procédé à reculons. Cette fois, pour un seul tronçons de gaine, nous avons effectué un découpage en 3 morceaux atteignant ensemble 33,8 cm, ce qui s'est révélé plus commode pour enfiler la gaine sur le ressort. Nous avons bien vérifié que le produit raideur nombre de spires est inchangé lorsque le ressort est gainé, ce qui nous a ainsi permis de changer uniquement la masse de certaines spires et non leur raideur.

Méthodes expérimentales

Étude en fréquence de la corde

Nous avons d'abord fait varier grossièrement la fréquence d'excitation de la corde de Bragg pour balayer une large plage de fréquences (0-50Hz) afin de s'assurer que le phénomène de réflexion n'apparaissait qu'autour de 30 Hz. Puis nous avons fait varier finement la fréquence d'excitation par pas de 0.5Hz de 29,5 à 34,5 Hz en relevant l'amplitude des oscillations des ventres de la corde avant le système réflecteur de Bragg et au niveau du dernier motif. Nous avons obtenu ainsi l'évolution du facteur d'atténuation en amplitude du système (rapport des deux valeurs mesurées) en fonction de la fréquence d'excitation, autour de la fréquence de travail.

Étude en fréquence du ressort

Nous avons mené le même travail avec le ressort, en relevant les amplitudes d'oscillation des ventres situés juste avant juste après le réflecteur pour obtenir le facteur d'atténuation en amplitude des ondes mécaniques. Nous avons fait varier la fréquence de 18,4 à 20,5 Hz par pas de 0,3 Hz.

Profil d'amplitude sur corde et ressort

Nous avons mesuré l'amplitude d'oscillation de chacun des motifs et du ventre situé juste avant le réflecteur pour établir le profil de la décroissance de l'amplitude des oscillations en fonction de la position du ventre dans le système. Toutes les amplitudes

Aina RAMAMONJY
Bruno FONTAINE
Paul LEPEUDRY

ont été normalisées par celle du premier ventre. Nous avons comparé le résultat à une simulation numérique pour vérifier l'adéquation avec un modèle. Pour la corde seulement, nous avons relevé le profil de décroissance pour différentes fréquences d'excitations (toutes proches de la fréquence de travail) afin d'étudier la qualité du phénomène d'atténuation des ondes mécaniques en fonction de la fréquence.

Variation nombre de motifs cordes 1 et 2

Nous avons effectué le même relevé que pour l'étude en fréquence de la corde mais en fixant la fréquence d'excitation à 30Hz et en faisant varier le nombre de motifs utilisé dans le réflecteur de Bragg. Nous avons fait varier le nombre de motif dans le réflecteur de 10 à 4 par pas de deux, en rapprochant à chaque fois la poulie de l'extrémité oscillante. Cela nous a permis de caractériser la dépendance de l'atténuation vis-à-vis du nombre de motifs utilisés.

Variation densité de spire ressort

Nous avons effectué le même relevé que pour l'étude en fréquence du ressort, cette fois-ci en fixant la fréquence d'excitation à 19,6 Hz et en faisant varier la densité de spire du ressort (en l'étirant ou en le comprimant davantage par rapport à sa position initiale, associée à l'atténuation théorique maximale). Nous avons pu étudier la qualité de l'atténuation en fonction de la densité de spires du ressort pour N fixé à 41 spires et L variant de 63 à 89 cm

Perspectives

Il y a plusieurs axes sur lesquels nous n'avons pas pu nous pencher, mais que nous jugeons utile de détailler ici si le projet devait être repris.

Une première étude complémentaire consisterait à construire une corde identique (ou plus simplement retourner la première corde) que l'on soumettrait aux mêmes tests que ceux réalisés ci-dessus, afin d'étudier l'indépendance du profil vis-à-vis des motifs.

Ensuite, nous avons envisagé mais non encore réalisé le fait de varier nombre de motifs du réflecteur sur le ressort afin d'étudier l'influence du début du dispositif.

Enfin, une réelle question se pose de l'étude du ressort sans réflexion (absorption totale) à l'extrémité non excitée afin d'en déterminer les caractéristiques et savoir si le phénomène est mieux mis en évidence de cette façon-là.