

Thème 4 : Ondes et Signaux

Chapitre 8 : Ondes mécaniques



Qu'ont-ils en commun ?



Le son d'un concert, la houle à la surface de l'océan,
l'onde de choc d'un séisme...
Tous sont des exemples de **propagation d'une perturbation**.

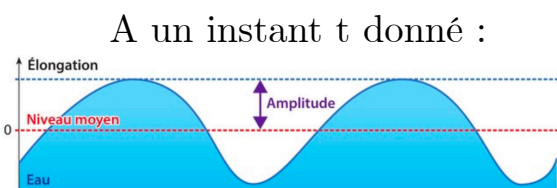
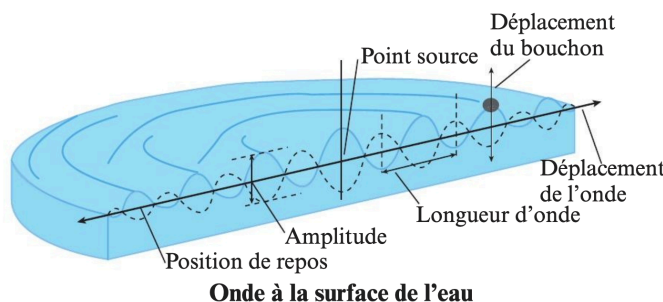
Explorons le modèle qui les unit : l'onde mécanique.

I. Ondes mécaniques progressives

1. Définitions

- On appelle onde progressive le phénomène de **propagation** d'une **perturbation** (variation d'une grandeur physique), sans transport de matière, mais avec transport **d'énergie**.
- Il existe 2 types d'ondes progressives : les ondes mécanique et les ondes électromagnétiques.
- Les ondes **mécaniques** nécessitent un **milieu** de propagation (matière).
Exemple de perturbation : augmentation de la pression, élévation du niveau de l'eau...
- La position d'un point du milieu matériel est repérée par son **élongation**. C'est **l'écart** par rapport à sa position au **repos**.

Exemple : Une pierre qui tombe dans une eau calme déforme la surface de l'eau. Cette perturbation (hauteur de la surface) se propage en partant du point d'impact (source). C'est une onde mécanique progressive.



Exemples d'onde mécanique	Onde le long d'une corde	Onde le long d'un ressort	Onde sonore dans l'air
	Milieu élastique de propagation	Corde	Ressort
Élongation (grandeur physique qui varie)	Distance d'un point de la corde par rapport à sa position de repos	Distance de la position d'une spire par rapport à sa position de repos	Pression de l'air par rapport à la pression moyenne

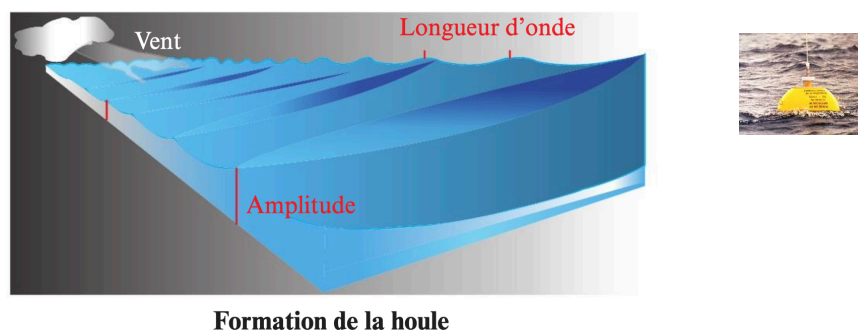
- La propagation de l'onde peut se produire dans un espace à plusieurs dimensions :



2. Exemples

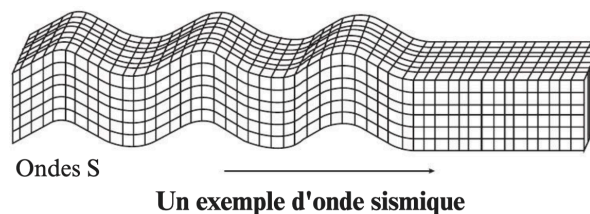
- La houle :

c'est le mouvement ondulatoire de la surface de la mer, causée par le vent. On peut la détecter à l'aide de bouées houlographes ou de radars.



- Les ondes sismiques :

Lors d'un séisme, les déformations subies par la Terre à l'épicentre se propagent sous forme d'ondes de différents types. Elles sont détectées à l'aide d'un sismomètre.



Il existe aussi les ondes P, L et R

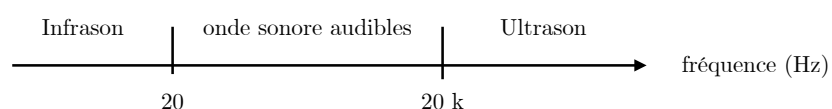
- Les ondes sonores :

Elles correspondent à la propagation d'une variation de pression.



Compression et dépression des molécules présentes dans l'air

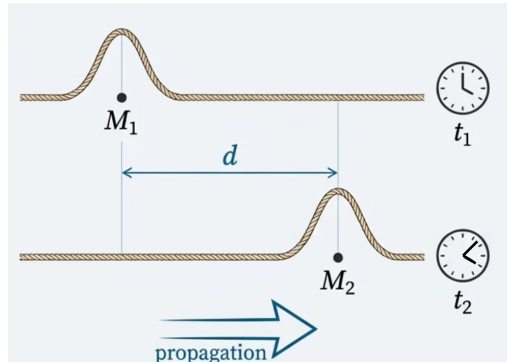
Rappel :



II. Célérité des ondes mécaniques progressives

1. Définition

- Soit la propagation d'une perturbation le long d'une corde vibrante :



- Soit t_1 et t_2 , les instants où l'onde progressive atteint respectivement les points M_1 et M_2 . On a v la célérité de cette :

$$v = \frac{d}{\Delta t} \quad \left| \begin{array}{l} d \text{ en m} \\ \Delta t = t_2 - t_1 \text{ en s} \\ v \text{ en m.s}^{-1} \end{array} \right.$$

Remarque : On préfère le mot célérité au mot vitesse auquel est associée la notion de déplacement de matière.

- La célérité de l'onde est influencée par les caractéristiques du milieu de propagation (compressibilité, température...), ainsi que par sa nature (eau, air...). => v dépend du milieu (pour une même onde).

2. Notion de retard

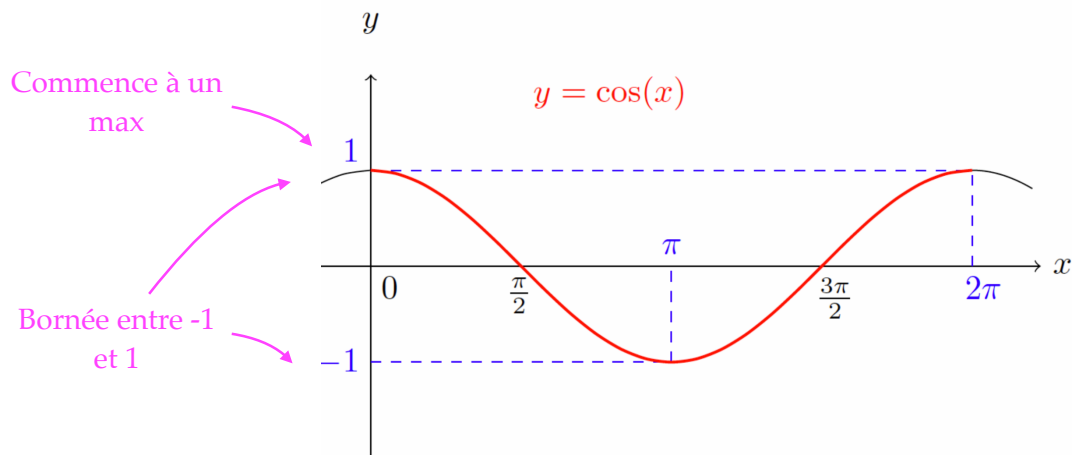
- Lorsqu'une onde de célérité v se déplace, la perturbation qu'elle provoque en un point M_2 est la même que celle observée en M_1 , mais décalée dans le temps. Ce décalage est appelé retard et noté τ (*tau*)

$$\tau = \frac{M_1 M_2}{v} \quad \left| \begin{array}{l} M_1 M_2 \text{ en m} \\ \tau \text{ en s} \\ v \text{ en m.s}^{-1} \end{array} \right.$$

III. Caractéristiques des ondes mécaniques progressives

- Une onde progressive est **périodique (OPP)** si la perturbation se répète, **identique** à elle-même, **régulièrement** au cours du temps.
- Elle est **sinusoïdale** si les variations de la perturbation se font en suivant la fonction mathématique **cosinus**.

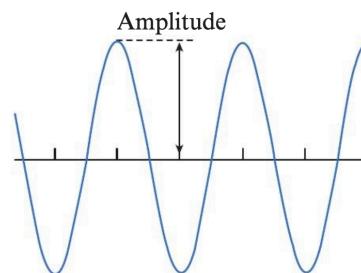
Maths : la fonction cosinus



1. Amplitude

C'est l'ampleur de la perturbation infligée par l'onde sur son milieu de propagation.

C'est la différence entre élongation maximale et élongation médiane (très souvent 0 pour nous).



2. Période temporelle

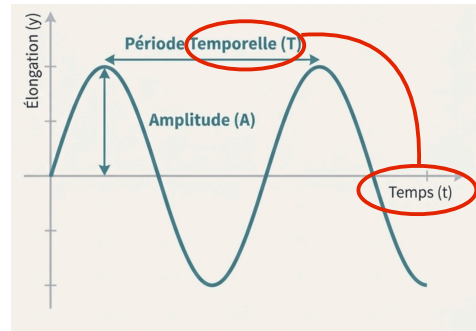
La période est la plus petite durée au bout de laquelle un point du milieu se retrouve dans le même état vibratoire.

Elle est noté T et s'exprime en seconde.

2. Période

La période est la plus petite durée au bout de laquelle un point du milieu se retrouve dans le même état vibratoire.

Elle est noté T et s'exprime en seconde.



IMPORTANT : La période est **caractéristique** de l'onde. Elle ne dépend pas du milieu de propagation.

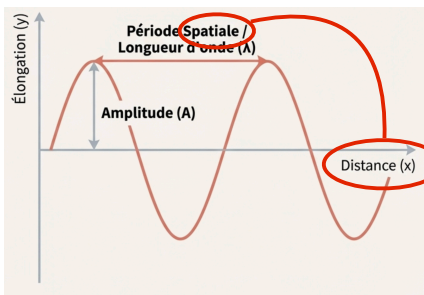
Concept lié : la **fréquence**.

La **fréquence** f est l'**inverse** de la **période** T :

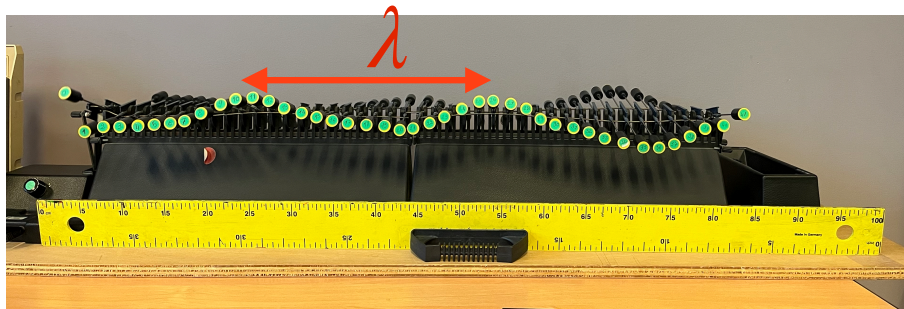
$$f = \frac{1}{T} \quad \left| \begin{array}{l} T \text{ en s} \\ f \text{ en Hz} \end{array} \right.$$

4. Période spatiale (longueur d'onde)

La longueur d'onde est la plus petite distance séparant deux points du milieu qui vibrent en phase (dans le même état vibratoire) au même instant.



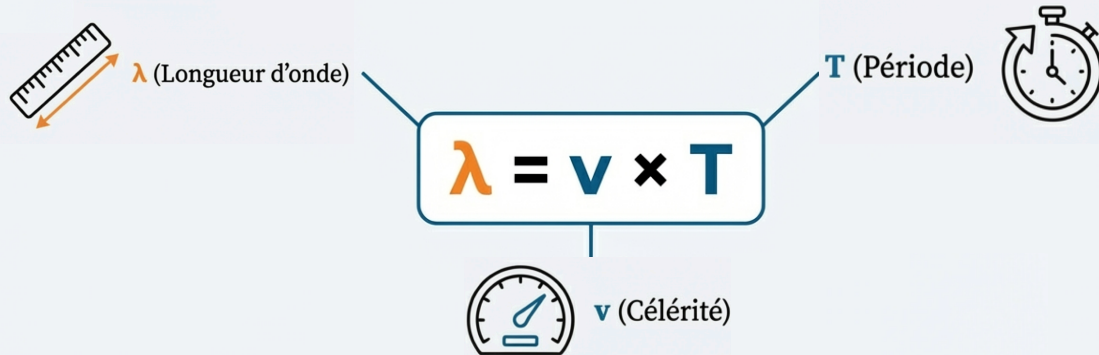
« Photographie » de l'onde à un instant t



Remarque : La célérité de l'onde dépend du milieu de propagation, donc la longueur d'onde en dépend aussi (contrairement à la période T).

La Relation Fondamentale

Pendant une durée T (la période), l'onde parcourt exactement une distance λ (la longueur d'onde) à la célérité v .



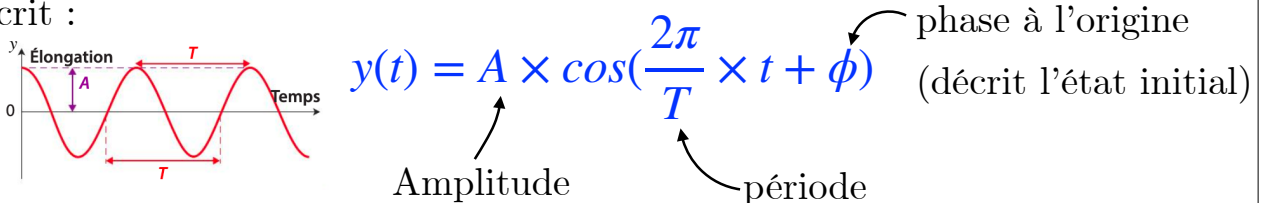
Et sa variation avec la fréquence : $\lambda = v / f$

5. Modélisation

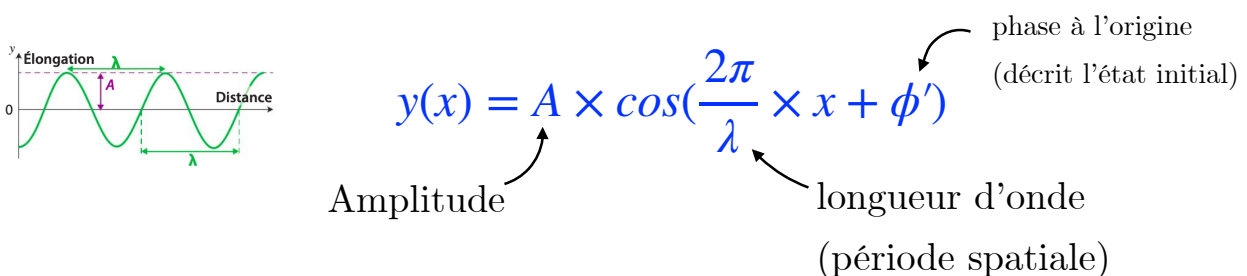
Une onde est **sinusoïdale** lorsque l'élongation de tout point du milieu de propagation est une fonction sinusoïdale du temps.

Elle est caractérisée par sa **période** et par son **amplitude**.

- Modélisation temporelle : élongation y d'un point en fonction du temps t s'écrit :



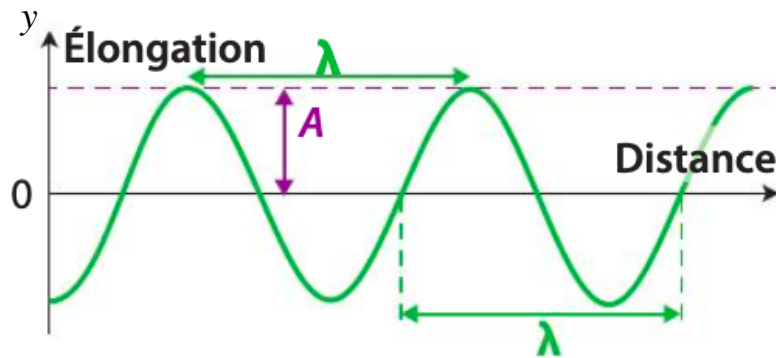
- Modélisation spatiale : élongation y en fonction de la position x s'écrit :



- Modélisation spatiale : « Photographie » de l'onde à un instant t , l'élongation en fonction de la position x s'écrit :

$$y(x) = A \times \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \times x + \phi'\right)$$

Amplitude \swarrow A \searrow phase à l'origine (décrit l'état initial)
 \swarrow $\frac{2\pi}{\lambda}$ \searrow longueur d'onde (période spatiale)



Astuce pour trouver la phase à l'origine :

Modélisation : il faut **calculer** $y(t)$ (ou $y(x)$) pour $t=0$ (ou $x=0$)

$$y(t) = A \cos\left(\frac{2\pi}{T} \times t + \phi\right)$$

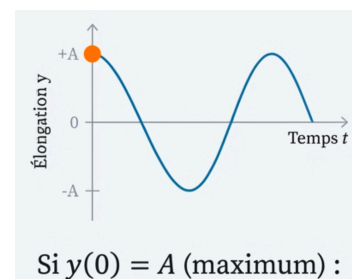
$$y(0) = A \cos\left(\frac{2\pi}{T} \times 0 + \phi\right)$$

$$y(0) = A \cos(\phi)$$

Lecture graphique : On **lit** la valeur de y à l'origine.

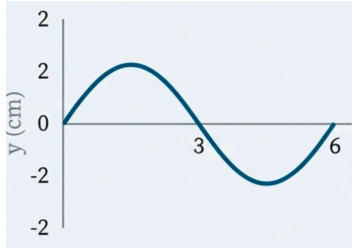
Si à l'origine la courbe commence par un maximum :

$$y(0) = A$$



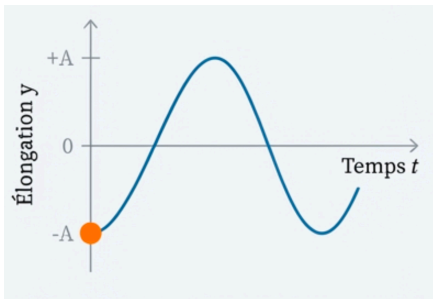
$$\left. \begin{array}{l} \text{On a donc : } y(0) = A \\ y(0) = A \cos(\phi) \end{array} \right\} \begin{array}{l} A = A \cos(\phi) \\ \cos(\phi) = 1 \\ \phi = 0 \text{ rad} \end{array}$$

Si la courbe passe par 0 à l'origine :



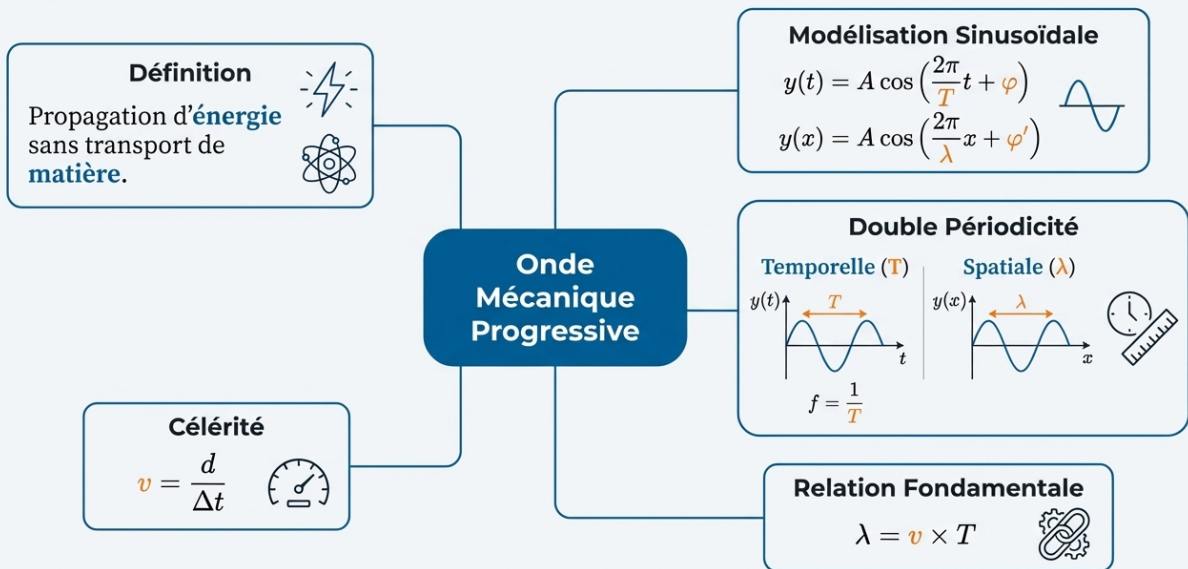
On a donc : $y(0) = 0$
 $y(0) = A \cos(\phi)$) $0 = A \cos(\phi)$
 $\cos(\phi) = 0$
 $\phi = \frac{\pi}{2}$

Si la courbe commence par un minimum à l'origine :



$y(0) = -A$
 $y(0) = A \cos(\phi)$) $-A = A \cos(\phi)$
 $\cos(\phi) = -1$
 $\phi = \pi$

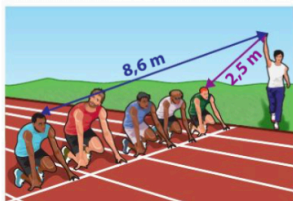
Synthèse : L'essentiel en un clin d'œil



11 Comparer des durées de propagation

CORRIGÉ | Présenter sous une forme appropriée.

Sur une piste d'athlétisme, les différents coureurs ne sont pas tous à la même distance du pistolet du starter.



- Comparer les durées de propagation du « top départ » entre :
 - le starter et le coureur le plus proche.
 - le starter et le coureur le plus éloigné.

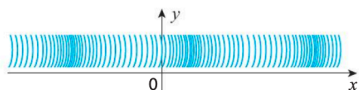
Donnée

- La valeur de la vitesse du son dans l'air est $345 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

22

CORRIGÉ | Interpréter des résultats ; effectuer des calculs.

Un ressort est soumis à une déformation périodique, sinusoïdale :



On filme la propagation de ces ondes périodiques le long du ressort. Après analyse du pointage vidéo du déplacement d'un point du ressort au cours du temps, on dispose, dans un tableau, d'une série de valeurs (tableau **A**). x est l'élongation d'un point du ressort.

A Tableau

t (s)	x (cm)
0	
0,1	-9,5
0,2	
0,3	5,9
0,4	

1. Choisir les bonnes affirmations :

A. Le point du ressort se déplace de 10 cm autour de sa position de repos initiale.

B. Le point du ressort se déplace de 20 cm autour de sa position de repos initiale.

C. $x(t) = 5 \cos\left(\frac{2\pi}{1} \times t + \frac{\pi}{2}\right)$

D. $x(t) = 10 \cos\left(\frac{2\pi}{1} \times t + \frac{\pi}{2}\right)$

E. $x(t) = 10 \cos\left(\frac{2\pi}{0,5} \times t + \frac{\pi}{2}\right)$

2.a. Reproduire et compléter les cases vides du tableau **A** en utilisant l'expression correcte de $x(t)$.

b. Vérifier que les points appartiennent à la courbe du graphique **B**.

16 Connaître la double périodicité

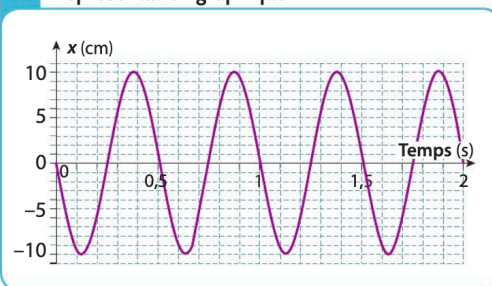
| Mobiliser ses connaissances.

1. Définir les grandeurs suivantes de façon indépendante l'une de l'autre :

- la période d'une onde périodique.
- la longueur d'onde d'une onde périodique.

2. Donner la relation entre ces grandeurs.

B Représentation graphique



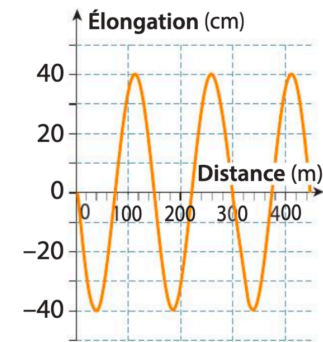
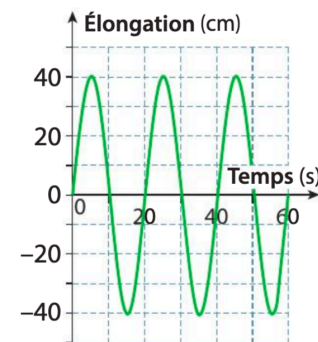
Le déplacement, autour de sa position de repos initiale, d'un point P du ressort est repéré par son élongation x en

fonction du temps : $x(t) = A \cos\left(\frac{2\pi}{T} \times t + \phi\right)$.

15 Exploiter la double périodicité

CORRIGÉ | Extraire l'information.

Les deux graphiques ci-dessous correspondent à la même onde périodique.



1. Déterminer la période, la longueur d'onde et l'amplitude de cette onde.

Utiliser le réflexe 4

2. En déduire la célérité de cette onde.

Utiliser le réflexe 3

33 La piscine

| Observer, décrire des phénomènes.

Dans le film *A Bigger Splash* de Luca GUADAGNINO, l'actrice Tilda SWINTON, assise au bord de sa piscine, crée avec son pied, à la surface de l'eau, une onde considérée comme périodique pour la durée de l'étude. Cette onde a une fréquence de 2,5 Hz et une amplitude de 1,5 cm.



Elle se propage à la surface de l'eau avec une célérité v de $2,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Sur l'eau, flotte un petit ballon. Son déplacement est repéré par la coordonnée verticale $z(t)$ et il est décrit par l'équation :

$$z(t) = A \cos\left(\frac{2\pi}{T} t + \phi\right)$$

1. Que représentent A et T pour l'onde progressive sinusoïdale qui se propage à la surface de l'eau ? Déterminer A et T .

2. On considère pour la suite que $\phi = \frac{\pi}{2}$ rad.

Quelle est la coordonnée z à la date $t = 10 \text{ s}$?

3. À quelles dates le ballon est-il au niveau $z = 0 \text{ m}$? On ne donnera que les dates inférieures à 1,5 s.