SUIS-JE AU POINT ?

Chapitre 16 : Ondes progressives et stationnaires

- Une notion à bien comprendre, un point à retenir.
- ♥ Une définition/formule à connaître PAR CŒUR.
- ✍ Un savoir-faire à acquérir.
- TD Un exercice du TD pour s'entraîner.

1 Nature d'un signal physique

1.1 Notion d'onde

♥ Donner la définition générale d'une onde, d'un signal.

1.2 Nature d'une onde

♥ Donner un ou plusieurs exemples d'onde et préciser quelle(s) grandeur(s) physique(s) on peut leur associer.

1.3 Onde transversale, longitudinale

♥ Définir une onde transversale/longitudinale.

2 Onde progressive

2.1 Introduction

Dans ce chapitre on étudie la propagation rectiligne d'une onde dans un milieu illimité, homogène, transparent et non dispersif. Dans ces conditions l'onde se propage à vitesse constante en gardant à tout instant la même forme.

2.2 Phénomène propagatif, vision spatiale et temporelle

♥ Définir un état vibratoire, le front avant et le front arrière d'une onde.

✍ Connaissant l'allure spatiale de l'onde à un instant donné ($x \mapsto y(x,t_1)$), tracer l'allure de l'onde à une autre date ($x \mapsto y(x,t_2)$) en calculant **la distance de propagation entre ces deux dates** (spatial→spatial).

✍ Connaissant l'allure spatiale de l'onde à un instant donné ($x \mapsto y(x,t_1)$), tracer l'allure de la vibration enregistrée en un point donné de l'espace ($t \mapsto y(x_1,t)$) (spatial→temporel).

✍ Connaissant l'allure de la vibration enregistrée en un point donné de l'espace ($t \mapsto y(x_1,t)$), tracer l'allure de la vibration enregistrée en un autre point donné de l'espace ($t \mapsto y(x_2,t)$) en calculant le **retard temporel dû à la propagation** (temporel→temporel).

2.3 Expression mathématique d'une onde progressive

2.3.1 Propagation dans le sens des x croissants

♥ Justifier l'expression mathématique générale d'une onde progressive, se propageant avec une célérité c le long d'un axe (Ox), dans le sens des x croissants ($y(x,t) = y(x-ct,0)$ *ou bien* $y(x,t) = y(0,t-\frac{x}{c})$).

2.3.2 Propagation dans le sens des x décroissants

♥ Justifier l'expression mathématique générale d'une onde progressive, se propageant avec une célérité c le long d'un axe (Ox), dans le sens des x croissants ($y(x,t) = y(x+ct,0)$ *ou bien* $y(x,t) = y(0,t+\frac{x}{c})$).

2.4 Application

✍ Appliquer les points du paragraphe 2.2.

TD Représentation spatio-temporelle d'une onde : exercice 1.

3 Onde progressive harmonique

♥ Donner l'expression mathématique générale d'une onde progressive harmonique (c'est-à-dire sinusoïdale), se propageant avec une célérité c le long d'un axe $(\mathrm{O}x)$:

- ❏ dans le sens des x croissants : $y(x,t) = A\cos(\omega t - kx + \varphi)$
- ❏ ou décroissants : $y(x,t) = A\cos(\omega t + kx + \varphi)$.

♥ Définir le vecteur d'onde et le nombre d'onde (connaître les unités).

♥ Écrire les relations entre les différentes grandeurs caractéristiques d'une onde :

- ❏ grandeurs temporelles : $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$;
- ❏ grandeurs spatiales : $k = 2\pi\sigma = \frac{2\pi}{\lambda}$;
- ❏ spatial⟷temporel : $\lambda = \frac{c}{f}$ ou $k = \frac{\omega}{c}$.

✍ Calculer le déphasage $\Delta\varphi$ entre les vibrations mesurées en deux points différents de l'axe (Ox). Démontrer que deux vibrations sont en phases si les points sont distants **d'un nombre entier de longueurs d'onde**.

💡 Dans un milieu dispersif, les différentes composantes de Fourier d'une onde non sinusoïdale se propagent à des vitesses différentes, ce qui provoque **une déformation de l'onde au cours de sa propagation**.

TD Onde progressive sinusoïdale : exercices 2,4,8.

4 Onde stationnaire

4.1 Réflexion d'une onde progressive harmonique

💡 La superposition de l'onde incidente et de l'onde réfléchie aboutit à l'apparition d'une **onde stationnaire** (vibration sans transport d'énergie).

♥ Donner l'expression **générale** d'une onde stationnaire sinusoïdale ($s(x,t) = A\sin(\omega t + \varphi)\sin(kx + \psi)$).

✍ Tracer l'allure d'une onde stationnaire sinusoïdale à différents instants. Identifier les **nœuds** et les **ventres** de vibration. Connaître la distance qui sépare deux ventres (ou deux nœuds) consécutifs (*distance égale à* $\frac{\lambda}{2}$).

4.2 Mouvement d'une corde entre deux extrémités fixes

💡 Lorsqu'une onde est confinée dans l'espace entre deux points fixes, il ne peut exister, en régime permanent, d'onde progressive. On peut en revanche observer une onde stationnaire, à condition qu'elle vérifie deux **conditions limites** : $s(0,t) = s(L,t) = 0\ \forall t$.

💡 Les contraintes imposées par les conditions limites ne permettent l'existence que de certaines ondes stationnaires sinusoïdales, dont les fréquences sont **quantifiées** (on les appelle les **fréquences propres**, les vibrations associées s'appellent les **modes propres de vibration de la corde**). Toutes les fréquences permises sont des **multiples entiers d'une fréquence fondamentale** qui dépend de la longueur de la corde et de la célérité.

✍ Mettre en oeuvre les conditions limites pour établir l'expression des fréquences propres en fonction d'un entier naturel non nul n (on pourra s'appuyer sur une représentation schématique des différents modes propres de vibration).

TD Cordre vibrante : exercices 3,5,6,7.

4.3 Mise en évidence expérimentale des modes propres : corde de Melde

♥ Décrire l'expérience de la corde de Melde. Que se passe-t-il quand on fait vibrer la corde à la fréquence fondamentale ? À la fréquence de l'harmonique de rang n ? À une fréquence autre qu'une fréquence propre ?

4.4 Vibration quelconque entre deux extrémités fixes

Une onde stationnaire de forme **quelconque**, observée entre deux extrémités fixes, peut s'écrire mathématiquement comme la **superposition de vibrations correspondants aux différents modes propres**. La décomposition d'une onde quelconque en différents modes propres de vibration est analogue à une décomposition en série de Fourier. On peut définir pour cette onde un fondamental, des harmoniques et on peut lui associer un spectre.

La hauteur du son (c'est-à-dire la **note**) produit par une corde vibrante est caractérisé par sa **fréquence fondamentale**. Le timbre (sensation auditive produite par l'onde acoustique qui permet de distinguer deux sons de même hauteur produits par deux instruments différents) dépend de la composition et de l'amplitude des harmoniques.

4.5 Onde stationnaire dans une cavité acoustique

Certains instruments à vent peuvent être modélisés de manière simplifiée par des cavités acoustiques rectilignes fermées ou ouvertes à leurs extrémités. Dans de tels instruments, les extrémités imposent des conditions limites pour l'onde acoustique.

✍ Mettre en oeuvre les conditions limites (fournies) pour établir l'expression des fréquences propres, en fonction d'un entier naturel n, d'une cavité acoustique fermée, ouverte, semi-ouverte (on pourra s'appuyer sur une représentation schématique des différents modes propres de vibration).

TD Onde stationnaire acoustique : exercice 5.