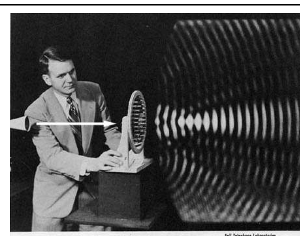
Chapitre 1.8 – Les ondes mécaniques progressives

Onde et temps de réaction d’un milieu

Lorsqu’il y a des forces d’appliquées sur un milieu, ce n’est pas l’ensemble du milieu qui réagit instantanément. Puisque le **milieu** est constitué de plusieurs particules en interaction entre elles, il faut donner le temps aux **forces d’interaction** (forces internes) de **propager** la **perturbation**.

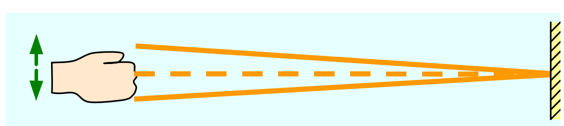
On peut ainsi définir une onde comme étant la déformation évolutive du milieu sous la présence d’une perturbation. On utilise le concept **d’onde mécanique** pour mesurer la **vitesse de propagation** d’une perturbation externe et pour mesurer la **position** des **éléments du milieu** dans le **temps**.

Onde mécanique			Onde électromagnétique
Tremblement de terre	Son d’un haut-parleur	Vague	Onde radio
			
Milieu : terre	Milieu : air	Milieu : eau	Milieu : Vide

Une corde tendue

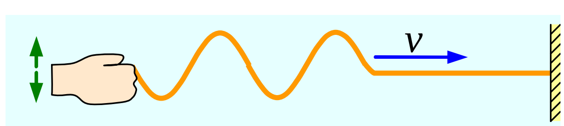
Voici le comportement d’une corde tendue fixée à un mur dont l’extrémité gauche se déplace verticalement à l’aide d’un mouvement harmonique simple forcé :

<u>Mouvement harmonique simple lent :</u> (perturbation lente)



- Propagation de l’onde plus rapide que le rythme de la perturbation.
- Aucune onde observable.

<u>Mouvement harmonique simple rapide :</u> (perturbation rapide)



- Propagation de l’onde plus lente que le rythme de la perturbation.
- Observation d’une onde se propageant dans le milieu à vitesse *v*.

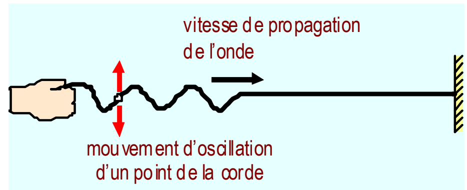
Onde transversale et onde longitudinale

On distingue principalement deux types d'onde :

<u>Onde transversale :</u>

Oscillation du milieu dans un plan perpendiculaire à la direction de la propagation de l'onde.

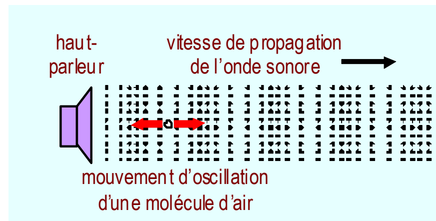
Exemple : Onde dans une corde



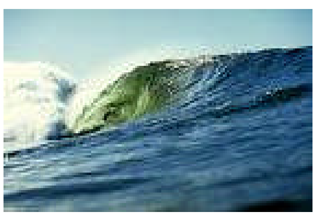
<u>Onde longitudinale</u>

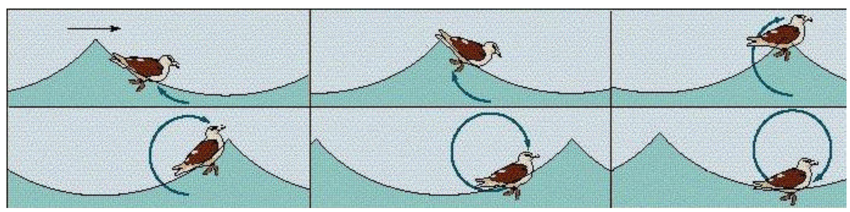
Oscillation du milieu dans la même direction que la propagation de l'onde.

Exemple : Le son dans l'air



Il y a également des ondes qui ne sont pas transversale ni longitudinale comme par exemple les **vagues** :





Vitesse de propagation d'une onde transversale dans une corde tendue

Lorsqu'une **corde tendu** oscille avec des **petites oscillations**, **l'onde transversale** déformant la corde voyage à une **vitesse** v qui dépend de la **tension** F appliquée sur la corde et de la **masse linéique** μ de la corde de la façon suivante :

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad \text{et} \quad \mu = \frac{M}{L}$$

où v : Vitesse de propagation de l'onde transversale dans la corde tendue (m/s)

F : Tension appliquée sur la corde (N)

μ : Masse linéique d'une corde uniforme (kg/m)

M : Masse totale de la corde (kg)

L : Longueur de la corde (m)

<u>Preuve :</u>

La preuve est disponible dans la démonstration de l'équation d'onde de la section 1.9c.

Le fouet

Une onde voyageant dans une corde ne se déplace pas toujours à la même vitesse, car la vitesse dépend de la densité massique de la corde. C'est cette propriété qui est utilisée dans le fouet.


Fouet

Le fouet est l'équivalent d'une corde dont la masse linéique diminue avec la longueur (très massique près de la poignée et peu massive à l'autre extrémité). Lorsqu'on agite le fouet, l'onde se déplace de plus en plus rapidement. La grande vitesse atteinte par l'extrémité du fouet peut déplacer brusquement une quantité d'air et ainsi provoquer un claquement.

Vitesse de propagation d'une onde sonore

La vitesse d'une onde sonore (le son) dans un gaz dépend de la pression du gaz et de la masse volumique du gaz :

$$v_s = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} \qquad \text{et} \qquad \rho = \frac{M}{V}$$

où v_s : Vitesse de propagation de l'onde sonore (m/s)

P : Pression du gaz (Pa ou N/m^2)

γ : Constante de degré de liberté du gaz ($\gamma = 7/5 = 1{,}4$ pour l'air)

ρ : Masse volumique du gaz (kg/m^3)

M : Masse totale occupée par le volume de gaz (kg)

V : Volume occupé par le gaz (m^3)

La pression du gaz P dépendent de la température ambiante T. On peut utiliser la loi des gaz parfait $PV = nRT$ pour estimer la pression du gaz.

$$v_s = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} \quad \Rightarrow \quad v_s = \sqrt{\frac{\gamma\left(\frac{nRT}{V}\right)}{\left(\frac{M}{V}\right)}} \quad \Rightarrow \quad v_s = \sqrt{\frac{\gamma\, nRT}{M}}$$

Puisque l'air est un mélange de N_2 (M = 28 g/mol) à 78%, de O_2 (M = 32 g/mol) à 21% et d'autre gaz à 1%, on peut estimer la masse molaire de l'air à M = 29 g/mol.

À une température 16^{o}C, nous avons une vitesse du son dans l'air de 340 m/s :

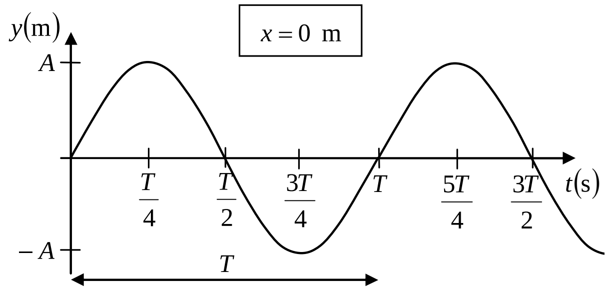
$$v_s = \sqrt{\frac{\gamma\, nRT}{M}} \quad \Rightarrow \quad v_s = \sqrt{\frac{(1{,}4)(1)(8{,}31)(273{,}15+16)}{(0{,}029)}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{v_s = 340{,}6 \ \text{m/s}}$$

N.B. La vitesse du son ne dépend pas du type de son (aigu, grave) qui voyage dans l'air.

Corde soumise à un mouvement harmonique simple

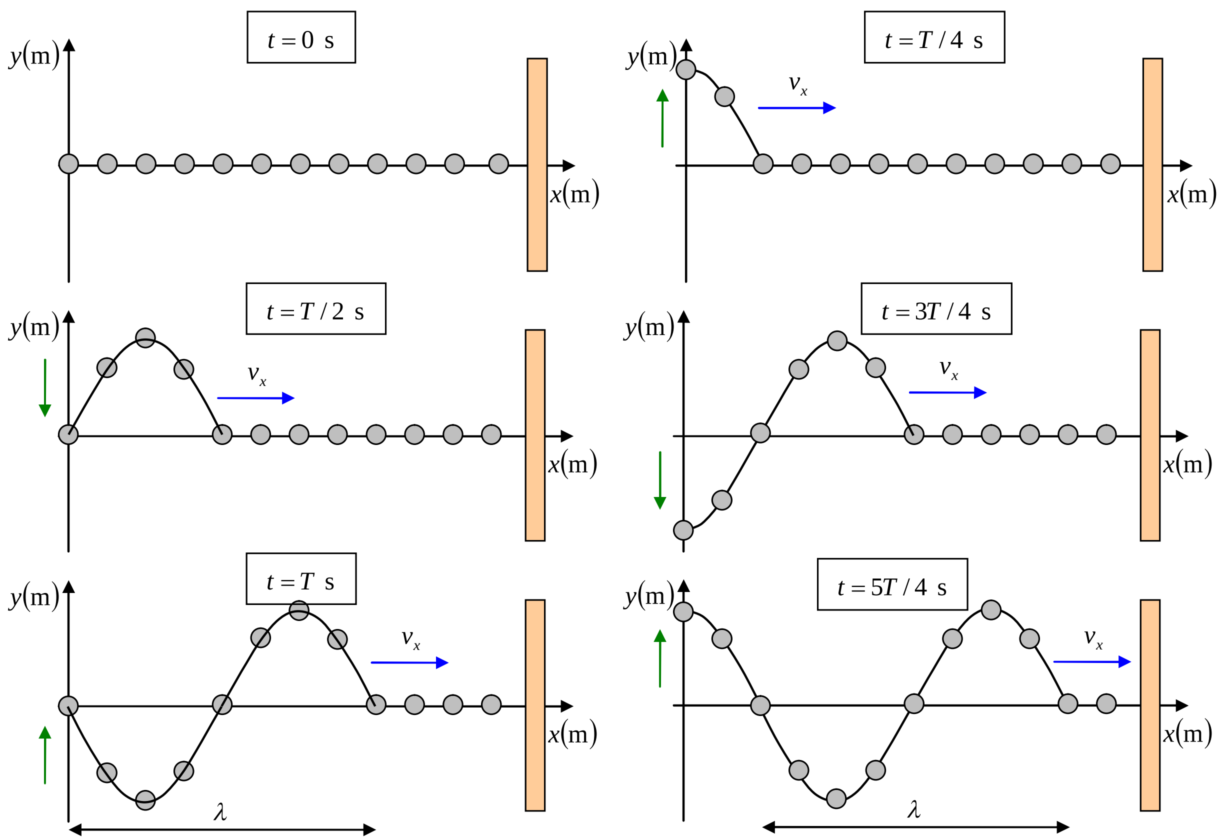
Étudions le mouvement d'une corde de longueur L située sur l'axe x entre $x = 0$ et $x = L$. Nous fixons au mur l'élément de corde $x = L$ et nous forçons l'élément $x = 0$ à bouger selon l'équation suivante. :

$$y(x = 0, t) = A\sin(\omega t) = A\sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$$



Approximation : On suppose que l'amplitude A du mouvement est beaucoup plus petite que la longueur L de la corde et que la corde est parfaitement élastique. Nous sommes ainsi dans **l'approximation des petites amplitudes**.

Voici la forme de la corde $y(x,t)$ pour différentes valeurs de temps t :



- On retrouve le mouvement périodique sur la corde du mouvement harmonique simple de façon inversée (le sinus du MHS est tracé de droite à gauche) sur une distance λ. Cette longueur porte le nom de « longueur d'onde ».
- L'onde se propage dans la corde à une vitesse constante v_x.
- Lorsque l'onde atteint le mur, elle rebondit. Ce problème sera étudié à la section 1.11.

Longueur d'onde

La longueur d'onde λ est l'espace occupée par une perturbation périodique d'une durée égale à une période T appliquée sur un milieu. On peut également définir la longueur d'onde λ comme étant la distance parcourue par une onde à la vitesse de propagation v durant une période T :

$$\lambda = vT$$

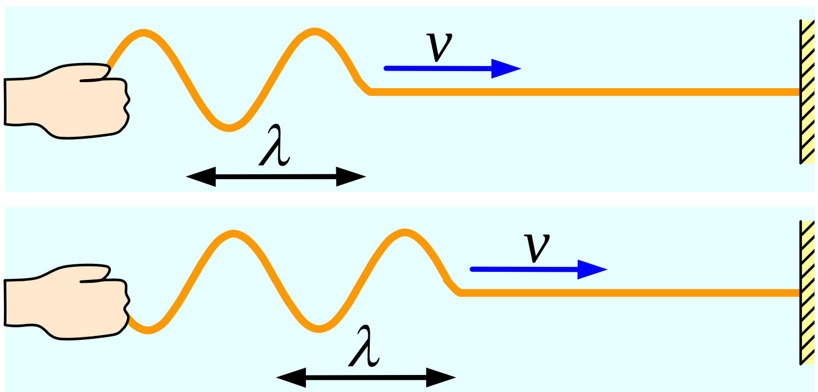
où λ : La longueur d'onde (m)

v : La vitesse de propagation de l'onde dans le milieu (m/s)

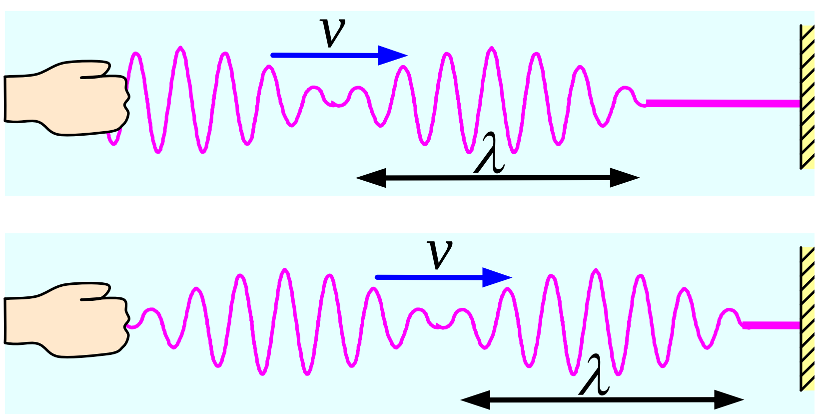
T : Période de l'oscillation qui génère l'onde (s)

<u>Déplacement de l'onde :</u>

Oscillateur : Mouvement harmonique simple (sinusoïdale)



Oscillateur : Mouvement non harmonique simple



La longueur d'onde représente en quelque sorte la distance parcourue par l'énergie transportée dans la corde durant un intervalle de temps égal à une période T :

$\lambda = vT$	$\Leftrightarrow$	$\Delta x = v_x \Delta t$
(longueur d'onde)		(cinématique de l'onde)