1 Signaux mécaniques et ondes mécaniques progressives

1. Signaux mécaniques

● Un signal mécanique, c'est-à-dire une perturbation de courte durée, se propage dans un milieu matériel élastique en provoquant des déformations (ébranlements) du milieu à son passage.

● On distingue :

– les signaux transversaux : ce sont des déformations orthogonales à la direction de propagation (déformation d'une corde, vague à la surface de l'eau…) ;

– les signaux longitudinaux : ce sont des déformations parallèles à la direction de propagation (compression-élongation d'un ressort…).

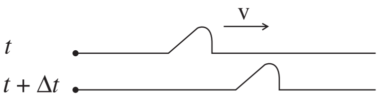

Fig. 1-1

Fig. 1-2

2. Phénomènes vibratoires

● Un mouvement vibratoire est un mouvement qui s'effectue de part et d'autre d'une position moyenne (position d'équilibre par exemple).
Le mouvement effectué lors d'un aller-retour est une oscillation.

3. Ondes mécaniques progressives

On définit une onde mécanique comme étant le phénomène découlant de la propagation dans un milieu matériel d'une succession de signaux émis par un système vibratoire appelé source ou émetteur. Ces ondes sont dites progressives si, dans un milieu illimité, elles s'éloignent indéfiniment de la source.

● Comme pour les signaux mécaniques, il existe des ondes mécaniques longitudinales et des ondes mécaniques transversales.

● Dans les milieux homogènes, on définit la vitesse de propagation de l'onde ou **célérité** (notée V) comme étant la vitesse de déplacement de la déformation.

4. Ondes sonores

● Les ondes sonores sont des ondes mécaniques longitudinales de compression-dilatation qui se propagent dans toutes les directions. Ces ondes ne se propagent pas dans le vide. Leur propagation nécessite un milieu matériel élastique.

Exemple d'application

On jette une pierre à la surface de l'eau calme d'un lac. Celle-ci entre dans l'eau en un point O situé à quelques mètres de la rive.

1. Comment s'appelle le phénomène physique engendré par la chute de la pierre dans l'eau ?

2. Préciser en le justifiant si le phénomène de propagation est transversal ou longitudinal.

3. Dans cette expérience, quel est le rôle joué par l'eau ?

4. Supposons à présent qu'on laisse tomber en O une succession de pierres à intervalles de temps réguliers. Comment peut-on alors nommer le phénomène de propagation engendré ?

Corrigé commenté

1. ***Indication** : l'expérience revient à perturber un milieu matériel élastique.*

En entrant dans l'eau, la pierre provoque une perturbation de courte durée de la surface. L'eau étant un milieu matériel élastique, la perturbation va se propager. Il s'agit donc d'un **signal mécanique**.

2. La déformation de la surface se fait orthogonalement à la direction de propagation qui, elle, est dans un plan horizontal. Donc ce signal mécanique est **transversal**.

3. Ici, l'eau est le milieu dans lequel le signal peut se propager : il s'agit donc d'un **milieu matériel élastique**.

4. ***Indication** : le dispositif de perturbation est maintenant entretenu.*

Le point O et chaque pierre lorsqu'elle touche l'eau constituent un système vibratoire. Le phénomène engendré est donc une **onde mécanique progressive**.

2 Propriétés générales des ondes mécaniques

1. Onde et célérité

Contrairement au déplacement d'un objet mobile, la propagation d'une onde s'effectue **sans transport de matière**. Une onde se propage cependant dans un milieu en transportant de l'information et de l'énergie.

● À cause des frottements existants lors du passage de la perturbation dans le milieu matériel, une partie de l'énergie transportée se transforme en chaleur. On dit qu'il y a **amortissement** du signal : son amplitude diminue.

● La propagation de signaux peut se produire dans des milieux :
– à une dimension (corde, ressort, échelle de perroquet, …),
– à deux dimensions (surface de l'eau – voir figure 1-3, …),
– à trois dimensions (son dans l'air, …).

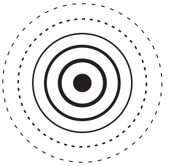

Fig. 1-3

● Dans les milieux à deux ou trois dimensions, l'énergie se répartit sur des cercles ou des sphères de plus en plus grands : il se produit une **atténuation** du signal, « il se dilue ». Il ne faut pas confondre amortissement et atténuation.

Dans la plupart des cas, la célérité ne dépend pas de la forme et de l'amplitude de l'onde. C'est une propriété du milieu et de son état physique : elle dépend de la nature du milieu, elle augmente avec son élasticité et diminue avec son inertie.

● Le milieu étant considéré homogène (constitué d'éléments de même nature), isotrope (qui a les mêmes propriétés dans toutes les directions) et infini, la célérité des ondes progressive est constante.

Remarque : les ondes électromagnétiques (en particulier la lumière) se propage dans le vide à la vitesse :

$$\boxed{c \approx 3{,}00.10^{8}\ \text{m.s}^{-1}.}$$

2. Croisement de deux signaux

● Si deux signaux de même nature se propagent l'un vers l'autre, alors ils se superposent momentanément lorsqu'ils se croisent. La déformation résultante est égale à la somme algébrique des déformations que provoquerait chacun des signaux s'il intervenait seul au point considéré (voir figure 1-4).

Fig. 1-4

● Après s'être croisés, les signaux s'éloignent sans avoir été modifiés par leur rencontre.

Exemple d'application

On reprend la situation de l'application 1. À mi-chemin entre O et la rive, flotte un bouchon B de pêcheur initialement au repos (OB = 10 m).

1. Expliquer pourquoi le bouchon n'est pas entraîné vers la rive au moment où la perturbation passe à son niveau.

2. En ne tenant pas compte de l'amortissement, calculer le coefficient α par lequel il faut diviser l'énergie E_1 transportée par l'onde sur L = 1 cm de large lorsqu'elle est située en A à 1 m de O pour trouver l'énergie E_2 transportée par l'onde sur L = 1 cm de large lorsqu'elle arrive en B.

Corrigé commenté

1. Le passage de la perturbation se traduit par des mouvements ascendants et descendants de l'eau. Le bouchon étant solidaire de l'eau qui l'entoure, il n'a lui aussi qu'un mouvement ascendant et descendant. Le bouchon n'avance donc pas vers la rive.

2. ***Indication :*** *le fait que l'on considère l'onde sur 1 cm de large ou sur toute autre longueur n'a pas d'importance en soi. C'est ici l'énergie par unité de longueur, l'énergie linéique, qui intervient dans le calcul : L se simplifie.*

Si on néglige l'amortissement, la totalité de l'énergie E répartie sur le cercle C_1 de périmètre $P_1=2\pi(OA)$ se retrouve répartie sur le cercle C_2 de périmètre $P_2=2\pi(OB)$.

L'énergie transportée par L = 1 cm de largeur sur C_1 est : $E_1=\dfrac{L}{P_1}E$.

L'énergie transportée par L = 1 cm de largeur sur C_2 est : $E_2=\dfrac{L}{P_2}E$.

Le coefficient cherché est : $\alpha=\dfrac{E_1}{E_2}=\dfrac{\dfrac{L}{P_1}E}{\dfrac{L}{P_2}E}=\dfrac{P_2}{P_1}=\dfrac{2\pi(OB)}{2\pi(OA)}=\mathbf{10}$.

3 Ondes progressives à une dimension

1. Notion d'onde progressive à une dimension

● Si, à l'extrémité S d'une longue corde légèrement tendue, nous produisons une succession d'ébranlements cadencés, nous observons la propagation d'une onde mécanique unidirectionnelle (voir fig. 1-5). La corde constitue un milieu mono-dimensionnel (non dispersif).

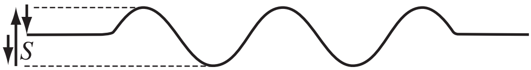

Fig. 1-5

2. Notion de retard

● Tout point du milieu de propagation (non dispersif) situé à la distance d de la source reproduit le mouvement de la source avec le **retard** τ tel que :

$\boxed{\tau = \frac{d}{V}}$ avec τ en seconde, d en mètre et V en m.s^{-1}.

● La perturbation, en un point M du milieu, à l'instant t, est celle qu'avait la source S au temps t_0, tel que :

$$t_0 = t - \tau$$

Exemples d'application

1 Reprenons encore une fois la situation de l'application 1. On jette une pierre à la surface de l'eau calme d'un lac. Celle-ci entre dans l'eau en un point O situé à 20 m de la rive. À mi-chemin entre O et la rive, flotte un bouchon de pêcheur initialement au repos.

1. Un observateur regarde sa montre au moment où les vagues atteignent le bouchon. Il voit alors indiqué : t_1 = 15 h 00. Sachant que la perturbation se propage à V = 0,5 m.s^{-1}, quelle heure t_0 était-il quand la pierre a touché l'eau ?

2. Avec quel retard τ (par rapport au bouchon) la perturbation atteindra-t-elle la rive ?

Corrigé commenté

1. ***Conseil :*** *faites un schéma en coupe de la rive à t_0 et t_1.*
La durée qui sépare ces deux schémas est (t_1–t_0).
Pendant cette durée, la perturbation s'est propagée de d mètres à la célérité V.

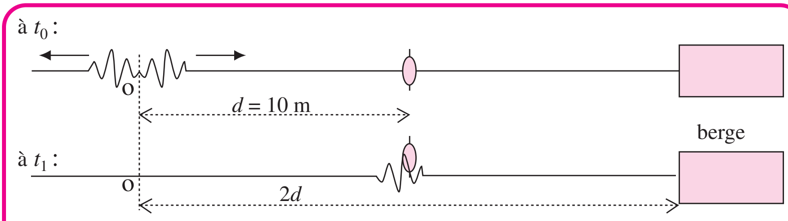

Fig. 1-6

Comme, par définition, $V = \dfrac{d}{t_1 - t_0}$, on a : $t_1 - t_0 = \dfrac{d}{V}$; soit : $\boxed{t_0 = t_1 - \dfrac{d}{V}}$.

A.N. : t_0 = 14 h 59 min 40 s.

2. Comme le bouchon est à mi-chemin entre O et la berge, la perturbation mettra autant de temps à aller de O au bouchon que du bouchon à la berge.
Donc : $\tau = t_2 - t_1 = t_1 - t_0 = \dfrac{d}{V}$, soit **$\tau$ = 20 s**. La perturbation atteint la rive 20 s après être passée au niveau du bouchon.

2 On observe la propagation d'une zone de compression-dilatation le long d'un ressort de longueur 1 mètre. Pour pouvoir étudier ce phénomène, on prend deux photos du ressort à 200 ms d'intervalle (voir fig. 1-7) :

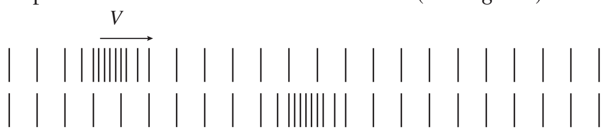

Fig. 1-7

À l'aide des photos, déterminer la célérité de l'onde.

Corrigé commenté

***Conseil :** choisissez une spire du ressort à t_0 dont la position est notée* A *sur le schéma. Il faut ensuite trouver la spire correspondant au même état de variation mais à l'instant t_1 : on note* B *sa position (voir fig. 1-8).*

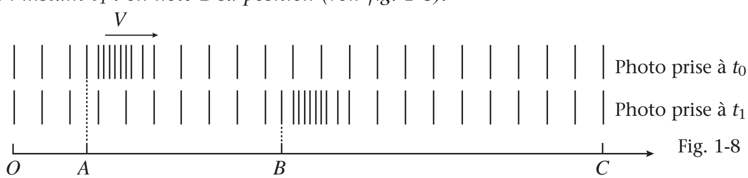

Fig. 1-8

Pendant la durée $(t_1–t_0)$, l'onde s'est propagée d'une longueur réelle $k.AB$, où k est le rapport de la longueur réelle du ressort divisée par sa longueur sur le schéma.

Par définition, la célérité est : $v = \dfrac{k.AB}{t_1 - t_0}$, soit : $v = \dfrac{\frac{1}{OC}.AB}{t_1 - t_0}$.

A.N. : v = 1,65 m.s^{-1}