

Chapitre D

Ondes Mécaniques

La notion d'onde a été abordée dans le cadre du chapitre C (lumière).

Nous allons reprendre les notions associées dans le cadre des ondes dites mécaniques et nous développerons nos mesures dans le cadre encore plus restreint des ondes ultra-sonores (dans l'air).

Pour rappel, les notions utilisées dans le cadre du chapitre C :

- Une onde, c'est un transfert d'énergie sans transfert de matière (expérience rapide avec une corde)
- Une onde est caractérisée par son amplitude et par sa célérité (corde, son)
- Une onde périodique est caractérisée en plus par sa période (ou sa fréquence) et sa longueur d'onde (corde, cuve à onde)
- Une onde peut être réfléchi (corde, écho sonore)
- Une onde peut être dispersée (orage)
- Une onde peut être diffractée (cuve à onde)
- Deux ondes peuvent interférer.

A - Propagation d'une onde ; ondes progressives ; ondes périodiques

I - Les ondes, présentation

1) introduction

Suite à l'observation de la propagation d'une perturbation le long d'une corde (expérience professeur), Nous sommes convaincus que nous n'observons pas un mouvement classique. Le système est dans le même état avant et après le passage de la perturbation. Il n'y a pas eu de transfert de matière.

C'est pour cela que nous employons déjà des termes différents et adaptés à cette nouvelle situation (« propagation », « perturbation ») :

La propagation d'une onde

Nous venons d'observer une **ONDE** (transport d'énergie sans transfert de matière)

PROGRESSIVE (la perturbation se transmet de proche en proche, progresse, d'un point de départ vers un point d'arrivée)

Lorsqu'un milieu matériel est nécessaire à la propagation d'une onde (ondes sismiques, houle, son, déformation d'une corde, d'un ressort...) L'onde est dite **MÉCANIQUE**.

La lumière, décrite précédemment comme une onde (chapitre C), n'est pas une onde mécanique.

2) Grandeurs caractéristiques des ondes

- Le nombre de dimensions spatiales utilisées pour la propagation ;
- la célérité ;
- l'amplitude et la durée de la perturbation ;

3) Précisons à l'aide de quelques exemples...

- Corde :

- Onde à une dimension ;
- L'onde est dite transversale : la direction de la perturbation est perpendiculaire à la direction de propagation.

- Impulsion donnée à un ressort :

- à 1 dimension ;
 - longitudinale : la direction de la perturbation est parallèle à la direction de propagation ;
 - Description : il s'agit d'une compression unique suivie d'une dilatation unique (c'est à dire un aller-retour) qui se transmet d'une spire à l'autre et se propage le long du ressort.
 - La houle (ou un coup de pied dans une flaque) est une onde à la surface d'un liquide : transversale et à 2 dimensions.
- Remarque : si la source à la surface du liquide est ponctuelle : onde circulaire

Ondes à 3 dimensions :

- Son (cri bref) : onde 3 D et longitudinale (propagation d'une compression/dilatation de l'air).
 - Tremblement de Terre, ... ou du plancher de la salle de classe.
- Pour les séismes, les perturbations peuvent être transversales ou longitudinale.

Une onde se propage donc dans toutes les dimensions disponibles...

4) Détail n°1 : Célérité

Lors de la propagation d'une onde on peut distinguer deux types de mouvements qui ne doivent pas être confondus :

- le mouvement d'un point du milieu lorsqu'il est traversé par la perturbation. pendant toute la durée du passage de la perturbation, les points perturbés sont en mouvement, on peut déterminer leurs positions et vitesses instantanées caractéristiques de la perturbation. Nous nous intéresserons à cet aspect du mouvement en considérant essentiellement l'amplitude de l'onde (voir plus loin). Toutefois, on peut aussi considérer la durée de la perturbation d'un point du milieu, avec en particulier un début de perturbation qui peut être vu comme l'arrivée du **front d'onde** sur le point (il faudra retenir ce terme : « front d'onde »). (*schéma*)

- le mouvement de propagation de l'onde pour lequel on détermine plutôt les positions successives, la direction et le sens de la propagation ainsi que la vitesse de déplacement de la perturbation appelée **célérité de l'onde (vitesse célérité de propagation)**.

(*prendre un exemple, faire un schéma*)

Notons bien que la célérité d'une onde est une propriété du milieu.

Exemples de modifications du milieu mécanique influençant la célérité :

- tension de la corde ou du ressort,
- profondeur pour la propagation de la houle,
- propagation du son (Hecht p 498)

Voir TP ultrasons première partie : mesure de la célérité des ondes ultra sonores.

(*en passant par des mesures de retards*)

5) Détail n°2 : notion de retard (*cas d'une onde progressive à une dimension, mais on peut aussi se référer à une onde à 2D ou 3D tout en travaillant sur un seul axe de propagation parmi d'autres... Ainsi, on peut évoquer les 2 récepteurs alignés et positionnés en M et M' dans le TP « ultrasons »*)

- La perturbation se propage à la célérité v constante (milieu homogène).
 - Elle passe par un point M de coordonnée x à la date (l'instant) t .
 - Elle passe ensuite par un point M' de coordonnée x' , situé à la distance $d = x' - x$ de M, à la date t' ($x' > x$ et $t' > t$).
 - L'écart $t' - t$ est noté τ et est appelé retard au passage de la perturbation en M' (par rapport au passage en M).
- $$t = \frac{MM'}{v} = \frac{d}{v}$$
- M' est perturbé à la date t' comme M l'a été à la date t , l'état de M' à la date t' est identique à l'état de M à la date $t' - \tau$ (car $t = t' - \tau$).

8) Conclusions

- Une onde se propage à partir d'une source, dans toutes les directions qui lui sont offertes.
(ex : son, houle, ...) Elle peut être à 1, 2 ou 3 dimensions (*exemples*)
- Une onde consiste en la propagation d'une perturbation qui se transmet de proche en proche, il y a transfert d'énergie sans transfert de matière.
- Deux ondes peuvent se croiser sans se perturber (ex. sur corde, échelle de perroquet, ressort). Toutefois, le temps du croisement, on peut constater que deux perturbations « opposées » s'annulent.
(*schéma*)
- Les ondes réelles peuvent constituer une combinaison, onde transversale / onde longitudinale, mais si l'on sait bien étudier et caractériser une O.T. ou une O.L., on saura aussi en faire de même pour toute combinaison O.L./O.T.
C'est un principe assez général : savoir décrire un objet simple et savoir présenter un objet compliqué comme une combinaison plus ou moins complexe d'objets simples connus.

A ce stade, nous avons réalisé une séance de TP autour des ondes ultrasonores au cours de laquelle nous avons déterminé la valeur de la célérité en exploitant la notion de retard.

III- Ondes progressives mécaniques périodiques

1) Notion d'onde progressive périodique

a) expériences, principe

Considérons à nouveau la corde (milieu AB à une dimension). Nous avons observé la propagation d'une perturbation transversale de courte durée en mettant clairement en évidence le fait que la zone de la corde traversée par la perturbation prenait une forme particulière (pendant une durée correspondant au passage de l'onde).

Nous imposons maintenant une perturbation permanente consistant en un mouvement périodique d'allers-retours de l'extrémité A de la corde. (*Rappel, phénomène périodique : phénomène qui se répète identique à lui-même au cours du temps*)

Il y a alors deux types d'observation possibles :

- soit nous fixons un point M de la corde et l'on constate qu'il est le siège d'oscillations périodiques (les mêmes qu'en A, mais avec du retard). Il y a donc une périodicité temporelle associée au mouvement d'un point du milieu siège de la propagation d'une onde.

- soit nous fixons l'ensemble de la corde et nous voyons les perturbations se propager sous la forme de **profils** successifs, la déformation de la corde causée par le passage d'une perturbation (**l'onde**) s'observe maintenant à intervalles de distance réguliers, on voit passer une succession de profils séparés par une **distance constante : ces profils sont générés à intervalles de temps réguliers (T) et se propagent à vitesse (célérité) constante**. Il y a donc aussi un phénomène qui se répète à l'identique dans l'espace, il y a aussi une périodicité spatiale.

Il y a donc une double périodicité.

b) T et λ

Périodicité temporelle

La plus petite durée entre deux passages par un état identique pour un point du milieu : la période T (s).

On utilise aussi la fréquence f ou $n = \frac{1}{T}$ caractérisant le nombre de perturbations passant par un point par unité de temps. Si T est exprimée en seconde, n est exprimée en hertz (Hz).

T : temps nécessaire pour que l'onde retrouve sa configuration initiale en un point donné ;

T : temps qu'il faut à un profil (une perturbation) pour défiler complètement devant un point donné.

v (ou f) : nombre de profils qui traverse un point donné du milieu en une seconde.

Périodicité spatiale

La distance entre deux perturbations successives en train de se propager, entre deux fronts d'onde successifs, la longueur d'un motif d'onde en train de se propager, la distance parcourue par le front d'onde pendant une période T :

C'est la longueur d'onde λ (m)

Si l'on fige l'onde à un instant donné, la distance spatiale sur laquelle l'onde exécute un cycle complet, c'est à dire la longueur d'un cycle (d'une perturbation), est la longueur d'onde λ (m)

Relation entre λ et T :

Un point du milieu qui subit un cycle de perturbation de durée T est aussi traversé par un motif de l'onde de longueur λ .

L'onde se propage donc sur une longueur λ pendant la durée T .

Nous pouvons donc écrire :

$$\lambda = v \times T = \frac{v}{f}$$

Points en phase, points en opposition de phase

Toujours avec l'exemple de la corde, les points évoqués sont désignés.

Au sein du milieu traversé par l'onde périodique, deux points distants de $n \lambda$ (n entier) sont perturbés en phase (c'est-à-dire qu'ils sont en permanence dans le même état de perturbation).

Au sein du milieu traversé par l'onde périodique, deux points distants de $(2n+1) \frac{\lambda}{2}$ (n entier) sont perturbés en opposition de phase (quand l'un de ces points passe par un minimum de l'état de perturbation, l'autre passe par un maximum, etc.).

b) Remarque à propos des ondes progressives sinusoïdales

Une perturbation périodique simple à analyser mathématiquement est l'onde sinusoïdale : elle augmente et diminue au cours du temps comme une fonction sinusoïdale et se propage en faisant apparaître une périodicité spatiale qui est aussi de forme sinusoïdale.

On se demande un peu quel rapport il peut bien y avoir entre un onde réelle et cet objet mathématique qu'est la fonction sinus, il se trouve que toute onde réelle peut être décrite comme une superposition d'ondes sinusoïdales.

Donc, étudier la propagation d'une sinusoïdale est la base fondamentale de l'étude approfondie de toute onde réelle.

A ce stade, vous réalisez la deuxième partie de la séance de TP autour des ondes ultrasonores :

- **Leur caractère périodique est mis en évidence.**
- **La période est déterminée**
- **La longueur d'onde peut-être déterminée**
- **Nous pouvons en déduire à nouveau une valeur de la célérité.**

IV - Application

Utilisation d'un écho ultra-sonore pour déterminer une distance, la forme d'un objet, etc. (*principe de l'échographie*)

Voir TP ultrasons