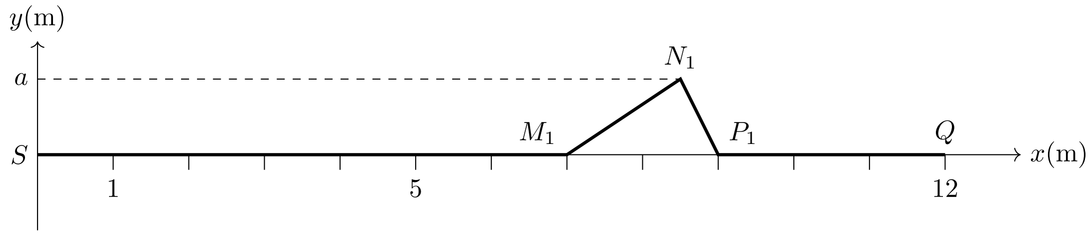
TD1 : Ondes

Exercice 1 : Onde progressive le long d'une corde

On étudie la propagation sans amortissement d'une perturbation le long d'une corde élastique. Au temps $t = 0$, le front de l'onde quitte l'extrémité S de la corde. On trace ci-dessous la forme de la corde au temps $t_1 = 2{,}3\,\text{s}$.



1. Calculer, en la justifiant, la célérité c de l'onde qui se déplace le long de la corde.
2. Pendant combien de temps un point de la corde est-il mis en mouvement par le passage de l'onde ?
3. Au temps t_1, quels sont les points de la corde qui s'élèvent ? Quels sont ceux qui descendent ?
4. Représentez sur le graphique l'allure de la corde à $t_2 = 1s$.
5. Tracez l'évolution temporelle de la position de la corde au point Q($x = 12\,\text{m}$). On fera apparaître sur le graphique la valeur de t aux instants où le mouvement de la corde est modifié.

Exercice 2 : Ondes sismiques

Lors d'un tremblement de terre, deux types d'ondes sont générées, des ondes longitudinales (P), et des ondes transversales (S) qui se propagent avec des célérités différentes notées respectivement $c_p = 8{,}0\,\text{km}\,\text{s}^{-1}$ et $c_s = 4{,}5\,\text{km}\,\text{s}^{-1}$. Un sismographe qui enregistre ces ondes note que les premières ondes P arrivent 3 minutes avant les premières ondes S.

1. À quelle distance l'épicentre du tremblement de Terre se trouve-t-il ?
2. Comment pourrait-on localiser précisément l'épicentre ?

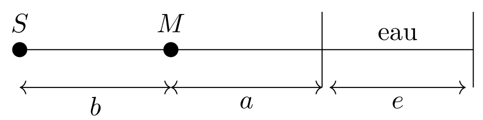
Exercice 3 : Effet Doppler

L'effet Doppler correspond au décalage de la fréquence d'une onde lorsque l'émetteur et le récepteur sont en mouvement relatif. Une source sonore émet une onde sinusoïdale de célérité c à la fréquence f dans la direction x. Un observateur situé en M et animé d'une vitesse v suivant le même axe x reçoit le son.

1. Écrire la fonction représentant l'onde émise par la source dans la direction des x croissants.
2. Quelle est la position $x_M(t)$ de l'observateur au cours du temps ?
3. Écrire la fonction qui représente l'onde reçue par l'observateur en mouvement.
4. Que vaut le fréquence f' entendue par l'observateur en fonction de f, v et c ?
5. Comment est modifiée le son que l'on perçoit lorsque l'on s'approche de sa source ? Que se passe-t-il si c'est la source sonore qui bouge ?

Exercice 4 : Bulle de savon

Considérons une bulle de savon éclairée par une source S d'onde lumineuse monochromatique de longueur d'onde dans le vide λ. La bulle est constituée d'un film d'eau d'épaisseur e. Une partie de la lumière incidente est réfléchie à l'interface air-eau puis une seconde partie est réfléchie à l'interface eau-air. Lors de sa réflexion sur l'interface air-eau, l'onde subit un déphasage supplémentaire de π.



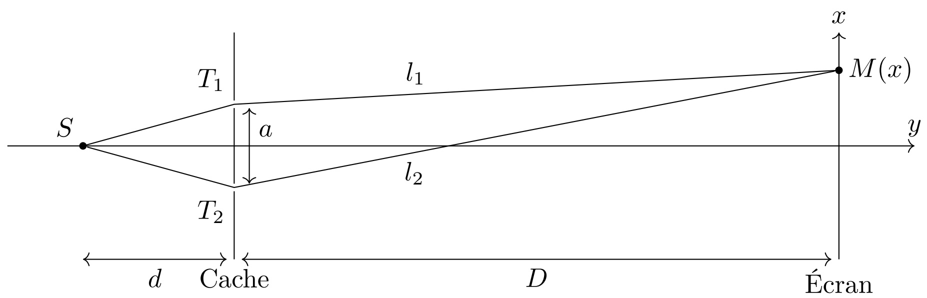
1. Expliquer pourquoi on observe un phénomène d'interférences en M.
2. La célérité de la lumière dans l'eau vaut c/n_e où c est la célérité de la lumière dans le vide. Combien vaut la longueur d'onde λ_e dans l'eau en fonction de λ ? (La fréquence reste inchangée dans l'eau). Exprimer les nombres d'onde dans l'air (k_a) et dans l'eau (k_e) en fonction de λ et n_e.
3. Montrer que les phases $\varphi_1(t)$ et $\varphi_2(t)$ des ondes se réfléchissant sur la première et la seconde interface sont données par :

$$\varphi_1(t) = k_a(2a + b) - \omega t + \pi$$
$$\varphi_2(t) = k_a(2a + b) + 2\,e\,k_e - \omega t$$

En déduire le déphasage $\Delta\varphi$ entre les deux ondes qui interfèrent en M.
4. Pour quelles longueurs d'ondes (dans l'air) obtient-on des interférences constructives ? destructives ?
5. A.N. : Pour $e = 0{,}25\,\mu\text{m}$ et n_e=1.4, quelles sont les longueurs d'onde du spectre visibles pour lesquelles les interférences sont constructives ? destructives ? De quelle couleur apparaît la bulle ?
6. Expliquez qualitativement pourquoi une bulle plus épaisse ($e > 1\,\mu\text{m}$) apparaît blanche.

Exercice 5 : Trous d'Young ⋆

Une source lumineuse S émet une onde sinusoïdale de longueur d'onde λ d'équation $A\cos(\omega t - kl)$ (où l est la distance entre S et le point considéré) en direction d'un cache situé à une distance d percé de deux trous de petite taille espacés d'une distance a. On suppose que chacun des trous renvoie l'onde dans toutes les directions et notamment vers un écran situé à une distance D des trous. On suppose que $a \ll D$



1. Pourquoi peut-on écrire que les ondes ré-émises par chacun des trous sont représentées par les fonctions $f_1(l_1, t) = A\cos(\omega t - kl_1 + \varphi)$ et $f_1(l_2, t) = A\cos(\omega t - kl_2 + \varphi)$? l_1 et l_2 représentent la distance entre le point considéré et les trous 1 et 2. Que représente φ et quelle est sa valeur ?
2. Les ondes issues des deux trous produisent des interférences. Expliquer qualitativement pourquoi on observe ce phénomène, et comment il se manifeste dans le cas présent.
3. Calculer le déphasage $\Delta\phi$ entre les ondes issues des deux trous arrivant au point M repéré par sa distance x à l'axe y (en supposant $x \ll D$). On rappelle que si $x \ll 1$ alors $\sqrt{1 + x} \simeq 1 + x/2$.
4. Quelles sont les valeurs de x pour lesquelles les interférences sont constructives (en fonction de a,D et λ) ? destructives ? Qu'observe-t-on dans les deux cas ?
5. Tracer l'allure de l'intensité lumineuse observée sur l'écran en fonction de x.
6. Quel phénomène explique que chacun des trous ré-émette l'onde incidente dans toutes les directions ? Quelle doit être l'ordre de grandeur de la taille des trous ?

Exercice 6 : Battements

On place au point O de l'axe x deux haut parleurs émettant des sons à deux fréquences légèrement différentes f_1 et f_2 en direction d'une personne placé en $M(x_M)$ qui écoute.

1. Écrire la fonction représentant l'onde émise par chacun des deux haut-parleurs sur l'axe x.
2. Écrire la fonction représentant l'onde sonore reçue par la personne sous la forme d'un produit de deux fonctions trigonométriques.
3. Pour des fréquences $f_1 = 2000\,\text{Hz}$ et $f_2 = 2001\,\text{Hz}$, décrire le son perçu par la personne qui écoute.
4. Tracez l'allure de l'évolution temporelle de l'onde sonore perçue.

Exercice 7 : Épaisseur d'un cheveu

On éclaire avec un laser rouge dont le faisceau a un diamètre d de longueur d'onde $\lambda = 633\,\text{nm}$ une fente de largeur $l \ll d$ et on observe l'éclairement d'un écran situé à une distance $D \gg l^2/\lambda$ de la fente.

1. Faire un schéma du système décrit.
2. Quelle sera la forme et les dimensions approximatives de la tache observée sur l'écran ?
3. Si on note I l'intensité du faisceau incident (supposée homogène), quelle sera l'intensité moyenne I_e de la tache sur l'écran ?
4. On suppose que la figure de diffraction produite par un cheveu d'épaisseur l a la même taille que celle produite par une fente de même largeur. Exprimer l'épaisseur l en fonction de la largeur L de la tache de diffraction.
5. A.N. : Calculer l'épaisseur d'un cheveu produisant une tache de largeur $L = 2\,\text{cm}$ à une distance $D = 2\,\text{m}$

Exercice 8 : Quelques petits problèmes

1. Supposons que le son puisse se propager dans l'espace, vous criez une question à un ami sur la Lune, il vous répond, combien de temps met sa réponse à arriver ?
2. Jim et Bob jouent au tennis, à quelle distance du court doit-on se trouver pour entendre Jim frapper la balle lorsqu'on voit Bob la frapper (et inversement) ?
3. On dirige un pointeur laser vers la Lune, quelle est l'ordre de grandeur de la taille de la tâche lumineuse sur la Lune ?