SUIS-JE AU POINT ?

Chapitre 12 : Signaux, ondes

💡 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 Quelques exemples

❤ 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 Propagation rectiligne

2.1.1 Propagation dans le sens des x croissants

❤ Donner l'expression mathématique générale d'une onde progressive, se propageant avec une célérité c le long d'un axe $(\mathrm{O}x)$, dans le sens des x croissants ($s(x,t) = f(x-ct)$ *ou bien* $s(x,t) = g(t-\frac{x}{c})$ *avec* f *et* g *sont des fonctions quelconques*).

✍ Interpréter cette expression mathématique en termes de retard temporel (représentation *temporelle* : $s(x,t) = s(0,t-\frac{x}{c})$) ou bien en termes de distance de propagation (représentation *spatiale* : $s(x,t) = s(x-ct,0)$).

2.1.2 Propagation dans le sens des x décroissants

❤ Donner l'expression mathématique générale d'une onde progressive, se propageant avec une célérité c le long d'un axe $(\mathrm{O}x)$, dans le sens des x décroissants ($s(x,t) = f(x+ct)$ *ou bien* $s(x,t) = g(t+\frac{x}{c})$ *avec* f *et* g *sont des fonctions quelconques*).

✍ Interpréter cette expression mathématique en termes de retard temporel (représentation *temporelle* : $s(x,t) = s(0,t+\frac{x}{c})$) ou bien en termes de distance de propagation (représentation *spatiale* : $s(x,t) = s(x+ct,0)$).

2.2 Evolution spatiale et temporelle d'une onde progressive

✍ Étant données la forme d'une onde à une date t et sa célérité, tracer l'allure de l'onde à une autre date. Tracer l'allure de la vibration en un point de l'espace, en fonction du temps (passage spatial$\longrightarrow$temporel).

✍ Étant données la vibration, en un point d'abscisse x, au passage d'une onde et sa célérité, tracer l'allure de la vibration en un autre point de l'espace. Tracer la forme de l'onde à un instant donné (passage temporel$\longrightarrow$spatial).

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

2.3 Onde progressive harmonique

- Donner l'expression mathématique générale d'une onde progressive harmonique (ou sinusoïdale, ou monochromatique), se propageant avec une célérité c le long d'un axe (Ox), dans le sens des x croissants ($s(x,t) = S_0 \cos(\omega t - kx + \varphi)$) ou décroissants ($s(x,t) = S_0 \cos(\omega t + kx + \varphi)$).
- Définir la longueur d'onde, le vecteur d'onde. Écrire la relation entre la longueur d'onde et la fréquence d'une onde progressive harmonique.
- Écrire les relations entre la période T, la pulsation ω et la fréquence f.
- Écrire les relations entre la longueur d'onde λ, le vecteur d'onde k et le nombre d'onde σ.
- Définir un milieu dispersif (donner un exemple et savoir que l'on peut assimiler vitesse de phase et célérité dans un milieu non dispersif).
- λ est la **période spatiale de l'onde** mais aussi **la plus petite distance qui sépare deux points qui vibrent en phase** ou encore **la distance sur laquelle l'onde se propage pendant une durée T**).

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

3 Spectre d'un signal périodique

3.1 Décomposition en série de Fourier d'une fonction périodique

Toute fonction périodique de fréquence f peut être vue comme une **superposition de fonction sinusoïdales** dont les fréquences sont des **mutliples entiers de f**. La décomposition en série de Fourier d'une fonction périodique est **unique**. Elle indique quel est le **contenu en fréquences** de la fonction.

3.2 Spectre d'un signal périodique

- Définir le spectre en amplitude d'une fonction périodique (faire le lien avec la décomposition en série de Fourier).
- Étant donné un spectre fourni, identifier la **composante continue**, le **fondamental** et les **harmoniques** (préciser leur rang).
- Reconnaître l'allure du spectre d'un signal **sinusoïdal** (*un seule composante de fréquence non nulle*), d'un signal **rectangulaire (ou créneau)** (*harmoniques impairs uniquement, décroissance de l'amplitude des harmoniques en* $\frac{1}{n}$), d'un signal **triangulaire** (*harmoniques impairs uniquement, décroissance de l'amplitude des harmoniques en* $\frac{1}{n^2}$).

3.3 Ordres de grandeur de fréquences

- Indiquer le domaine des fréquences acoustiques audibles.

4 Onde stationnaire

4.1 Réflexion d'une onde progressive sur une paroi rigide

- Une onde progressive qui rencontre un obstacle à sa propagation donne naissance à une **onde réfléchie**. Celle-ci se propage en sens inverse de l'onde incidente, avec la même célérité (le calcul de l'onde réfléchie vu en cours n'est pas à savoir).

4.2 Cas d'une onde progressive harmonique, onde stationnaire

- 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* $\frac{\lambda}{2}$).

4.3 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.

4.4 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 ?

✍ Exliquer comment utiliser le stroboscope pour déterminer la valeur de la fréquence de vibration de la corde dans l'un de ses modes propres.

4.5 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.

4.6 Onde stationnaire acoustique dans une cavité

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.

♥ Énoncer la condition limite imposée à la **surpression acoustique** par une extrémité **ouverte** (*nœud de surpression acoustique*) et par une extrémité **fermée** (*ventre de surpression acoustique*).

✍ Mettre en oeuvre les conditions limites 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.