

MP 29: Onde: Propagation et conditions aux limites



I - Propagation libre

* Propagation non dispersive: ondes acoustiques dans l'air

$$\text{Relation de dispersion } k = \frac{\omega}{c}$$

$$c = \lambda f \quad \text{avec } f = 41 \text{ kHz}$$

$$C_{\text{air}} = 346 \text{ m.s}^{-1} \text{ à } 25^\circ\text{C}$$

Méthode de la longueur d'onde

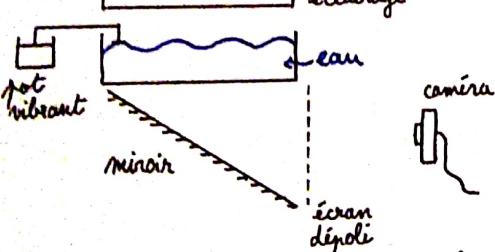
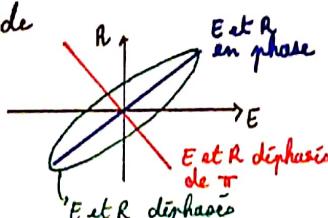
$$E \uparrow \rightarrow R \rightarrow$$

$$20\lambda = \pm \text{ cm}$$

$$[C = \pm \text{ m.s}^{-1}]$$

$$\frac{u(x)}{c} = \frac{1}{20} \frac{u(20x)}{20x}$$

* Propagation dispersive: ondes gravito-capillaires



$$\text{Relation de dispersion: } \omega^2 = (gk + \gamma \frac{k^3}{c}) \tanh(kh)$$

Régime eaux profondes, $kh \gg 1$, $\tanh(kh) \approx 1$

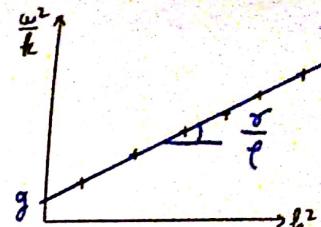
$$\frac{\omega^2}{k} = g + \frac{\gamma}{c} k^2$$

$$g_{\text{exp}} = \pm \text{ m.s}^{-2}$$

$$\left(\frac{\gamma}{c}\right)_{\text{exp}} = (\pm) 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$$

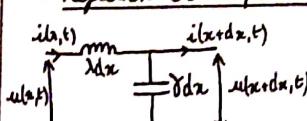
$$g_{\text{lab}} = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$$

$$\left(\frac{\gamma}{c}\right)_{\text{lab}} = 7,25 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$$

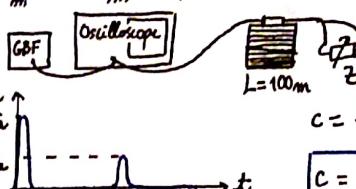


II - Reflexion, impédance et conditions aux limites

* Reflexion et impédance caractéristique du câble coaxial



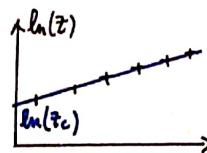
$$\text{Relation de dispersion: } k^2 = \frac{\omega^2}{c^2} \quad \text{avec } c = \frac{1}{\sqrt{LZ}}$$



$$c = \frac{2L}{\Delta t} \quad \text{avec } \Delta t = \text{ ns}$$

$$c = \text{ m.s}^{-1}$$

$$n = \frac{U_n}{U_i} = \frac{Z - Z_c}{Z + Z_c} \quad \ln(t) = \ln(Z_c) + \ln\left(\frac{1+n}{1-n}\right) \quad \text{avec } Z_c = \sqrt{\frac{L}{\gamma}}$$



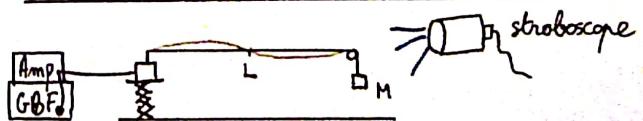
$$\ln Z_c =$$

$$Z_c = \Omega$$

$$\lambda_{\text{lab}} = 210 \text{ nm.m}^{-1}$$

$$\delta_{\text{lab}} = 95 \text{ pF.m}^{-1}$$

* Ondes stationnaires et résonances sur la corde de Helde

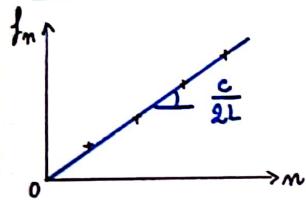


$$\text{Résonance } \lambda_n = \frac{2L}{n}$$

$$\text{Relation de dispersion : } k^2 = \frac{\omega^2}{c^2} \quad \text{avec } c = \sqrt{\frac{I}{\mu}}$$

$$c = \sqrt{\frac{Mg}{\mu}} \quad M = 199,23 \pm 0,03 \text{ g} \\ g = 9,81 \pm 0,01 \text{ m.s}^{-2} \quad \frac{\mu(c)}{c} = \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{\mu(M)}{M}\right)^2 + \left(\frac{\mu(g)}{g}\right)^2 + \left(\frac{\mu(\mu)}{\mu}\right)^2} \\ \mu = 1,09 \pm 0,01 \text{ g.m}^{-1}$$

$$c_{\text{exp}} = 42,3 \pm 0,3 \text{ m.s}^{-1}$$



$$f_n = n \frac{c}{2L}$$

$$\frac{c}{2L} = \quad \pm \quad \text{s}^{-1}$$

$$L = 100,0 \pm 0,2 \text{ cm}$$

$$c_{\text{exp}} = \quad \pm \quad \text{m.s}^{-1}$$

$$\frac{\mu(c)}{c} = \sqrt{\left(\frac{\mu(\text{pente})}{\text{pente}}\right)^2 + \left(\frac{\mu(L)}{L}\right)^2}$$

MP 29 : Ondes : Propagation et conditions aux limites

Introduction

ONDE : déformation qui se propage dans un milieu donné.

Mise en évidence sur une corde d'escalade.

1 Propagation libre

Propagation non-dispersive : ondes acoustiques dans l'air

Physique expérimentale aux concours de l'enseignement, acoustique, Bellier, Bouloy et Guéant, p364

Le repérage des positions où l'émetteur et le receiteur sont en phase est plutôt sensible. Attention à bien compter !!

Questions :

- Dépendance de la célérité avec la pression ? Oui suivant le modèle isentropique mais ici à pression atmosphérique.

Propagation dispersive : ondes gravito-capillaires

ALD

L'expérience est moyennement reproductible car la hauteur d'eau n'est pas toujours la même et on a une accumulation des saletés au fil du temps. Ne surtout pas s'inquiéter si on ne trouve pas la bonne valeur pour g.

Questions :

- Quel liquide utilisé ? Eau, ou ethanol pour éviter les saletés.
- Pourquoi l'incertitude sur g est du même ordre de grandeur que g ? L'approximation en eaux profondes n'est pas vraiment valable ici.
- Pourquoi il y a une augmentation des barres d'erreurs ? Par propagation des incertitudes.

Transition : Reflexion de la perturbation sur la corde d'escalade.

2 Reflexion, impédance et conditions aux limites

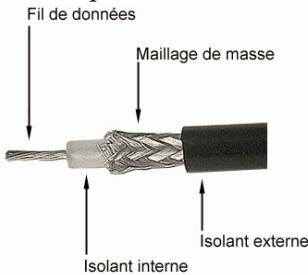
Reflexion et impédance caractéristique du câble coaxial

Physique expérimentale aux concours de l'enseignement, acoustique, Bellier, Bouloy et Guéant, p368

Mieux vaut ne pas utiliser les boîtes à décades ici, le signal s'en retrouverait trop déformer sur la réflexion.

Questions :

- Pourquoi le signal réflechi n'a pas la même forme que le signal envoyé ? Il y a de la dispersion dans le câble.
- Pourquoi le coefficient directeur est 2,15 et pas 1 ? C'est sûrement dû à la dissipation. Il faudrait faire la mise en équation (principalement avec une résistance avec série de la bobine).
- Quelles sont les valeurs tabulées pour Z_c et c ? 50Ω et 66% de la vitesse de la lumière.
- Modèle pour le câble ? Maillage de masse = enroulement de fils = bobine.



Masse + isolant + fil des données = condensateur cylindrique.

- Pourquoi c est 66% de la vitesse de la lumière ? La vitesse de propagation dans le câble coaxial est la vitesse des ondes électromagnétiques dans l'isolant (effet de peau sur les conducteurs) $\epsilon_r = 1,5$
- Détailler le protocole de mesure pour le câble coaxial.
- Que représente l'incertitude sur la pente ? Méthode des moindres carré
- Réaliser une adaptation d'impédance.
- Pourquoi on n'a pas de "noeud complet" en régime stationnaire ici ? À cause de la dissipation.

Transition : Mise en évidence des ondes stationnaires dans le câble coaxial en court circuit ou circuit ouvert. ($f \sim 900\text{kHz}$).

Ondes stationnaires et résonances sur la corde de Melde

Questions :

- Quelles hypothèses ont été faites pour le calcul d'incertitudes ? On suppose que les variables utilisées sont indépendantes et que leurs valeurs mesurées sont tirées aléatoirement dans des répartitions gaussiennes.

Conclusion

Ouverture sur la propagation guidée.

Remarques

Manipulation supplémentaire

Mesure rapide du champ de pesanteur g . La solution est d'utiliser un pendule pesant et de compter un grand nombre de périodes au chronomètre. Attention il faut ensuite bien mesurer la longueur du pendule par rapport au centre de masse. On peut mentionner au jury que l'idéal serait de faire une régression linéaire avec différentes longueurs de pendule.