TD CHAPITRE MK.7 : ONDES MECANIQUES

CONSEILS A SUIVRE ; ERREURS A EVITER

1. Il faut connaître l'équation de d'Alembert (idéalement, il faut savoir l'établir en étant un peu guidé).
2. Les grandeurs $\boldsymbol{s(x,t)}$ représentant des phénomènes ondulatoires sont spatio-temporelles ; bien faire la distinction entre $\boldsymbol{s(x_0,t)}$ qui, pour une corde vibrante par exemple, représente l'élongation d'un point $\boldsymbol{x_0}$ de la corde en fonction du temps et $\boldsymbol{s(x,t_0)}$ qui représente l'état de la corde entière à l'instant $\boldsymbol{t_0}$ fixé.
3. Dans l'écriture $\boldsymbol{s(x,t) = f(t - x/c)}$ d'une onde progressive, bien distinguer $\boldsymbol{s(x,t)}$ qui représente la grandeur physique (élongation, surpression…) de $\boldsymbol{f}$ la fonction analytique (sinus, exponentielle…) qui représente sa variation.
4. Ne pas confondre la célérité (ou vitesse de propagation) des ondes avec la vitesse de vibration d'un élément de corde.
5. Il est essentiel de savoir écrire une onde harmonique progressive correctement.
6. Lorsque vous écrivez une relation liant deux ou trois variables parmi ω, T, ν, c, k, λ, σ, pensez à contrôler l'homogénéité (unité plutôt que dimension, d'ailleurs).
7. Dans les applications numériques ne pas oublier le coefficient 2π intervenant dans la relation entre la pulsation ω (en rad.s^{-1}) et la fréquence f (en Hz)
8. La caractéristique essentielle d'une onde est sa fréquence ; elle est conservée lorsque l'onde passe d'un milieu à un autre, tandis que la célérité c et par conséquent sa longueur d'onde λ sont quant à elles modifiées.
9. Il faut savoir distinguer une onde stationnaire d'une onde progressive.
10. Pour les questions relatives au stroboscope, commencer à raisonner sur les périodes comparées du flash et de la corde avant de passer aux fréquences, le risque d'erreurs est moindre.
11. Le choix entre onde progressive et onde stationnaire est imposé par l'existence ou non de **conditions aux limites**. En espace « illimité », prendre une solution en onde progressive ; en espace « clos », prendre une solution en onde stationnaire, soit directement sous la forme d'un mode, soit par superposition de deux ondes progressives de sens opposé.
12. Quand vous cherchez la position d'un nœud, n'oubliez pas de préciser $s(x,t) = 0 \quad \underline{\forall \boldsymbol{t}}$.
13. Les ondes stationnaires conduisent par les conditions aux limites, à des « quantifications » du type $sin\left(\frac{\omega t}{c}\right) = 0 \Rightarrow \frac{\omega l}{c} = n\pi$. Dans cette écriture, il est important d'indicer la quantité discrétisée (ce sont les conditions opératoires qui indiquent laquelle), par exemple en écrivant $\omega_n = \frac{n\pi c}{l}$ afin de bien faire apparaître, lorsque l est fixée, la suite ω_n de valeur possibles pour ω.
14. Si vous devez trouver des informations concernant un harmonique sur une corde tendue de longueur L, commencez par faire un schéma de cet harmonique. Si on vous demande, par exemple, le cinquième harmonique, vous devez tracer cinq ventres entre les points fixes des deux supports. Cela signifiera que cinq ventres chacun de longueur $\frac{\lambda}{2}$ couvriront la longueur L de la corde ; donc $5(\frac{\lambda}{2}) = L$ et par suite $\lambda = \frac{2L}{5}$; on peut ensuite déterminer la fréquence de l'harmonique.
15. Souvenez-vous que la longueur d'onde d'un harmonique ne dépend que de la longueur de la corde mais que la fréquence dépend également du module de la vitesse v de l'onde qui, elle, est déterminée par la tension et la masse linéique de la corde.

VRAI FAUX

1) Une onde progressive possède une célérité qui dépend du milieu de propagation.

2) La représentation graphique à un instant donné des variations spatiales d'une onde progressive a la même allure que celle des variations temporelles du signal en une position donnée.

3) Tout signal $s(t)$ peut s'écrire sous la forme : $s(t) = \langle s \rangle + \sum_{k=1}^{+\infty} c_k \cos(2\pi k f_1 t + \varphi_k)$.

4) $s(x,t) = s_0 e^{-[(x-ct)/x_0)]^2} \cos\left(2\pi f t - \frac{2\pi}{\lambda} x\right)$ est un signal se propageant vers les x croissants.

5) Dans une onde plane progressive sinusoïdale, tous les points de l'espace oscillent avec la même amplitude.

6) La période temporelle et la période spatiale d'une onde sinusoïdale sont deux grandeurs indépendantes l'une de l'autre.

A SAVOIR FAIRE

Exercice 1. **Vocabulaire *(Oral ATS – A. Leuridan)*** 1

On lâche un caillou dans l'eau.

Obtient-on une onde transversale, longitudinale, progressive, stationnaire, plane en un point proche de la source ? loin de la source ?

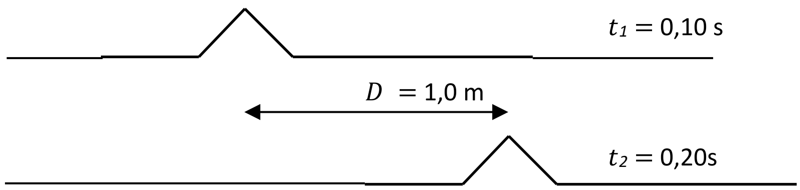
Exercice 2. **Célérité d'une onde sur une corde** **1**

La corde de piano donnant le La du diapason a pour longueur $L = 420\ mm$, pour diamètre $d = 1\ mm$.
La masse volumique de l'acier qui la constitue est $\rho = 7{,}86.10^3\ kg.m^{-3}$.
La corde est tendue avec une tension $F = 843\ N$.
Calculer la célérité de propagation des ondes transversales le long de cette corde.

Exercice 3. **Célérité d'une onde progressive** **1**

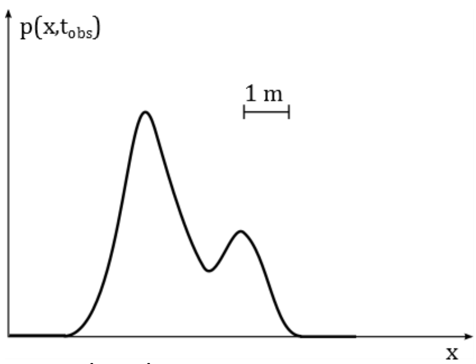
Une corde tendue entre 2 points A et B distants de L = 5,0 m est soumise à une perturbation en A.

1) Ci-dessous sont données les photographies d'une partie de la corde aux instants t_1 = 0,10 s et t_2 = 0,20s.



Déterminer à partir de ces schémas, la célérité de l'onde se propageant le long de la corde.

Exercice 4. **Passage d'une représentation spatiale à une représentation temporelle *(A. Leuridan)*** **2**



On considère un bassin rempli d'eau, doté d'un repère $Oxyz$. L'eau est caractérisée entre autres par la pression $P(x,t)$ régnant en chacun de ses points (on s'intéressera dans cet exercice à la propagation d'une onde selon Ox, à y et z fixés). Une onde de pression peut s'y propager sans déformation à la célérité $v = 1{,}5.10^3\ m.s^{-1}$.
On note P_0 la pression en l'absence de perturbation, et $p(x,t) = P(x,t) - P_0$ la surpression dans le plan d'abscisse x à l'instant de date t.

Suite à une perturbation générée en $x = 0$ entre deux dates t_0 et t_1, l'ensemble du milieu présente, à un instant de date $t_{obs} > t_1$, le profil de surpression ci-contre.

1) Déterminer la durée de la perturbation.

2) Représenter l'évolution temporelle de la surpression $p(x_0, t)$ en une abscisse x_0 fixée.

Exercice 5. Nœuds et des ventres 2 | 2

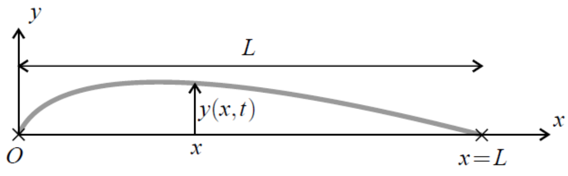
Considérons une onde stationnaire d'expression $s(x,t) = A\sin(kx)\cos(\omega t + \varphi)$. Etablir les expressions des positions des nœuds et des ventres associés.

Exercice 6. Modes propres IMPORTANT IMPORTANT | 1 | 2

On considère une corde de longueur L fixée aux 2 extrémités (en $x = 0$ et en $x = L$) oscillant selon :

$$y(x,t) = A\,cos(kx + \psi)\,cos(\omega t + \varphi)$$

Etablir les caractéristiques des modes propres en rappelant le lien entre les différentes grandeurs caractéristiques.



· Corde vibrante fixée à ses deux extrémités.

Exercice 7. Caractéristiques d'une onde stationnaire

On souhaite étudier la propagation d'ondes de la forme : $y(x,t) = Y_0(x)\sin(\omega t)$ où ω est la pulsation de l'onde et $Y_0(x)$ est une fonction que l'on souhaite étudier.

1) Comment qualifie-t-on la solution $y(x,t)$ décrivant une onde pour laquelle les dépendances spatiale x et temporelle t interviennent séparément ?

2) Montrer que $Y_0(x)$ doit vérifier l'équation $\frac{d^2Y_0(x)}{dx^2} + k^2Y_0(x) = 0$ où $k = \frac{\omega}{v} > 0$.

Exercice 8. Corde de guitare IMPORTANT | 1 | 1

Les cordes d'une guitare sont en acier de masse volumique ρ = 7,87.10^3 kg.m^{-3}.

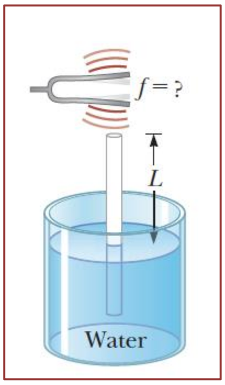
La corde la plus aiguë a un diamètre Φ = 3,00.10^{-4} m et une longueur L = 64,0 cm, et elle est tendue avec une tension T = 100 N. Quelle est la note la plus grave qu'une telle corde puisse émettre ?

Note (3ème octave)	Do3	Do♯3	Ré3	Ré♯3	Mi3	Fa3	Fa♯3	Sol3	Sol♯3	La3	Si ♭ 3	Si3
Fréquence (Hz)	262	277	294	311	330	349	370	392	415	440	466	494

Exercice 9. Modes de la corde de Melde IMPORTANT | 1

Dans l'expérience de la corde de Melde, on observe 4 fuseaux pour une fréquence de 44 Hz. Pour quelle fréquence observera-t-on 5 fuseaux ?

Exercice 10. Mesure de la fréquence d'un diapason 2 | 2



On s'intéresse à un dispositif expérimental utilisé pour mettre en évidence la résonance dans une colonne d'air. Il est constitué d'un tube vertical ouvert aux deux extrémités, dont l'extrémité basse est partiellement immergé dans l'eau, avec un diapason vibrant à une fréquence inconnue placé près du sommet du tuyau. La longueur L de la colonne d'air peut être modifiée en déplaçant le tuyau vertical.

Pendant que l'on fait baisser le niveau d'eau, on entend une 1ère résonance quand la hauteur de la colonne d'air est L_1 = 18,9 cm puis on entend une 2ème résonance pour une hauteur L_2 = 57,5 cm

Quelle est la fréquence du diapason ?

■ Exercices

Exercice 11. Vitesses du son

IMPORTANT | 2 | 1

Sur une côte maritime, un dispositif d'écoute est constitué de 2 micros placés sur une même verticale, l'un dans l'air, l'autre dans l'eau. La célérité du son dans l'air est c_1 = 340 m.s^{-1}et la célérité dans l'eau est c_2 =1 500 m.s^{-1}. Le bruit d'une explosion en mer parvient aux 2 récepteurs avec un décalage de 2,5 secondes.

A quelle distance a eu lieu l'explosion ?

Exercice 12. Propagation d'une onde

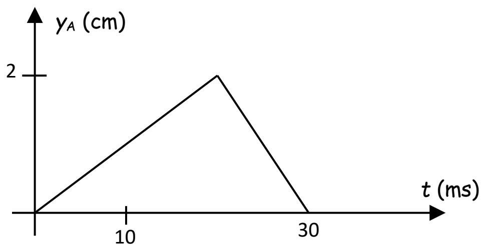
1 | 1

1) On s'intéresse à une corde tendue entre 2 points A et B distants de L = 5,0 m. La célérité de propagation le long d'une corde vérifie la relation $c = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$, avec F la tension de la corde et μ la masse linéique de la corde.

   a) Vérifier l'homogénéité de cette formule.

   b) Sachant que la tension de la corde est F = 10,0 N et que la corde a une masse m = 500 g, déterminer une nouvelle valeur de la célérité ; conclure.

2) On étudie à présent la perturbation subie en A par une autre corde, qui a l'allure $y_A(t)$ ci-contre



   a) Quelle est la largeur spatiale de la perturbation ?

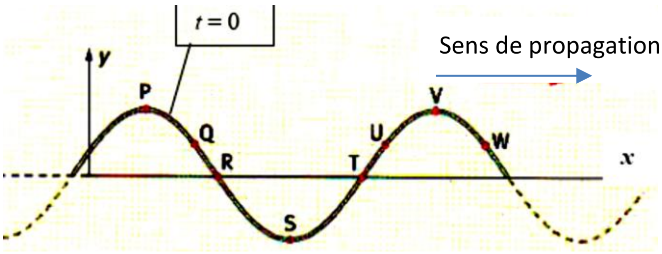
   b) Représenter l'aspect de la corde aux instants suivants : 0,010 s ; 0,030 s et 0,060 s (on négligera l'amortissement).

   c) Représenter l'élongation du point M situé à x_M = 0,20 m de A en fonction du temps.

Exercice 13. Onde sinusoïdale le long d'une corde

2

Le schéma ci-contre représente l'aspect, à la date $t = 0$, d'une corde le long de laquelle se propage une onde progressive sinusoïdale de période T_0.



On a repéré certains points sur cette corde : P, Q, R, S, T, U, V et W. Sur la corde réelle, la distance RT est de 5 cm et la distance de P à la position d'équilibre de la corde de 1 cm.

Célérité de l'onde le long de la corde : c = 5,0 m.s^{-1}.

1) Dans quelle direction se déplacent les différents points de la corde. Que peut-on en conclure pour l'onde ?

2) Quelle est l'amplitude de l'onde ? sa longueur d'onde ? En déduire la période T_0 et la fréquence f_0 de l'onde.

3) Dans quel sens vont se déplacer les points repérés sur la corde juste après $t = 0$? (indiquer le sens de déplacement avec des flèches)

4) Quels sont les points qui vibrent en phase ?

5) Que peut-on dire des points P et S ?

6) Représenter l'aspect de la corde à l'instant $t = \frac{T_0}{2}$. Y repérer les nouvelles positions des différents points.

7) Représenter les graphes $y_P(t)$ et $y_S(t)$ avec les échelles suivantes : 1cm pour 5,0 ms en abscisse et la même échelle verticale que sur l'allure de la corde

---

Exercice 14. Instruments à corde IMPORTANT | 2 | 1

Nous nous proposons d'étudier une corde d'un instrument à corde. Il s'agit d'une corde tendue attachée à ses deux extrémités en O ($x = 0$) et en A ($x = L$) ; son mouvement est donné par $y(x,t) = b\sin\left(\frac{\omega x}{c}\right).\sin(\omega t)$.

7) De quel type de solution s'agit-il ? Cette solution vérifie-t-elle les conditions aux limites ?

8) Déterminer les pulsations propres ω_n possibles.

9) La corde est en acier, de masse volumique ρ = 7,87.10^3 kg.m^{-3}, de diamètre d = 0,30 mm, de longueur L = 64 cm et tendue avec une tension T = 100 N.

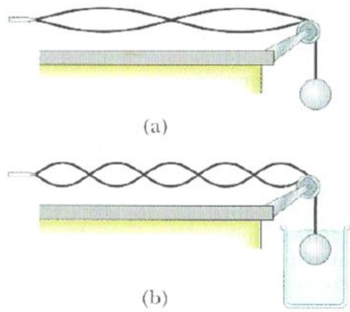
   a) Calculer la célérité c de la corde étudiée ;

   b) Déterminer la fréquence f_1 du mode fondamental ainsi que la longueur d'onde λ_1 correspondante.

   c) Faire un schéma de ce mode d'oscillation et interpréter.

10) Pourquoi un violon joue-t-il plus aigu qu'une contrebasse ?

Exercice 15. Corde vibrante et rayon d'une sphère 3 | 2 *(A. Leuridan)*



Une corde horizontale est attachée à l'une de ses extrémités par une lame vibrante. À l'autre extrémité, la corde passe par une poulie et est reliée à une sphère de masse $m = 2{,}00\ kg$.

La corde oscille selon le mode propre de rang 2 (seconde harmonique). Ensuite la sphère est totalement immergée dans un récipient d'eau. Dans cette configuration, la corde oscille selon le mode propre de rang 5.

Que vaut le rayon de la sphère ?

EXERCICES COMPLEMENTAIRES

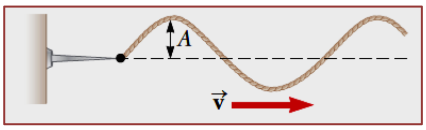
Exercice 16. Vibrations en phase 1

On considère une onde progressive sinusoïdale $s(x,t)$. On suit l'évolution au cours du temps de s en deux points M et N. On constate que les signaux sont en phase. Que peut-on en déduire concernant les abscisses x_M et x_N de ces points ?

Exercice 17. Autour des équations d'onde 2

1) Soit une onde d'équation : $y(x,t) = 0{,}05 sin\left[\frac{\pi}{2}(10x - 40t) - \frac{\pi}{4}\right]$ où x et y sont en mètres et t en secondes. Déterminer la longueur d'onde, la fréquence et la vitesse de propagation de l'onde

2) La corde représentée sur la figure ci-dessous est entraînée à une fréquence de 5,00 Hz. L'amplitude du mouvement est de 12,0 cm, et la vitesse de l'onde est v = 20,0 m/s. En outre, l'onde est telle que y = 0 à x = 0 et t = 0.



a) Déterminer la fréquence angulaire et le nombre d'onde de cette onde.

b) Écrire une expression pour la fonction d'onde $\boldsymbol{y(x,t)}$.

Exercice 18. Battements *(A. Leuridan)* 1 | 2

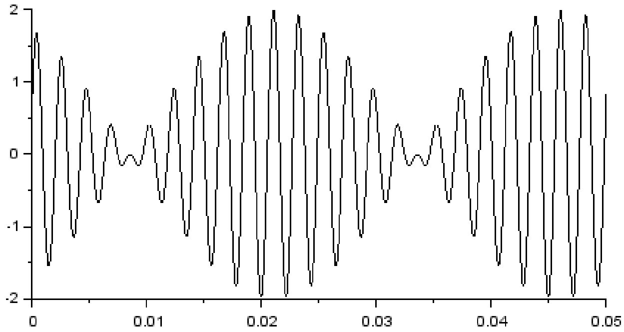
Quand on fait la somme de deux ondes sinusoïdales de même amplitude et de fréquences f_1 et f_2 voisines on observe un phénomène de battement.

On rappelle : $\cos(a) + \cos(b) = 2\cos\left(\frac{a+b}{2}\right)\cos\left(\frac{a-b}{2}\right)$

11) Exprimer le signal résultant, en un point donné, de la somme des deux signaux $s_1(t) = A\,cos(2\pi f_1 t)$ et $s_2(t) = A\,cos(2\pi f_2 t)$. Ce signal est périodique mais non sinusoïdal.

Dans le cas où f_1 et f_2 sont deux fréquences voisines, on peut considérer le signal résultant comme un signal de fréquence $f_s = \frac{1}{2}(f_1 + f_2)$ proche de f_1 ou f_2, modulé par un signal de fréquence $f_m = |f_1 - f_2|$.

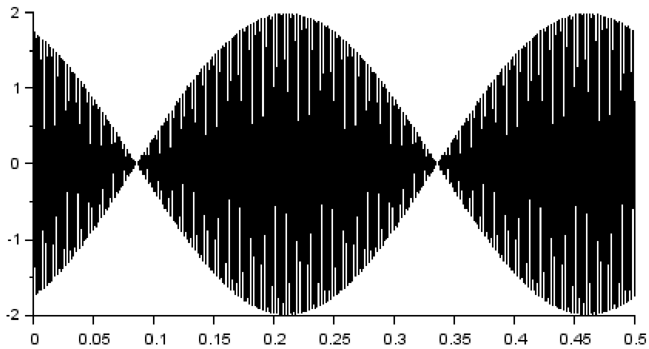
12) Exemple : Sur le graphe ci-contre figure la somme de deux signaux de fréquences $f_1 = 440\ Hz$ et $f_2 = 480\ Hz$, de même amplitude égale à l'unité $(= 1)$. L'échelle horizontale est graduée en secondes. Retrouver f_s et f_m.



L'oreille est très sensible à ce phénomène et cette méthode est très utilisée pour accorder les instruments de musique. On cherche le battement zéro entre le signal de référence et l'instrument à accorder.

Wikipédia **Somme d'un *la* avec un *presque-la* :**	
Battement de 440 Hz et 440,5 Hz	https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b2/SoundBeats1.ogg
Battement de 440 Hz et 442 Hz	https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8c/SoundBeats2.ogg

13) Le signal résultant ci-contre est la somme de 2 signaux de fréquences $f_1 = 440\ Hz$ et f_2 inconnue ; que vaut f_2 ?



Exercice 19. Observation stroboscopique d'une corde 2 | 1 ***(A. Leuridan)***

Un vibreur provoque une onde périodique sinusoïdale transversale, de fréquence $N = 200\ Hz$ et se propageant le long d'une corde à vitesse $v = 40\ m/s$. Il n'y a pas d'onde de retour (ou onde réfléchie). On observe le phénomène sous l'éclairage d'un stroboscope.

a. Calculer la période spatiale de l'onde.

b. Quelles sont les fréquences N_e des éclairs qui donnent l'immobilité apparente de la corde ?

c. Représenter le phénomène observé en précisant les grandeurs caractéristiques.

Le stroboscope est réglé sur la fréquence de 198 Hz.

d. Calculer la distance parcourue par l'onde entre deux éclairs consécutifs.

e. De quelle distance apparente un observateur voit-il progresser cette onde entre ces deux éclairs ?

f. En déduire la célérité apparente de l'onde.

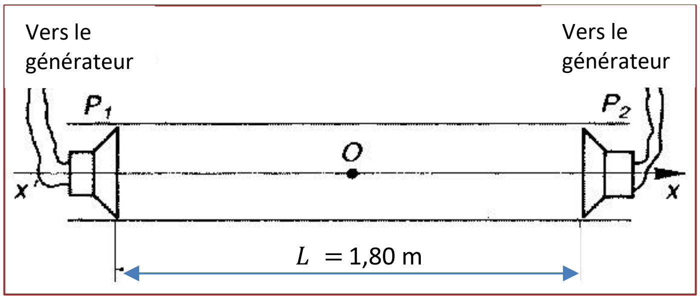
g. Décrire qualitativement l'observation si la fréquence des éclairs est égale à 202 Hz.

https://www.youtube.com/watch?v=jHS9JGkEOmA vidéo avec roues filmées https://www.youtube.com/watch?v=jcdMM04dld0 figurine, corde de Melde (couper le son !)

Exercice 20. Ondes stationnaires dues à 2 hauts parleurs 2 | 3 td

Deux hauts parleurs P_1 et P_2 alimentés par un même générateur de tension sinusoïdale, réglé à la fréquence $f = 2\,500$ Hz sont placés face à face aux extrémités d'un tube, leurs membranes étant distantes de $L = 1{,}80$ m (cf. schéma ci-dessous).

Les ondes sonores supposées planes, se propagent dans le tube avec une célérité $c = 340$ m/s. On se propose d'étudier le résultat de leur superposition sur l'axe de symétrie $(x'x)$ du dispositif, axe orienté de P_1 vers P_2 et sur lequel l'origine est le point O équidistant de P_1 et de P_2



Déterminer l'état vibratoire

a) En O

b) En un point M d'abscisse x proche de O, tel que $x \in \left[-\frac{L}{2};\ +\frac{L}{2}\right]$.

14) Comparer la résultante de l'onde en des points Mi tels que $OM_1 = -\frac{\lambda}{8}$; $OM_2 = \frac{\lambda}{8}$ et $OM_3 = 3\frac{\lambda}{8}$ où λ désigne la longueur d'onde.

15) Représenter les variations de la phase en fonction de x à un instant t donné.

Exercice 21. Houle (E. Thibierge) 1| 2

La hauteur d'eau de la houle peut être modélisée comme une sinusoïde

$$h = h(x) = H\,cos(\omega t - kx)$$

associée au champ de vitesse dans l'eau

$$\vec{v}\,(x,y,z) = H\omega e^{kz}[cos(kx - \omega t)\,\vec{u}_x + sin(kx - \omega t)\,\vec{u}_z]$$

où l'axe x est sa direction de propagation et l'axe z un axe vertical ascendant dont l'origine est choisie au niveau moyen de la mer. Par définition, le nombre d'onde k est relié à la longueur d'onde la houle par $k = \frac{2\pi}{\lambda}$.

1) De quel type d'onde s'agit-il ? Dans quelle direction se propage-t-elle ?

2) Représenter graphiquement le champ de vitesse à l'instant $t = 0$ en $x = 0$ (correspondant au sommet d'une vague), $x = \lambda/4$ et $x = \lambda/2$ (creux d'une vague).

3) L'écoulement est-il compressible ou non ?

4) L'écoulement est-il tourbillonnaire ou irrotationnel ?

Exercice 22. Antenne demi-onde *(J'assure, PT, Dunod)* 3 | 2

Une antenne demi-onde peut être modélisée par un fil rectiligne conducteur d'axe (Oz), de section s, de longueur L, compris entre $z = 0$ et $z = L$, parcouru par un courant d'intensité $i(z,t)$de la forme :

$$i(z,t) = I_0\,sin\left(\frac{\pi z}{L}\right)cos(\omega t)$$

Ce conducteur est localement neutre en l'absence de courant.

1) En admettant que la densité de courant dans le fil est répartie uniformément sur toute la section de ce dernier, déterminer le vecteur densité volumique de courant $\vec{j}\,(z,t) = j(z,t)\overrightarrow{u_z}$ dans ce conducteur. Sachant que $I_0 = 1{,}0$ A et $s = 1{,}0$ mm^2, déterminer la valeur maximale de $j(z,t)$.

2) Représenter sur un graphe l'allure de $j(z,t)$ en fonction de z pour quelques valeurs de t bien choisies. Avez-vous déjà rencontré un comportement de ce type ?

3) En utilisant l'équation locale de conservation de la charge, déterminer l'expression de la densité volumique de charge $\rho(z,t)$ associée à ce courant. Représenter sur un graphe l'allure de $\rho(z,t)$ en fonction de z pour quelques valeurs de t bien choisies. Commenter.

4) Déterminer la charge totale $Q(t)$ contenue dans le fil, ainsi que les charges $Q_1(t)$ et $Q_2(t)$ comprises respectivement entre $z=0$ et $z=\frac{L}{2}, et$ entre $z=\frac{L}{2}$ et $z=L$. Commenter.

A SAVOIR

1. Qu'est-ce qu'un signal ? Définir la notion de signal périodique et de signal sinusoïdal.
2. Qu'est-ce qu'un ébranlement ? une onde ? quelles sont les principales caractéristiques d'une onde ? qu'est-ce qu'une onde mécanique ? transversale ? longitudinale ? unidimensionnelle ? progressive ?
3. La corde vibrante est un exemple de support le long duquel peut se transmettre un signal mécanique ; représenter la grandeur physique spatiotemporelle $s(x,t)$ qui traduit la perturbation. Savoir établir l'équation de propagation de l'onde.
4. A quoi correspond la célérité d'une onde progressive vérifiant l'équation de d'Alembert ? quelle est l'expression de la célérité pour une onde sur une corde tendue ? quels sont les paramètres principaux influençant la célérité d'une onde ?
5. Un signal est écrit sous la forme $s(x,t) = f\left(t-\frac{x}{c}\right)$; que représente cette écriture ? Quelle est la signification de c ? Qu'en est-il pour d'un signal écrit ou la forme $s(x,t) = g\left(t+\frac{x}{c}\right)$? Qu'en est-il de la forme $s(x,t) = f(x-ct)$? Une corde vibrante est excitée de manière sinusoïdale par un vibreur placé en $x = 0$ qui lui impose le mouvement transversal $s(0,t) = s_0 cos(\omega t)$ de pulsation ω. Quel type d'onde se propage alors dans le sens des x croissants ? Décrire $s(x,t)$? Représenter les deux courbes $s(x_0,t)$ où $x = x_0$ est fixé et $s(x,t_0)$ où $t = t_0$ est fixé et commenter en précisant ce que représente chacune de ces courbes.
6. Définir la notion de longueur d'onde λ, établir la relation entre la fréquence f, λ et la célérité c des ondes sinusoïdales de la question précédente ; commenter. Réécrire ensuite $s(x,t)$ en fonction de T et de λ.
7. Décrire qualitativement une onde stationnaire. Dans le cas de la superposition d'une onde sinusoïdale incidente et d'une onde sinusoïdale réfléchie sur une extrémité fixe, exploiter la condition aux limites pour établir l'expression de l'onde stationnaire résultante. Quelles sont les conséquences de cette expression ? à quoi correspond la notion de nœuds et de ventres ? Etablir leurs positions ainsi que les déphasages entre points de la corde au sein des fuseaux définis.
8. Savoir effectuer l'étude quantitative d'une onde stationnaire vibrant sur corde fixée aux deux extrémités ; à quoi correspondent les modes propres qui en découlent ? pourquoi parle-t-on de quantification ? que peut-on dire du mouvement général de la corde fixée aux deux extrémités ?
9. Etude de la corde de Melde : décrire qualitativement les mouvements obtenus ; à quoi correspond la notion de résonance ? savoir obtenir quantitativement les fréquences de résonance, savoir les exprimer connaissant la célérité et la longueur de la corde ; les interpréter physiquement.