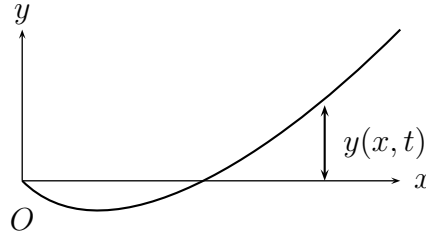


Sujet 1

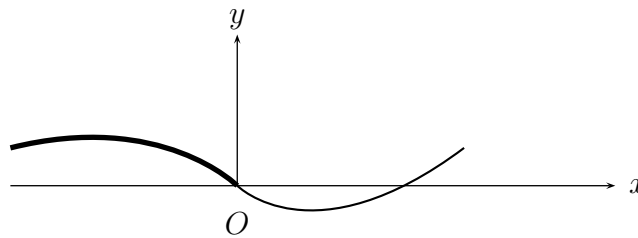
I Progation d'une onde sur une corde

On considère une corde homogène de masse linéique μ soumise à une tension T . Au repos, la corde est horizontale. On se limite aux mouvements dans le plan vertical (Oxy) , avec x horizontal et y vertical ascendant.

Soit $y(x,t)$ le déplacement vertical de l'élément de corde à l'abscisse x et à l'instant t .



- 1) Rappeler les dimensions T et μ .
- 2) On suppose que la célérité c des ondes est de la forme $c = \mu^\alpha T^\beta$. Exprimer α et β .



On considère désormais une corde infinie formée de deux brins de masses linéiques μ_1 pour $-\infty < x < 0$ et μ_2 pour $0 < x < \infty$. Au point $x = 0$, il existe une discontinuité de milieu (changement de milieu).

On pose

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu_2}{\mu_1}}$$

Les deux cordes sont raccordées en $x = 0$. Elles sont soumises à la même tension T . Une onde incidente provenant de $x \rightarrow -\infty$

$$y_i(x,t) = A \cos(\omega t - kx), \text{ pour } x < 0 \quad \text{avec} \quad k \in \mathbb{R}$$

donne naissance à une onde réfléchie

$$y_r(x,t) = A_r \cos(\omega t - k_r x), \text{ pour } x < 0 \quad \text{avec} \quad k_r \in \mathbb{R}$$

et une onde transmise

$$y_t(x,t) = A_t \cos(\omega t - k_t x), \text{ pour } x > 0 \quad \text{avec} \quad k_t \in \mathbb{R}$$

- 3) Exprimer la célérité des ondes dans la corde 1 ($x < 0$) puis dans la corde 2 ($x > 0$).
- 4) Préciser le sens de propagation de l'onde réfléchie. Donner la relation entre k_r et k .
- 5) Exprimer l'onde pour les $x < 0$.
- 6) Préciser le sens de propagation de l'onde transmise. Quelle est la relation entre k_t , ω , T et les masses linéiques ? Quelle est la relation entre k , ω , T et les masses linéiques ? Donner la relation entre k_t , k et η .

- 7) Exprimer l'onde pour les $x > 0$.
- 8) La corde ne subit pas de discontinuité en $x = 0$. En déduire une équation reliant A_r , A_t et A .
- 9) Remarquer que la corde n'est pas coudée en $x = 0$. Montrer que

$$A - A_r = \eta A_t$$

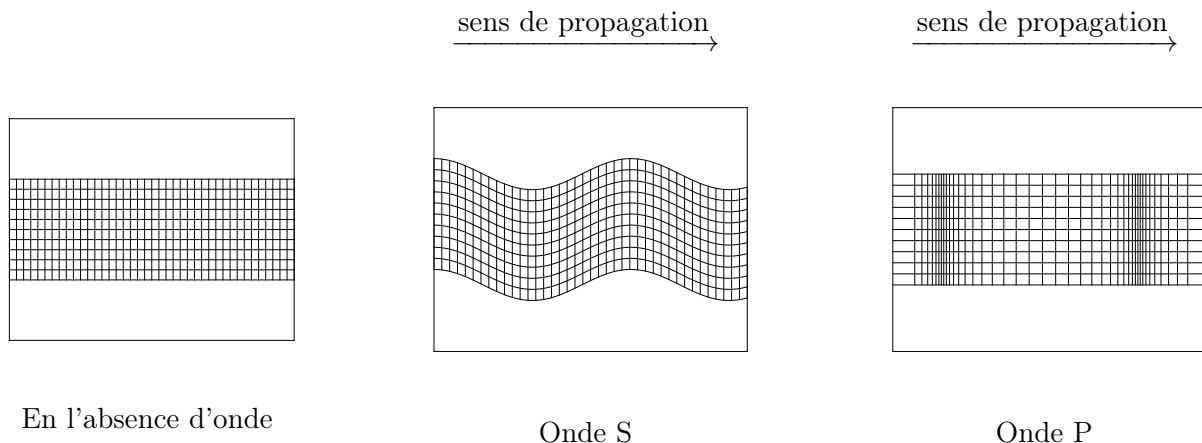
- 10) Exprimer A_r en fonction de A et η . Discuter les limites $\mu_2 \rightarrow \mu_1$ et $\mu_2 \rightarrow \infty$.
- 11) Les deux cordes sont en fer de masse volumique $\rho_{\text{Fe}} = 7 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Les deux cordes sont cylindriques. Le rayon de la corde 2 est le triple de celui de la corde 1. Exprimer η .

Sujet 2

I Ondes sismiques

On distingue deux types d'ondes sismiques : les ondes P qui se propagent à la vitesse c_P et les ondes S qui se propagent à la vitesse $c_S < c_P$. Après un séisme, les ondes P atteignent une station sismographique à l'instant t_P et les ondes S , à l'instant t_S .

On cherche à en déduire la distance D de la station à l'épicentre (le foyer du séisme) et la date t_0 du séisme. Les figures ci-dessous représentent l'allure d'une portion de la croûte terrestre pour ces deux types d'ondes.



- 1) Quelle est la différence entre les ondes P et les ondes S ? Quel adjectif décrit les ondes P ? les ondes S ?
- 2) Préciser quelles sont les ondes détectées les premières.
- 3) Avant de déterminer les expressions générales de D et t_0 , on cherche un (ou plusieurs) cas particulier(s) pour lequel (lesquels) ces expressions sont intuitives et simples. Imaginer une (des) valeur(s) particulière(s) des paramètres t_S et t_P pour laquelle (lesquelles) il est très facile de donner l'expression de t_0 ou de D .
- 4) Exprimer t_0 et D dans le cas général. Vérifier que les expressions trouvées sont en accord avec la réponse à la question précédente.
- 5) Quelle hypothèse a-t-on faite implicitement sur la propagation des ondes ? Cette hypothèse est-elle réaliste sachant que la terre est formée de différentes « couches » ?

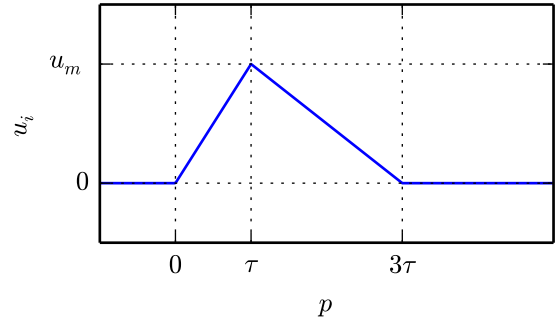
Pour localiser l'épicentre, on utilise les mesures de plusieurs stations.

- 6) Dans cette question, on considère deux stations respectivement à une distance D_1 et D_2 de l'épicentre. On suppose que la distance séparant les deux stations est petite devant le rayon terrestre. On peut alors considérer que la Terre est plane localement. En supposant que les deux stations et l'épicentre sont dans un même plan vertical, montrer que la connaissance de D_1 et D_2 permet de trouver la position de l'épicentre. Vous vous justifierez votre réponse à l'aide d'une construction graphique.
- 7) Combien faut-il de stations au minimum si on enlève l'hypothèse simplificatrice que les stations et l'épicentre sont coplanaires ?
- 8) Quel autre système de localisation s'appuie sur un principe similaire ?

Sujet 3

I Onde progressive

Un signal dont la forme est indiquée sur le graphe ci-contre se propage sur une corde vibrante. La courbe représente l'élongation $u_i(p)$ de la corde avec $p = t - z/c$. On suppose que $u_i(p) = 0$ pour les valeurs de p non représentées sur le graphique.



- 1) Décrire la nature de cette onde.
- 2) Représenter l'élongation u_i en fonction du temps pour $z = -\tau c$.
- 3) Représenter l'élongation u_i en fonction de z pour $t = 0$.
- 4) La corde se trouve dans le demi-espace $z \leq 0$ et est attachée en $z = 0$. Montrer que cette condition aux limites conduit à une onde réfléchie u_r en opposition de phase de l'onde incidente u_i en $z = 0$.
- 5) Représenter le signal incident u_i et celui réfléchi u_r en $z = 0$ en fonction du temps t .
- 6) Représenter $u_r(z, t_0)$ en fonction de z à l'instant $t_0 = 4\tau$.

Sujet 4

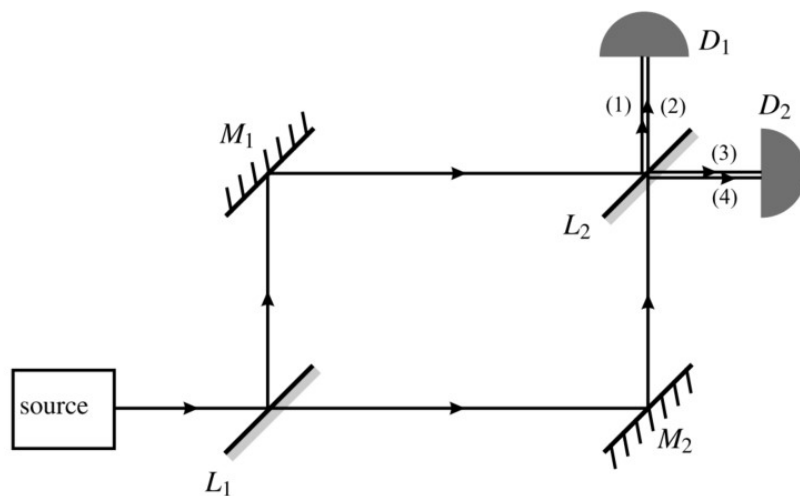
I Interféromètre de Mach-Zender

On considère une lame semi-réfléchissante non équilibrée qui divise un faisceau incident de puissance \mathcal{P} en un faisceau réfléchi de puissance $\mathcal{P}_r = R\mathcal{P}$ et un faisceau transmis de puissance

$$\mathcal{P}_t = T\mathcal{P} \quad \text{avec} \quad R + T = 1$$

- 1) Traduire ces renseignements en termes de probabilité de réflexion et de transmission du photon.

On réalise un interféromètre de Mach-Zender avec deux lames semi-réfléchissantes de ce type. La puissance du faisceau entrant dans l'interféromètre est \mathcal{P}_0 .

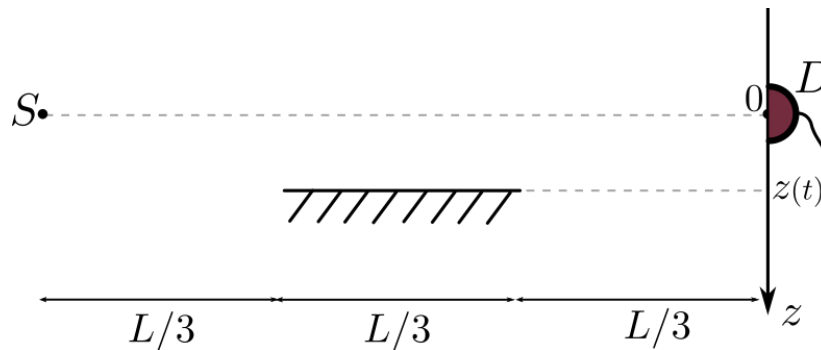


- 2) Quelles sont les puissances des quatre faisceaux sortant de l'interféromètre ? Vérifier que la puissance totale est conservée.
- 3) Quelle serait, dans une image corpusculaire, les puissances reçues par les détecteurs D_1 et D_2 ? Expérimentalement la puissance reçue par D_2 est nulle. Expliquer l'échec du modèle corpusculaire à prévoir cette observation.
- 4) Dans l'image ondulatoire, en appelant A_0 l'amplitude de l'onde entrant dans l'appareil, écrire les amplitudes des quatre ondes sortant de l'interféromètre.
- 5) L'appareil est réglé de manière à ce que les deux trajets de la lumière soient géométriquement rigoureusement identiques. On admet que le faisceau qui se réfléchit sur l'arrière de L_2 subit un déphasage de π , ce qui n'arrive pas au faisceau se réfléchissant sur l'avant de cette lame. Quelles sont les amplitudes des ondes reçues par chacun des détecteurs ? En déduire les puissances qu'ils reçoivent en fonction de la puissance \mathcal{P}_0 entrant dans l'appareil. Conclure.
- 6) On fait varier le déphasage φ (déphasage du seulement à la propagation) entre les deux ondes arrivant sur le détecteur D_1 . Exprimer les puissances reçues par chacun des détecteurs en fonction de \mathcal{P}_0 , R , T , φ . Comparer le cas où les lames sont parfaitement équilibrées ($R = T = 1/2$) et le cas où elles ne le sont pas.

Sujet 5

I Mesure de l'accélération de la pesanteur avec un miroir de Lloyd (★★)

On place une source ponctuelle S monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 650nm$ à une distance horizontale $L = 45cm$ d'un détecteur D . Initialement, un miroir de longueur $L/3$ positionné à égale distance de S et D se trouve en $z = 0$ (même altitude que S et D). On lâche ce miroir à $t = 0$ sans vitesse initiale et il subit alors une chute libre.



On donne dans le tableau ci-dessous les instants t_k pour lesquels on a mesuré des maxima d'intensité reçue par le détecteur D .

indice k du maximum	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_k(ms)$	7,42	9,77	11,11	12,08	12,86	13,53	14,10	14,62	15,00

On rappelle que la réflexion sur un miroir métallique s'accompagne d'un retard de phase égal à π .

- 1) Pour une position $z(t)$ du miroir, représenter les deux rayons qui interfèrent au point D de l'écran. Ces deux ondes sont-elles cohérentes?
- 2) On suppose $L \gg z(t)$, déterminer la différence de marche δ_D entre ces deux ondes au point D . Pour cela, il pourra être utile de faire apparaître une source fictive S' image de S par le miroir.
- 3) En déduire l'expression de l'intensité en D en fonction du temps. Quel est l'intensité reçue en D à $t = 0$? Expliquer.
- 4) A l'aide du tableau de valeurs fourni, trouver une estimation de g .
- 5) On utilise maintenant une source de lumière blanche pour réaliser l'expérience. Quelle est la durée typique au bout de laquelle l'intensité ne varie plus au point D . L'expérience est-elle réalisable avec une telle source?