Les ondes mécaniques progressives

Diaporama

R. HATTERER

Lycée Méditerranée – La Ciotat

12 juillet 2020

Les ondes nous sont familières. (vidéo YouTube)

- Par exemple, les ondes circulaires qui apparaissent à la surface d'une flaque d'eau quand il pleut.
- Le son et la lumière sont d'autres exemples d'ondes que l'on rencontre encore plus fréquemment.

Par chance, en étudiant les ondes à la surface de l'eau, nous pouvons en apprendre beaucoup sur les ondes sonores, les ondes lumineuses, en fait sur toutes les autres ondes, car les ondes possèdent des caractéristiques communes.

Voici une petite expérience que vous pouvez faire chez vous.

Protocole :

- Mettre un peu d'eau dans une assiette
- Y faire tomber une goutte d'eau d'une petite cuillère
- Filmer en "Slowmotion" avec son Smartphone

FIGURE – Propagation d'une perturbation

Comment peut-on interpréter la situation ?

Comment peut-on interpréter la situation ?

La goutte d'eau qui tombe possède de l'énergie cinétique qui augmente durant sa chute tandis que son énergie potentielle diminue.
Cette énergie est communiquée à l'eau dans l'assiette.
On voit des ondes se propager qui sont la manifestation d'une propagation d'énergie.

Comment peut-on déterminer la vitesse des ondes ?

Comment peut-on déterminer la vitesse des ondes ?

On peut choisir deux point sur le trajet de l'onde.
En mesurant la distance entre les deux points et la durée de propagation de l'onde entre ces deux points on peut déterminer la vitesse de propagation de l'onde.

FIGURE – La perturbation atteint le premier point

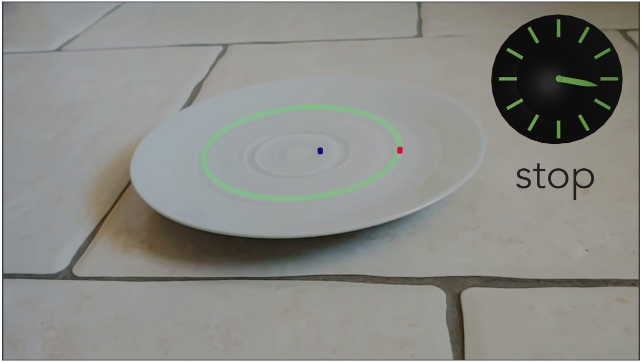


FIGURE – La perturbation s'est propagée jusqu'au second point

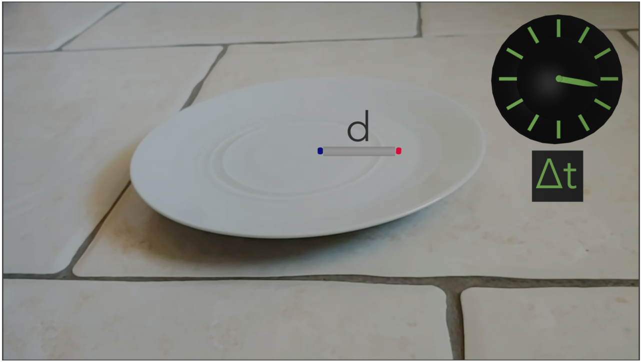


FIGURE – Grandeurs à mesurer pour calculer la célérité de l'onde

Définition

Une onde mécanique progressive correspond à la propagation d'une perturbation dans un milieu matériel* sans transport de matière** mais avec un **transport d'énergie**.

- (*) En l'absence de matière, c'est à dire dans le vide, une perturbation **mécanique** ne se propage pas.
- (**) Après le passage de la perturbation, les constituants du milieu retrouvent leur position initiale.

La perturbation se propage de proche en proche dans le milieu de propagation. Si l'on repère deux points de ce milieu atteints successivement par une onde progressive, il arrivera au deuxième point ce qui est arrivé au premier, mais avec un retard qu'il est parfois intéressant de mesurer.

Définition

Le **retard** est la durée Δt que met une perturbation pour se propager d'un point (repéré) à un autre point (lui aussi repéré).

Le retard est parfois noté τ. Pendant cette durée l'onde à parcouru la distance d séparant les deux points.

Définition

La **célérité** d'une onde est sa vitesse de propagation.

$$\boxed{v = \frac{d}{\Delta t}}$$

où : v est en $\mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-1}$; d est en m et Δt est en s.

Propriété

La célérité d'une onde dépend des caractéristiques du milieu.

Définition

La **célérité** d'une onde est sa vitesse de propagation.

$$\boxed{v = \frac{d}{\Delta t}}$$

où : v est en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$; d est en m et Δt est en s.

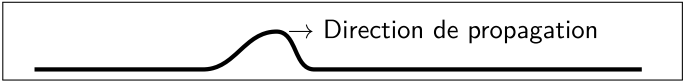
Propriété

La célérité d'une onde dépend des caractéristiques du milieu.
Exemple, pour le son :

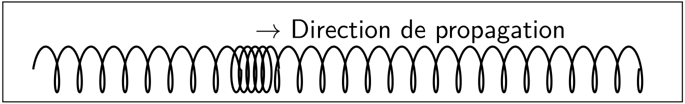
milieu	air	eau
célérité ($\mathrm{m \cdot s^{-1}}$)	340	1500

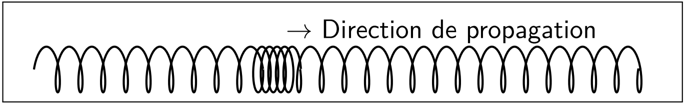
La vitesse de propagation de l'onde est appelée **célérité**, notamment pour ne pas confonde avec la vitesse des points du milieu de propagation. Une onde ne transporte pas de matière ; elle transporte de l'énergie. Les points du milieu ont uniquement un déplacement local. On distingue les ondes longitudinales et les ondes transversales.

- Une onde est **transversale** lorsque la direction de la perturbation est perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde.



- Une onde est **longitudinale** lorsque la direction de la perturbation s'effectue dans la même direction que la propagation de l'onde.





Comment représenter une onde ?

On va chercher à décrire l'élongation d'un ou de plusieurs points du milieu traversé par l'onde.

Définition

On appelle **élongation** le déplacement d'un point M par rapport à sa position de repos lors du passage d'une perturbation.

Comment représenter une onde ?

On va chercher à décrire l'élongation d'un ou de plusieurs points du milieu traversé par l'onde.

Définition

On appelle **élongation** le déplacement d'un point M par rapport à sa position de repos lors du passage d'une perturbation.

- La **représentation spatiale** est, à un instant donné, la représentation de l'élongation d'un grand nombre de points contigus du milieu en fonction de la distance à la source de l'onde.
- La **représentation temporelle** est la représentation de l'élongation d'un seul point, en fonction du temps.

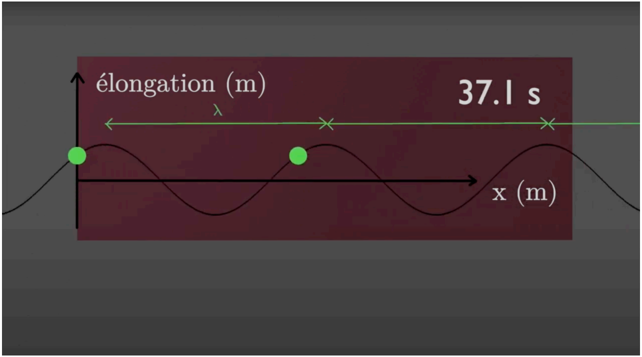


FIGURE – Représentation spatiale à l'instant $t = 37.1$s

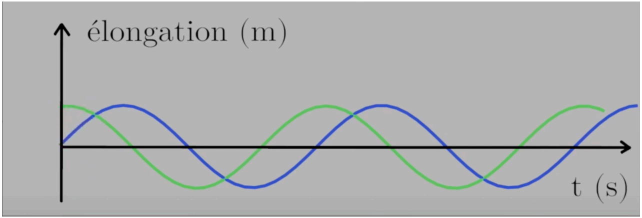


Figure – Représentation temporelle à la position $x = 0\text{m}$

Cas particulier des ondes périodiques

Pour obtenir une onde progressive **périodique**, une source doit émettre des perturbations à **intervalles de temps réguliers**. Le phénomène d'émission présente donc une **périodicité temporelle**. La période temporelle, appelée période T, s'exprime en secondes.

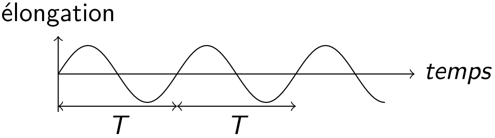


FIGURE – Représentation temporelle d'une onde périodique sinusoïdale à la position $x = 0$m

On appelle **fréquence** le nombre de perturbations que la source émet par seconde.
On a la relation suivante :

$$\boxed{f = \frac{1}{T}}$$

où la fréquence f est en Hz et la période T est en s.

Comment peut-on expliquer que l'élongation de tout point du milieu est périodique dans le temps avec la même période T que celle de la source ?

Comment peut-on expliquer que l'élongation de tout point du milieu est périodique dans le temps avec la même période T que celle de la source ?
L'élongation de la source étant périodique au cours du temps et l'onde étant progressive, tout point du milieu reproduit le mouvement de la source avec un certain retard.

Définition

La période temporelle T, appelée période, d'une onde mécanique périodique correspond à la plus petite durée au bout de laquelle chaque point du milieu se retrouve dans le même état vibratoire. Elle s'exprime en secondes.

Elle est imposée par la source.

Définition

La période temporelle T, appelée période, d'une onde mécanique périodique correspond à la plus petite durée au bout de laquelle chaque point du milieu se retrouve dans le même état vibratoire. Elle s'exprime en secondes.

Elle est imposée par la source.

Définition

La période spatiale λ d'une onde mécanique périodique est mesurée suivant la direction de propagation de l'onde. Elle correspond à la plus petite distance qui sépare deux points du milieu présentant à chaque instant le même état vibratoire. Elle s'exprime en mètre.

Elle dépend du milieu de propagation et de la fréquence.

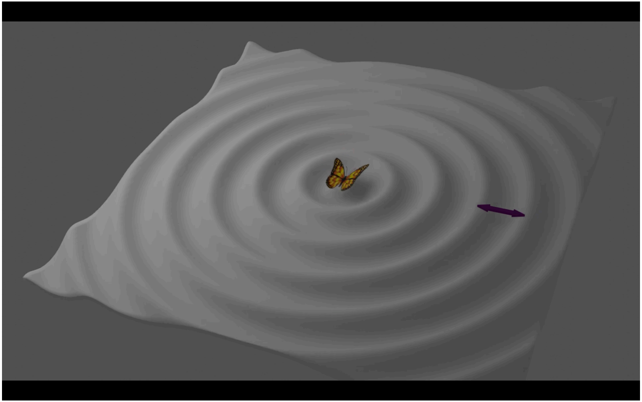


FIGURE – La longueur d'onde λ

L'onde progressive se déplace avec une célérité v. Durant chaque période T, la source génère une perturbation supplémentaire. Pendant cette même durée T, cette perturbation progresse d'une distance λ dans sa direction de propagation.

Définition

La célérité v de l'**onde périodique** est donc donnée par :

$$\boxed{v = \frac{\lambda}{T}}$$

où : v est en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$; λ est en m et T est en s.
Ou bien encore :

$$\boxed{v = \lambda \times f}$$

où : v est en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$; λ est en m et f est en Hz.

Exercices (chapitre 15 du hachette 1re SPE)

- auto-correction : QCM p 291 ; ex 1, 2, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17
- ex : 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18

Simplification

Nous allons voir comment décrire mathématiquement les ondes progressives sinusoïdales à une dimension.

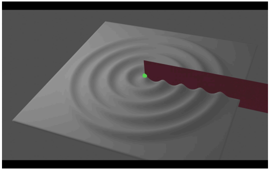


FIGURE – Simplification de l'étude

Remarques :

- Une onde qui se propage à la surface de l'eau est une onde à deux dimensions, mais si on l'étudie suivant une seule direction de propagation on est ramené au cas d'une onde à une dimension.
- Il est en de même pour les ondes à trois dimensions comme les ondes sonores.

Outil mathématique

L'écriture mathématique des ondes sinusoïdales se fait à l'aide d'une des deux fonctions suivantes qui ont toutes les deux une période de 2π :

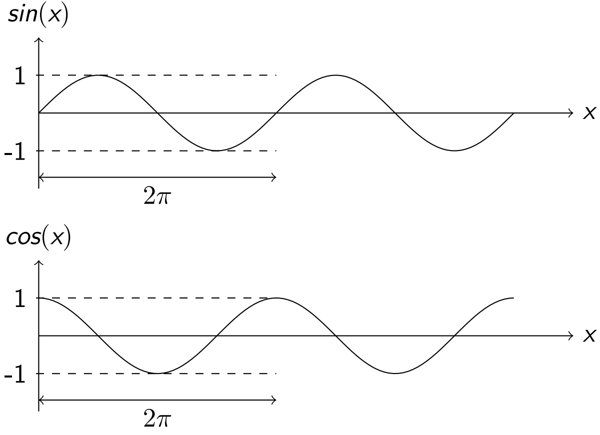


FIGURE – Les fonctions sinus et cosinus

Opérations de base sur les fonctions

Il y a quatre opérations de base à comprendre :

Opérations de base sur les fonctions

Il y a quatre opérations de base à comprendre :

- Ajouter une constante (positive ou négative) à la **fonction**

Opérations de base sur les fonctions

Il y a quatre opérations de base à comprendre :

- Ajouter une constante (positive ou négative) à la **fonction**
- Ajouter une constante (positive ou négative) à la **variable** x

Opérations de base sur les fonctions

Il y a quatre opérations de base à comprendre :

- Ajouter une constante (positive ou négative) à la **fonction**
- Ajouter une constante (positive ou négative) à la **variable** x
- Multiplier la **fonction** par une constante (positive)

Opérations de base sur les fonctions

Il y a quatre opérations de base à comprendre :

- Ajouter une constante (positive ou négative) à la **fonction**
- Ajouter une constante (positive ou négative) à la **variable** x
- Multiplier la **fonction** par une constante (positive)
- Multiplier la **variable** x par une constante (positive)

Ajouter une constante à la **fonction**

Par exemple, ajoutons « 2 » et regardons l'allure des courbes que l'on obtient :

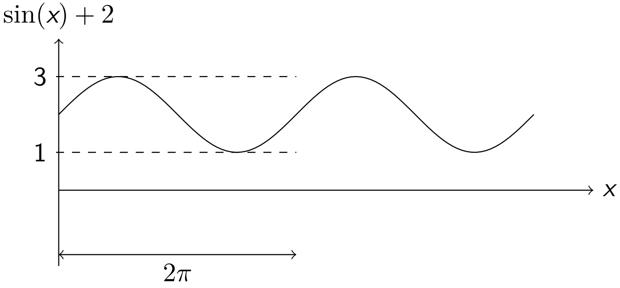


FIGURE – La fonction $\sin(x) + 2$

Ajouter une constante à la fonction

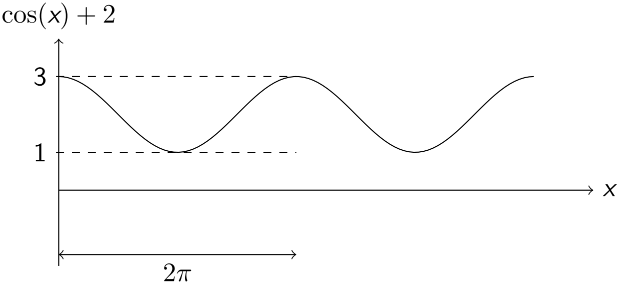


FIGURE – La fonction $\cos(x) + 2$

Ajouter une constante à la fonction

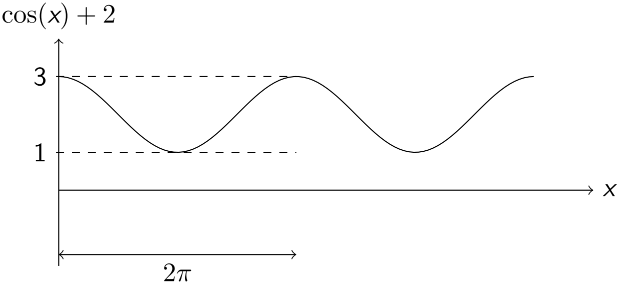


FIGURE – La fonction $\cos(x) + 2$

- Ajouter une constante (positive ou négative) à la fonction provoque un décalage vertical.

Ajouter une constante à la variable x

Par exemple, ajoutons « 2 » à la variable x et regardons l'allure de la courbe que l'on obtient :

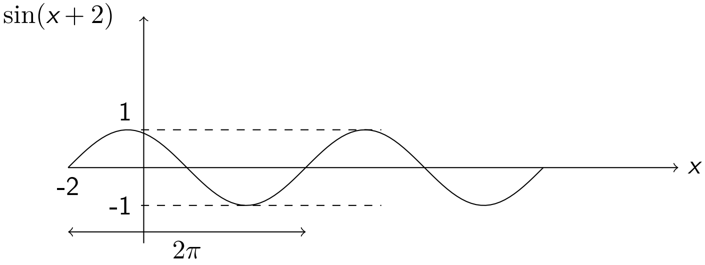


FIGURE – La fonction $\sin(x+2)$

Ajouter une constante à la variable x

Par exemple, ajoutons « 2 » à la variable x et regardons l'allure de la courbe que l'on obtient :

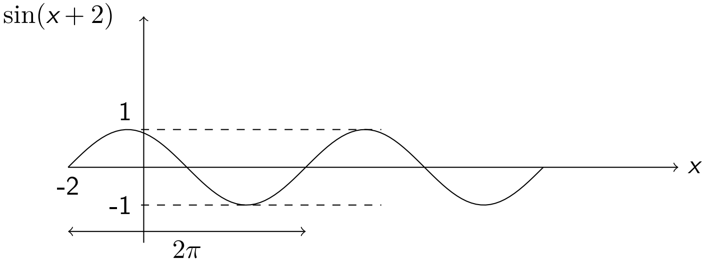


FIGURE – La fonction $\sin(x+2)$

- Ajouter une constante (positive ou négative) à la variable provoque un décalage horizontal.

Multiplier la fonction par une constante positive

Par exemple, multiplions la fonction par « 2 » et regardons l'allure de la courbe que l'on obtient :

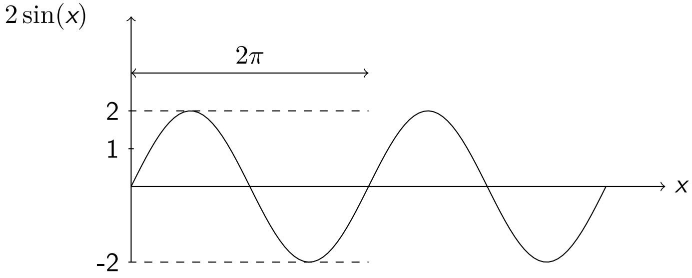


FIGURE – La fonction $2\sin(x)$

Multiplier la fonction par une constante positive

Par exemple, multiplions la fonction par « 2 » et regardons l'allure de la courbe que l'on obtient :

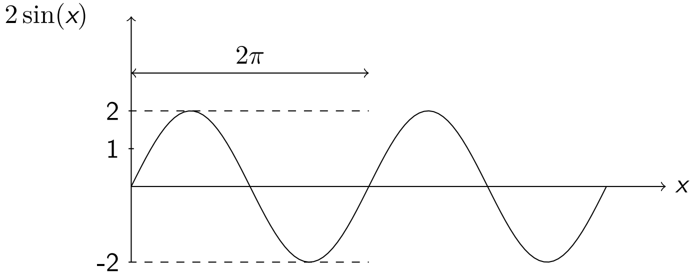


FIGURE – La fonction $2\sin(x)$

- Multiplier la fonction par une constante positive change la hauteur de la courbe.

Multiplier la variable par une constante positive

Par exemple, multiplions la variable x par « 2 » et regardons l'allure de la courbe que l'on obtient :

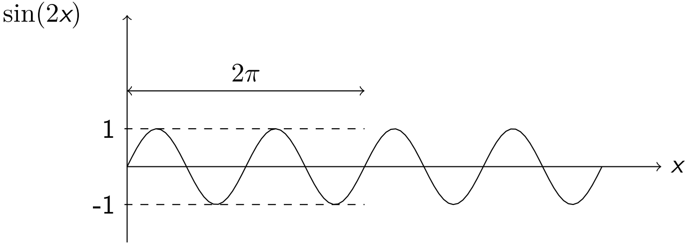


FIGURE – La fonction $\sin(2x)$

Multiplier la variable par une constante positive

Par exemple, multiplions la variable x par « 2 » et regardons l'allure de la courbe que l'on obtient :

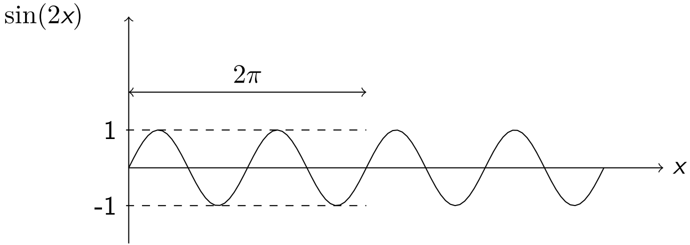


FIGURE – La fonction $\sin(2x)$

- La période a été divisée par 2.
- La fréquence a été multipliée par 2.
- Multiplier la variable par une constante positive change la période (dilatation ou contraction horizontale de la courbe).

On peut utiliser la fonction sinus ou bien la fonction cosinus. À $t = 0\,\mathrm{s}$, la première part de zéro tandis que l'autre part du maximum.

Pour la représentation temporelle

L'expression mathématique de l'élongation est de la forme :

$$\boxed{y(t) = A \sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi\right)}$$

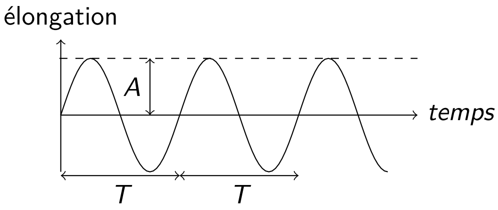


FIGURE – Représentation temporelle d'une onde périodique sinusoïdale

où : A est l'amplitude, T est la période (en secondes), φ (en radians) est la phase à l'origine qui permet de décaler horizontalement la courbe.

Autre expression de l'élongation dans laquelle le retard τ apparaît expressément :

$$\boxed{y(t) = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}(t-\tau)\right)}$$

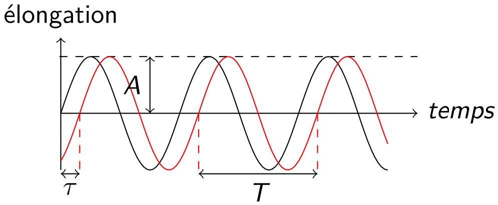


FIGURE – La courbe rouge est en retard de τ

où : A est l'amplitude, T est la période (en secondes), τ est le retard (en secondes).

Pour la représentation spatiale

L'expression mathématique de l'élongation est de la forme :

$$\boxed{y(x) = A \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x + \varphi\right)}$$

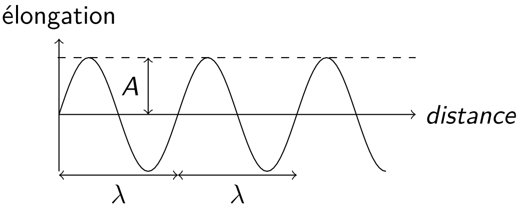


FIGURE – Représentation spatiale d'une onde périodique sinusoïdale

où : A est l'amplitude, λ est la longueur d'onde (en mètres), φ (en radians) est la phase à l'origine.

Exercices (chapitre 15 du hachette 1re SPE)

- auto-correction : ex 19, 22 (mathématiques), 24, 26, 27 (fondamental), 34 (fondamental), 35.
- ex : 20 (voir l'animation), 21, 23, 25, 28, 29 (fondamental), 30, 31 (résolution de problème), 32, 33 (mathématiques).