1 Notion d'onde progressive périodique

1. Phénomène périodique

- Un phénomène convenablement entretenu est périodique (ex : lame vibrante).

- Un phénomène vibratoire est périodique lorsqu'il se reproduit identique à lui-même au bout d'un intervalle de temps *T*, appelé **période**. *T* s'exprime en secondes (s).

- La **fréquence** ν d'un phénomène périodique est égale au nombre de périodes par seconde :

$$\boxed{\nu = \frac{1}{T}}, \text{ où } \nu \text{ est exprimé en hertz (Hz).}$$

2. Onde progressive périodique

- Une onde progressive est périodique si, à un instant quelconque, une photographie du milieu montre l'existence d'une périodicité spatiale de l'onde progressive.

- La période correspondante s'appelle **longueur d'onde** ; elle est notée λ. Exemple : onde progressive dans un milieu à une dimension de direction de propagation [S*x*).

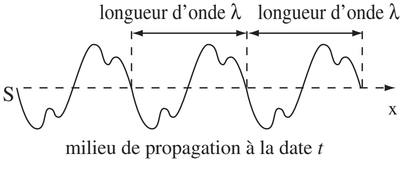

Fig. 2-1

3. Cas d'une onde progressive sinusoïdale

Une source vibratoire sinusoïdale (harmonique) génère une onde progressive sinusoïdale.

• Vibration en phase

Les points distants d'un nombre entier de longueurs d'onde sont dits **en phase** : $\boxed{d = k.\lambda}$, avec *k* entier (ex : M_1 et M_2...).

• Vibration en opposition de phase

Les points distants d'un nombre impair de demi-longueurs d'onde sont dits en **opposition de phase** :

$\boxed{d=(2k+1)\dfrac{\lambda}{2}}$, avec k entier (ex : M_1 et M_3).

La figure 2-2 représente des photographies, à différentes dates, d'une corde parcourue par une onde progressive sinusoïdale. La source vibratoire (S) vibre avec une période T.

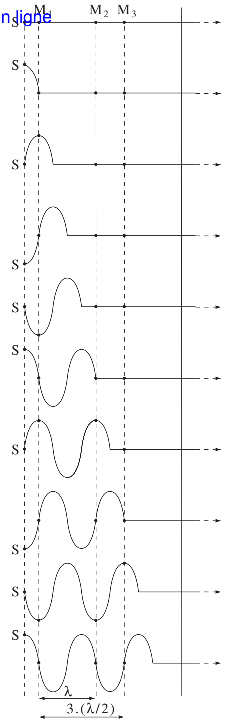

Fig. 2-2

Exemple d'application

On crée une onde circulaire sur une cuve à onde. La distance entre deux crêtes est $\lambda = 7{,}0$ cm. Soit deux points P_1 et P_2 de la surface situés respectivement à des distances x_1 et x_2 de la source. Comparer les mouvements de A et B :

1. si $x_2 - x_1 = 21{,}0$ cm ; **2.** si $x_2 - x_1 = 17{,}5$ cm.

Corrigé commenté

Indication *: regardez si $x_2 - x_1$ est divisible par λ ou par $\lambda/2$.*

1. Dans le premier cas, la distance séparant A et B est un nombre entier de longueurs d'onde : $d = x_2 - x_1 = k.\lambda$, avec $k = 3$ (car $3.\lambda = 21{,}0$ cm). Donc A et B vibrent **en phase**.

2. Dans le deuxième cas, la distance séparant A et B est un nombre impair de demi-longueurs d'onde : $d = x_2 - x_1 = (2k+1)\dfrac{\lambda}{2}$, avec $k = 2$ (car $2{,}5.\ \lambda = 17{,}5$ cm). Donc A et B vibrent en **opposition de phase**.

2 Double périodicité d'un phénomène ondulatoire ; équation aux dimensions

1. Périodicité temporelle *T*

● Tous les points du milieu de propagation reproduisent le mouvement de la source ; ils vibrent avec la même période T et la même fréquence ν que la source. T est appelé « **période temporelle** » de l'onde progressive.

2. Périodicité spatiale λ

● La longueur d'onde λ représente la **période spatiale** de l'onde : c'est la distance parcourue par l'onde pendant une période T (période du phénomène vibratoire entretenu).

● L'expression de la longueur d'onde est : $\boxed{\lambda = V.T = \frac{V}{\nu}}$,

avec λ : longueur d'onde en mètres (m), V : vitesse de propagation en mètres par seconde ($m.s^{-1}$), T : période en secondes (s) et ν : fréquence en hertz (Hz).

3. Double périodicité λ et *T*

● La période temporelle T est aussi bien la durée qu'il faut à l'onde pour avancer d'une longueur d'onde λ (période spatiale) que la durée nécessaire pour qu'un point se retrouve dans le même état de vibration.

● La période spatiale λ est aussi bien la distance parcourue en T secondes (période temporelle) que la distance séparant deux points consécutifs vibrant en phase. En pratique, pour mesurer la fréquence d'une onde sur cuve à onde par exemple, on utilise un stroboscope. La fréquence de l'onde est la plus petite fréquence stroboscopique pour laquelle il y a immobilité apparente.

4. Équation aux dimensions

● La notion de dimension est rattachée à celle d'un type de grandeurs physiques ; elle est indépendante du système d'unités choisi.

● Quatre dimensions indépendantes fondamentales permettent de décrire une grande partie de la physique :
– les **longueurs** symbolisées par la lettre **L**,
– les **masses** symbolisées par la lettre **M**,
– les **temps** symbolisés par la lettre **T**,
– les **intensités** des courants symbolisées par la lettre **I**.

- En physique, l'utilisation du signe « = » signifie non seulement que les expressions de part et d'autre du signe ont la même valeur, mais aussi qu'elles sont de même nature, c'est-à-dire qu'elles ont la même dimension.

- Par convention, la dimension d'une grandeur physique A (autre qu'une longueur, une masse, un temps ou une intensité) est notée [A].

- La dimension d'un produit (ou d'un quotient) est le produit (ou le quotient) des dimensions. Les fonctions exponentielles, logarithmiques et trigonométriques n'ont pas de dimension.

5. Dimension de la longueur d'onde

D'après la définition de la longueur d'onde : $[\lambda]=[V.T]=[V].[T]=\frac{L}{T}.T$, soit $[\lambda]=L$.

$$\boxed{\text{La longueur d'onde a bien la dimension d'une longueur.}}$$

Exemple d'application

Un robinet goutte de façon régulière à la surface d'une eau calme à raison de 120 gouttes par minute, en créant une onde progressive sinusoïdale. La distance entre deux crêtes est 8 cm.

1. Que vaut la vitesse V de propagation de l'onde ?

2. Sachant que 1 Hertz correspond à 1 s^{-1}, retrouver, par une analyse dimensionnelle de la formule $\lambda = \frac{V}{\nu}$, la dimension de λ.

Corrigé commenté

***Indication** : déterminez d'abord les périodes spatiale et temporelle de l'onde.*

***Rappel** : la période temporelle T est l'inverse de la fréquence* ν.

1. Il tombe 120 gouttes par minute, c'est-à-dire 120/60 = 2 gouttes par seconde. La fréquence de la chute des gouttes, et par conséquent celle de l'onde, est donc ν = 2 Hz. De plus, $T=\frac{1}{\nu}=\frac{1}{2}$ = 0,5 s ; donc la période temporelle est T = 0,5 s.

Lors de la propagation de l'onde, une crête de vague prend la place de celle qui la précède en T secondes. Par définition, la période spatiale est la distance entre deux crêtes ; la période spatiale est ici λ = 8 cm = 0,08 m.

Comme l'onde parcourt λ mètres en T secondes, sa vitesse est :

$$\boxed{V=\frac{\lambda}{T}}, \text{ soit } \boldsymbol{V}=\frac{0,08}{0,05}=\mathbf{0,16\,m.s^{-1}}.$$

2. Par analyse dimensionnelle, on a : $[\lambda]=\left[\frac{V}{\nu}\right]=\frac{\frac{L}{T}}{\frac{1}{T}}=\frac{L}{T}.\frac{T}{1}=L$.
λ est bien une longueur.

3 Phénomènes de diffraction et de dispersion

1. Diffraction des ondes progressives sinusoïdales

● Lorsqu'on interpose un diaphragme de petite dimension dans le faisceau d'une onde progressive, le faisceau s'élargit : c'est le **phénomène de diffraction** (figure 2-3).

De manière générale, il y a diffraction chaque fois qu'une onde rencontre un obstacle (figure 2-4).

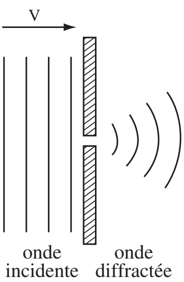

Fig. 2-3

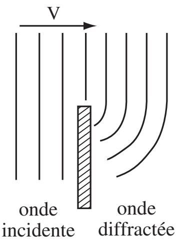

Fig. 2-4

● Conséquences : les ondes peuvent contourner des obstacles.

2. Influence de la dimension de l'ouverture sur le phénomène observé

Lorsqu'une onde progressive sinusoïdale, de longueur d'onde λ, passe au travers d'une ouverture de dimension d :

● si $d \approx \lambda$ ou $d < \lambda$ (figure 2-4), l'onde est diffractée et elle prend la forme d'une onde sphérique (ou circulaire) centrée sur l'ouverture ;

● si $d \geq \lambda$ (figure 2-5), l'onde passe sans être perturbée. Elle est seulement diaphragmée (sauf près des bords où l'on retrouve une diffraction mais très négligeable en général).

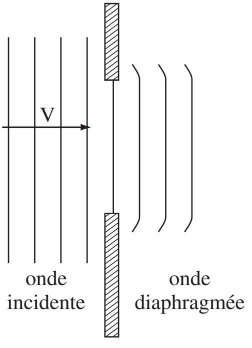

Fig. 2-5

Le passage par une ouverture, quelle que soit sa dimension d, ne modifie ni la longueur d'onde ni la fréquence de l'onde progressive.

3. Phénomène de dispersion des ondes mécaniques

Un milieu est dit **dispersif** pour une onde progressive sinusoïdale si la célérité de l'onde dépend de sa fréquence.

- Certains milieux sont très dispersifs : c'est le cas de la surface de l'eau.
- Certains milieux sont très peu dispersifs : c'est le cas d'un gaz.

Exemple d'application

On fait passer une onde sonore de fréquence $\nu = 1$ kHz dans une ouverture circulaire de diamètre d pratiquée dans une paroi de laine de roche (isolant acoustique). L'onde sonore est émise par une source ponctuelle assez éloignée. Dans les conditions de l'expérience, la vitesse du son dans l'air est $v = 340$ m.s^{-1}.

1. Quelle est la géométrie de l'onde émise ?

2. Du fait que la source ponctuelle est assez éloignée, quelle géométrie peut-on attribuer à l'onde incidente au niveau de l'obstacle ?

3. a) Quelle sera la géométrie de cette onde sonore après l'obstacle si $d = 10$ cm ?

b) Quelle sera la géométrie de cette onde sonore après l'obstacle si $d = 1$ m ?

Corrigé commenté

1. ***Indication :*** *en 3 dimensions, une onde est en général soit sphérique soit plane. Le choix est donc assez restreint.*

Comme la source est ponctuelle, l'onde est **sphérique**.

2. Du fait que la source ponctuelle est assez éloignée, on peut considérer l'onde comme **plane** lorsqu'elle arrive sur la paroi de laine de roche. En effet, on peut assimiler une petite portion de sphère à une portion de plan si la sphère est grande devant la portion considérée, c'est-à-dire si sa surface (ici l'obstacle) est éloignée de son centre (la source sonore).

3. ***Indication :*** *Comparez la dimension du diaphragme à la longueur d'onde du son. En fonction du résultat, l'onde est soit diffractée, soit simplement diaphragmée.*

Connaissant la vitesse v de l'onde et sa fréquence ν, on en déduit sa longueur d'onde λ : $\boxed{\lambda = \frac{v}{\nu}}$.   A.N. : $\lambda = \frac{340}{1000} = 0{,}34$ m = **34 cm**

a) Si $d = 10$ cm, $d < \lambda$: l'onde est diffractée, elle est donc **sphérique**.

b) Si $d = 100$ cm, $d > \lambda$: l'onde est diaphragmée, elle est donc **plane**.