

Oscillations et ondes

Phénomènes oscillatoires

Un **phénomène** est une évolution alternée autour d'une position d'équilibre stable.

Un phénomène est un phénomène qui se répète à intervalles de temps réguliers.
La durée qui sépare deux états identiques est appelée notée (seconde : s).

La période désigne ainsi la durée d'un cycle.

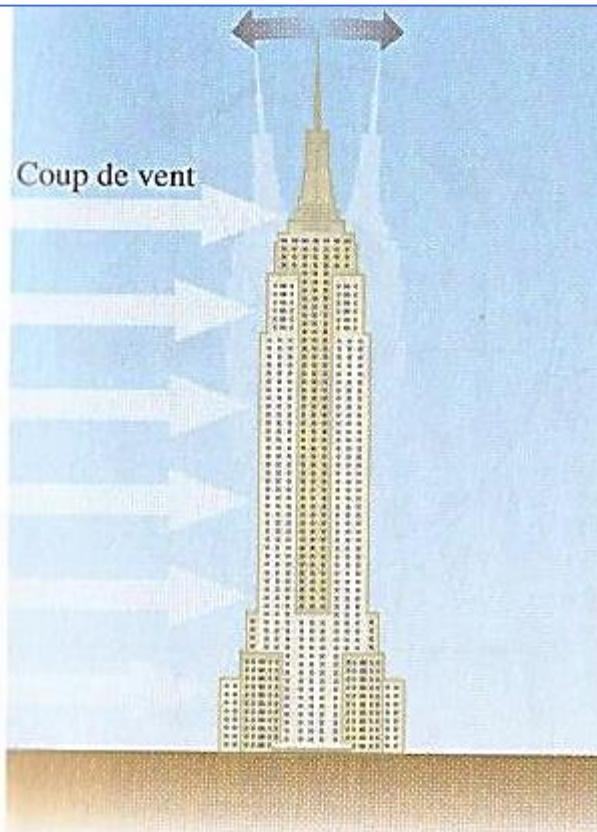
Nous distinguons deux types de tels mouvements périodiques :

- un mouvement sur une trajectoire fermée.
Exemples : mouvement de révolution de la Terre autour du Soleil, mouvement de rotation de la Terre autour de son axe Nord Sud...
- Mouvement vibratoire autour d'une position d'équilibre stable ou **mouvement oscillant**.
Exemples : oscillations d'un pendule ; corde vibrante, oscillations de l'air dans une vibration sonore, ...

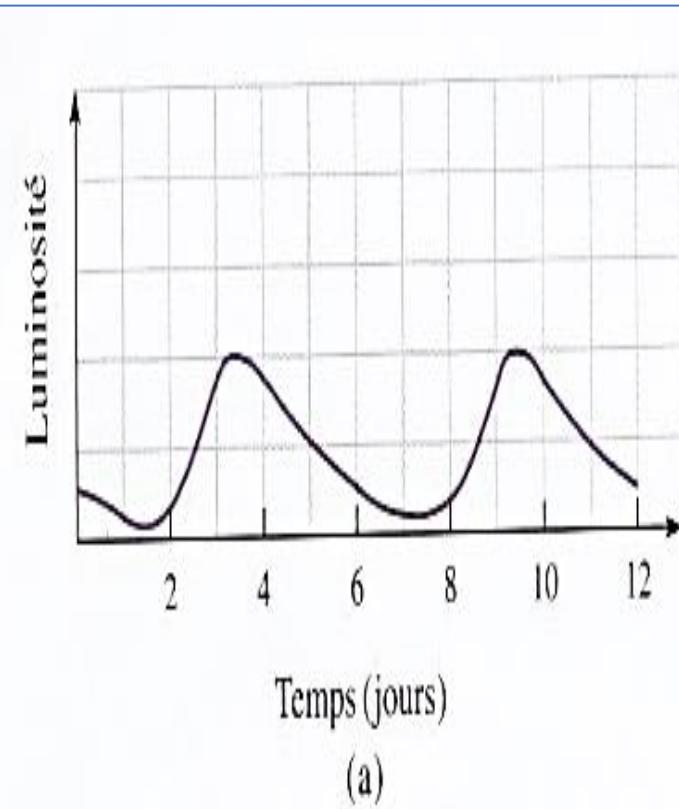
Le nombre de cycles pendant une unité de durée est appelé

Pendant une seconde, le nombre de cycle est mesuré en (1 = 1 s^{-1})

En unités du système international (U.S.I.) : $f (\text{Hz}) = \frac{1}{T (s)}$.

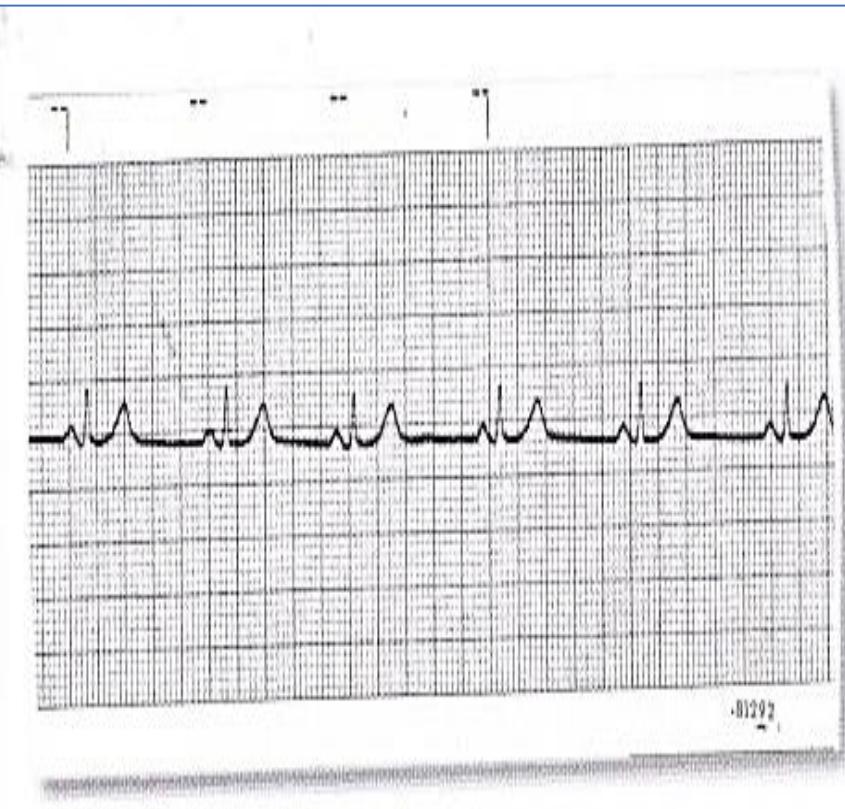


L'Empire State Building, de hauteur 381 m, oscille dans un vent violent. Bien que l'amplitude de l'oscillation soit exagérée sur la figure, les sommets des grands bâtiments peuvent se déplacer de plusieurs mètres. Un jour de grand vent, les tours jumelles du World Trade Center à Manhattan peuvent se déplacer de 2 m les ascenseurs doivent alors être ralenti.



(a)

(a) L'étoile géante Delta Céphée est l'une des étoiles très brillantes et pulsantes appelées Céphéïdes. Elle gonfle puis rétrécit une fois tous les 5,4 jours terrestres. Sa luminosité augmente et diminue régulièrement avec la même période.



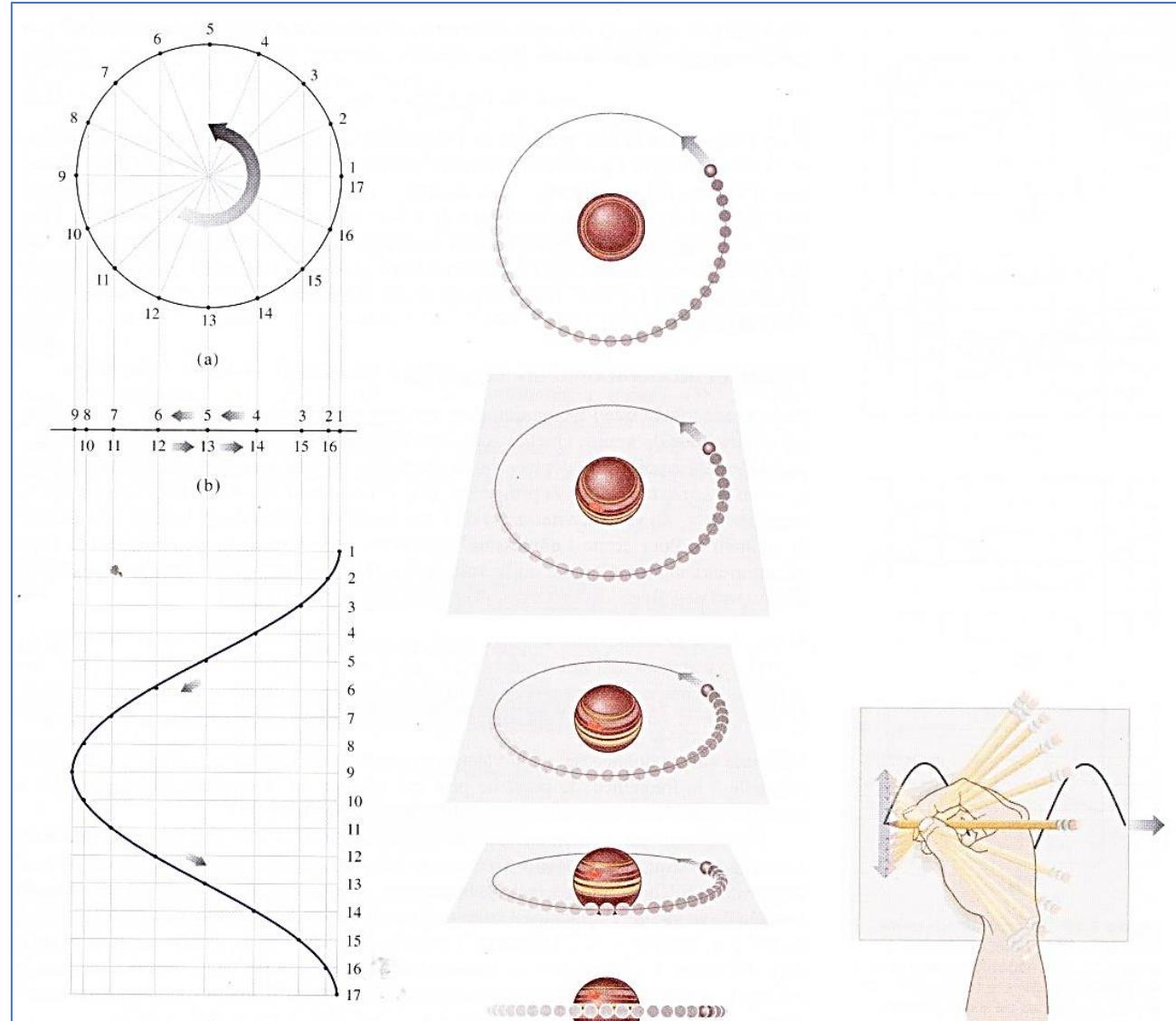
(b) Ce graphique périodique est un électrocardiogramme.

Oscillations sinusoïdales

Définition

Parmi les phénomènes périodiques les plus simples, nous trouvons ceux évoluant de manière sinusoïdale.

Nous disons alors que le système est caractérisé par une seule fréquence.



(a) Mouvement circulaire uniforme. (b) Sa projection sur un axe fixe, est un mouvement sinusoïdal. (c) Si l'axe de projection se déplace uniformément dans la direction Oy , on obtient une représentation graphique de ce mouvement sinusoïdal en fonction du temps.

Une représentation schématique d'un de ses satellites en rotation autour de Jupiter. Lorsque le plan du mouvement est vu sous une inclinaison de plus en plus petite, l'orbite circulaire semble s'aplatis en ellipse, puis en droite : l'orbite est vue par la tranche et le satellite semble animé d'un mouvement sinusoïdal.

La pointe du crayon oscille d'un mouvement sinusoïdal le long d'une ligne verticale. En tirant le papier à droite à une vitesse constante, la pointe du crayon trace sur le papier une courbe sinusoïdale.

Représentation d'une grandeur sinusoïdale.

Considérons le cas particulier d'un objet ayant un mouvement circulaire et uniforme. Il décrit un tour complet pendant une durée T et avec une fréquence $f = 1/T$.
Il balaye donc un angle 2π radian pour un tour complet, donc un angle $2\pi f$ pendant une seconde.

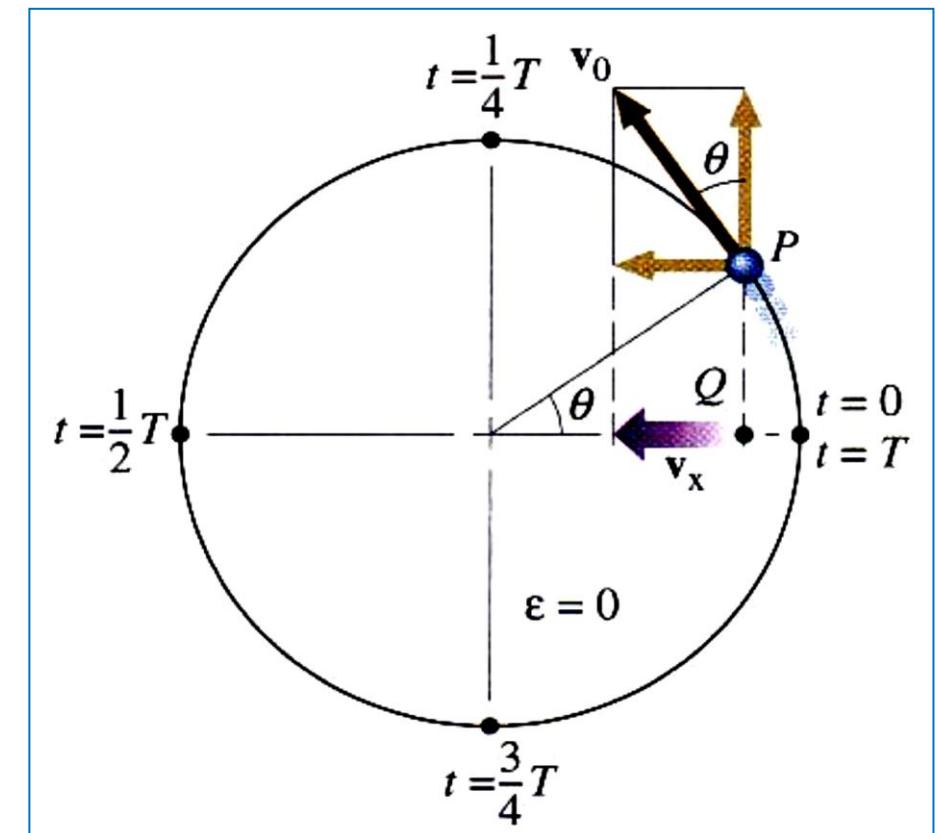
L'angle balayé pendant une unité de temps représente **la vitesse ou fréquence angulaire ω** du mobile :

$$\omega = 2\pi \cdot f = \frac{2\pi}{T}; \quad \omega \text{ en rad.s}^{-1}, f \text{ en Hz et } T \text{ en s.}$$

L'angle θ balayé pendant la durée t , s'écrit :

.....

Dans le cas de l'objet noté P, en mouvement de révolution circulaire de vitesse angulaire ω constante, son abscisse x peut s'écrire d'après les règles de trigonométrie : $x = R \cdot \cos(\theta) = R \cdot \cos(\omega \cdot t)$.



De manière générale, une grandeur physique évoluant sinusoïdalement peut s'écrire (l'élongation d'un ressort par exemple) :

$$\begin{aligned}x(t) &= \dots \\&= \dots \\&= \dots\end{aligned}$$

- $\omega \cdot t + \varphi$ est l'argument de la fonction cosinus ou encore la

$A \cdot t = 0$, la phase est conventionnellement prise égale à un nombre noté φ et appelé du mouvement.

- A est

.....

Nous reconnaissons le rayon du cercle de référence.

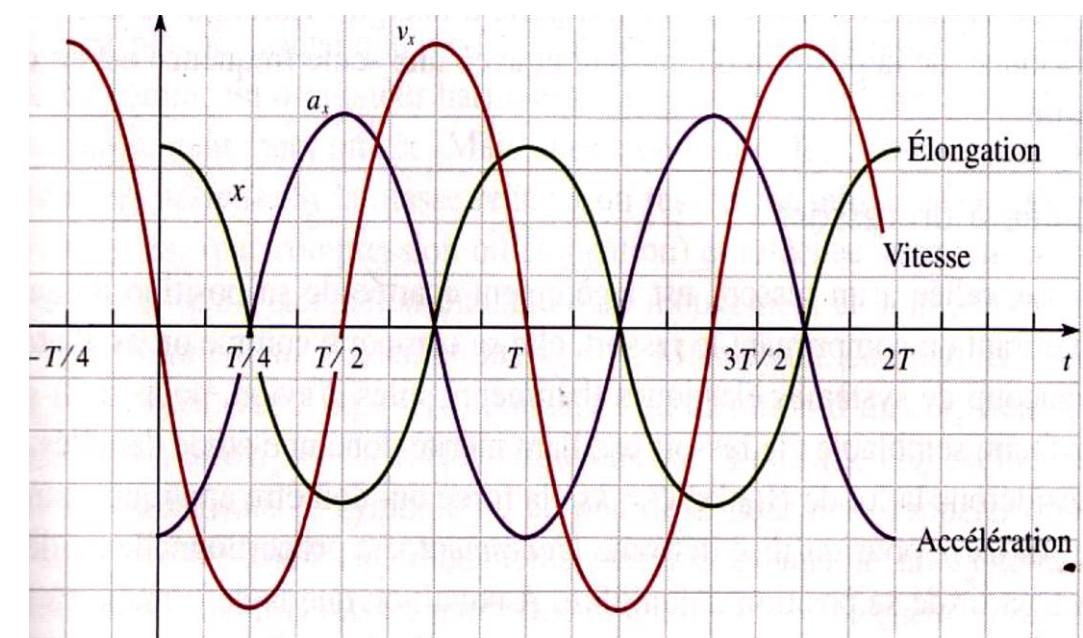
La grandeur physique ainsi décrite évolue entre les valeurs $+A$ et $-A$.

- ω est la

Nous reconnaissons la vitesse angulaire du mobile sur le cercle de référence.

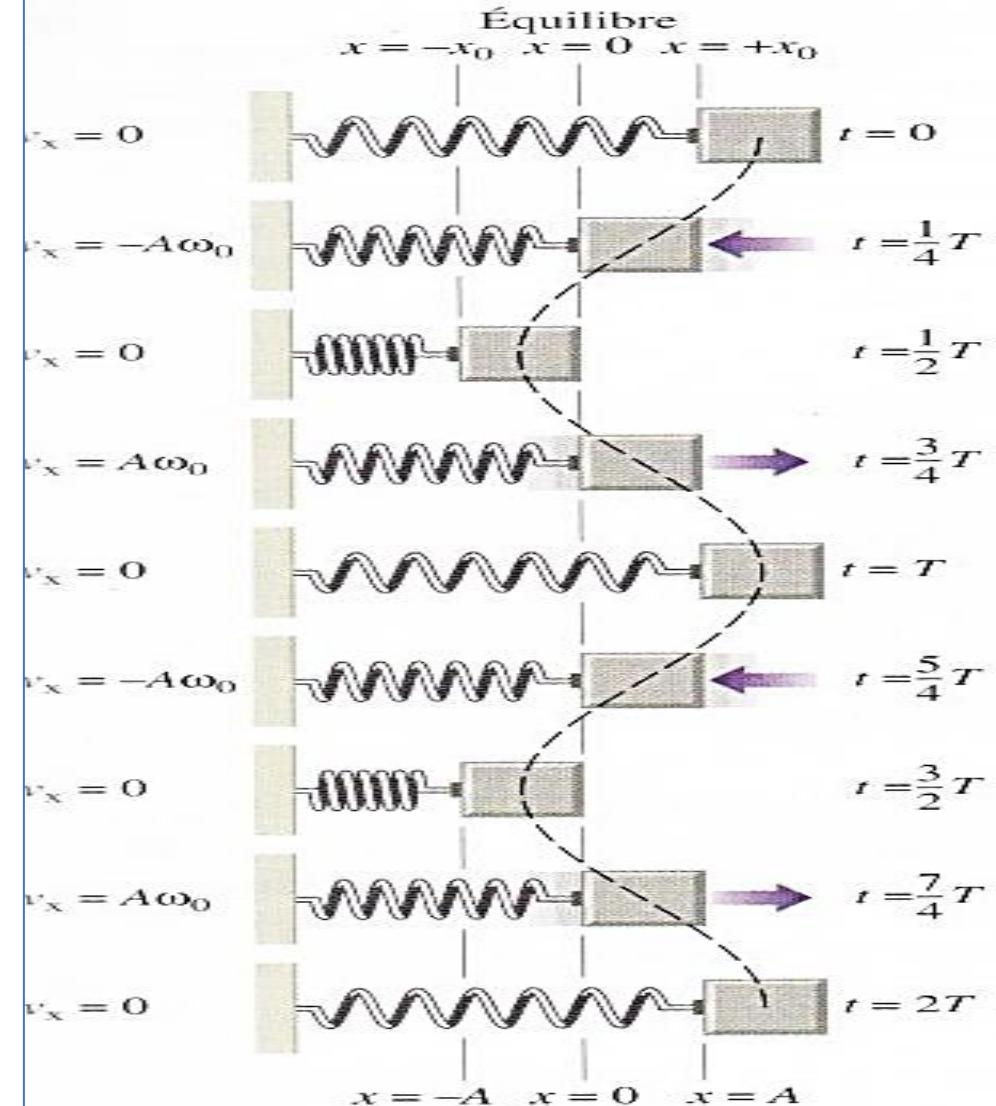
Unité, dans le système international :

et reliée à la fréquence par la relation : $\omega = 2\pi \cdot f = \frac{2\pi}{T}$



Deux propriétés intéressantes se dégagent :

- la vitesse est déphasée de $\pi/2$ par rapport à l'elongation ;
- l'accélération est déphasée de $\pi/2$ par rapport à la vitesse et de π par rapport à l'elongation ;
- **l'accélération d'un oscillateur harmonique est proportionnelle à son élongation et de signe opposée à son élongation.**
Le coefficient de proportionnalité est égal au carré de la pulsation.



Analyse spectrale

De manière générale, la plupart des évolutions sont complexes ; néanmoins, la forme qu'elles prennent, peut se mettre sous la forme de la superposition de mouvements sinusoïdaux d'importances inégales :

Lorsque le signal est périodique :

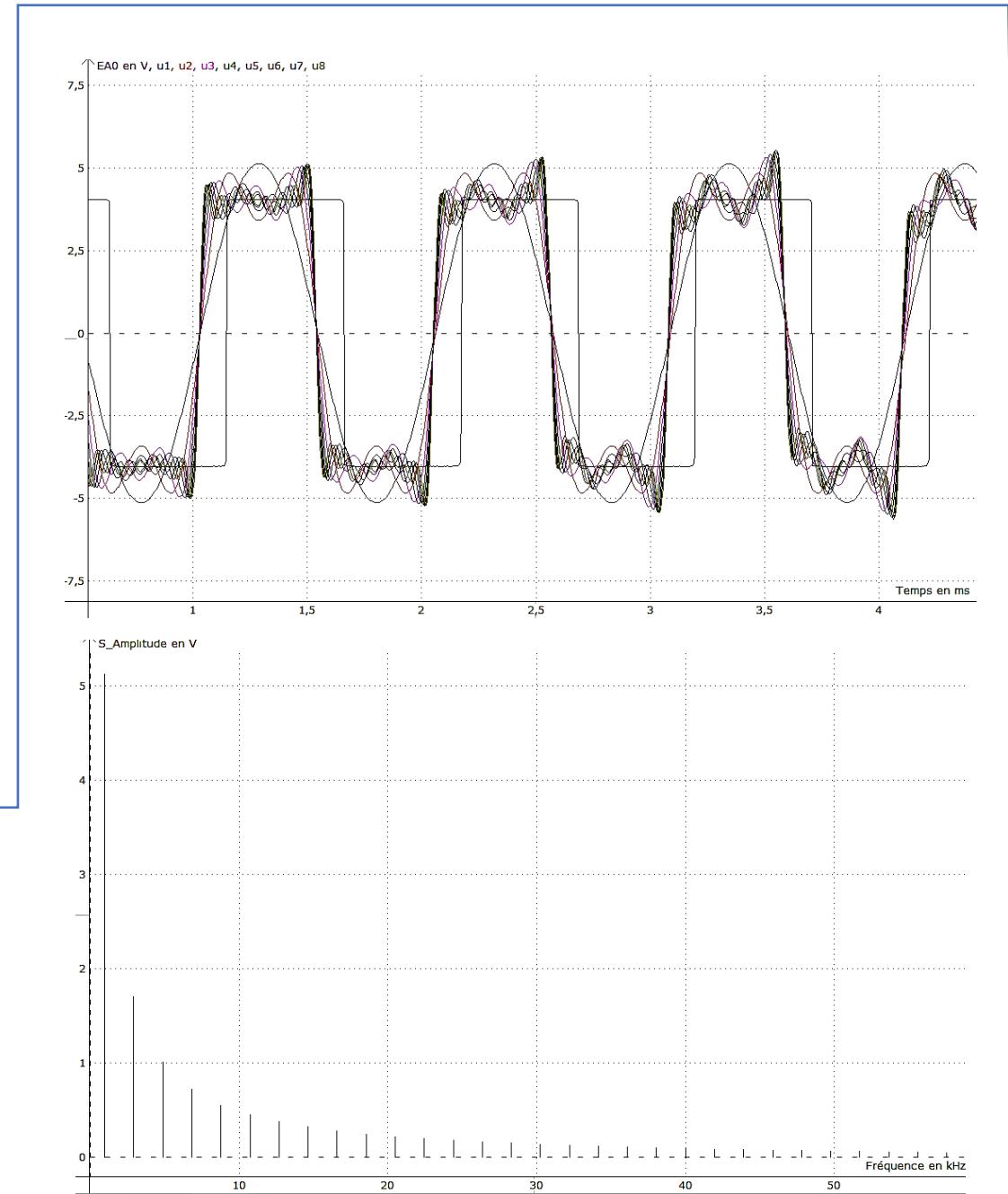
- Le premier **harmonique** est appelé :
le

Sa fréquence, notée f_1 , est la fréquence du signal.

- Le $n^{\text{ème}}$ harmonique a pour fréquence :

.....

Analyse spectrale et reconstitution d'une grandeur physique dont l'évolution est périodique.



Oscillations libres et forcées, résonance

Un **système oscillant**

est le siège d'une **énergie totale qui se conserve**.

Lorsque le système oscillant est idéal, c'est-à-dire sans perte d'énergie, l'oscillateur est un

.....

Les évolutions oscillantes libres sont des situations idéales, limitées par toute forme d'amortissement : frottements, résistances électriques ...

Des dispositifs adaptés permettent de fournir l'énergie nécessaire pour compenser celle dissipée par ces amortissements.

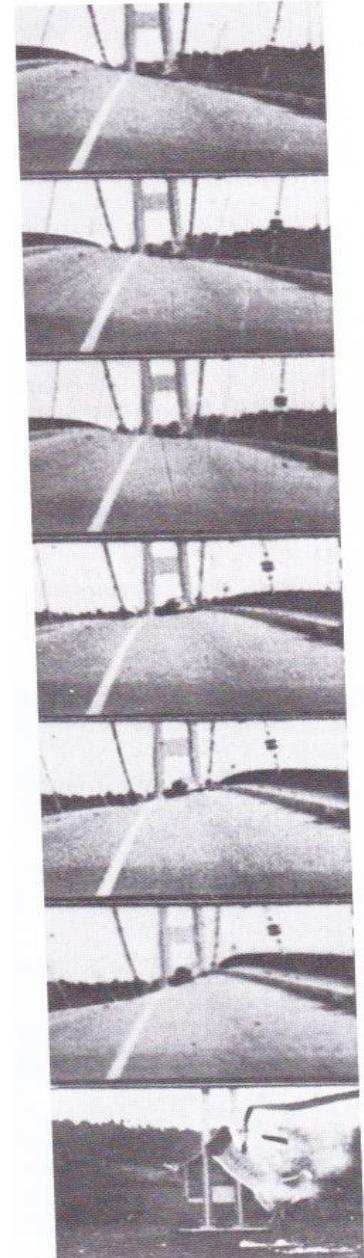
L.....

impose au des

.....

Exemples :

- Circuit électrique soumis à un générateur de tension sinusoïdale ;
- Corde vibrante soumis à des vibrations entretenues (cordes d'un violon) ;
- Sismographe : système mécanique oscillant soumis au mouvement de la plaque terrestre...



Il apparaît également que l'amplitude et la phase des oscillations dépendent de la fréquence des oscillations forcées.

Pour certaines fréquences, l'amplitude des oscillations forcées peut prendre une valeur maximale : on dit alors qu'il y a

.....

A cette fréquence, une grande partie de l'énergie fournie par l'exciteur est transférée au système oscillant.

Exemples :

Tuyaux sonores : l'air à l'intérieur soumis à une excitation pouvant se mettre sous la forme d'une superposition d'excitations sinusoïdales, entre en résonance pour certaines fréquences (notes musicales) permettant ainsi de produire un son de hauteur et de timbre particulier.
La fréquence de résonance est paramétrée par la hauteur du tuyau sonore.

Oscillations d'un système mécanique (masse+ressort, pont, ...) : à la résonance l'amplitude atteinte peut entraîner la destruction.

Circuit RLC dans un récepteur radio : le paramétrage par la capacité d'un condensateur ou l'inductance d'une bobine, permet de « sélectionner » une fréquence de résonance correspondant à la porteuse de la station émettrice.

Ondes sinusoïdales progressives

Une onde progressive est la

Cette propagation transporte de l'énergie.

Lorsqu'une onde se propage, chaque point du milieu de propagation subit après un certain (noté Δt ou τ), la même perturbation qu'un point qui le précède.

Pour une onde donnée,

la vitesse de propagation ou

caractérise

.....

Exemple :

- Onde de compression ; le son (figure 9) ;
- onde sinusoïdale le long d'une corde

L' d'une onde représente la répartition de la puissance dans l'espace.

I : puissance par unité de surface (W.m^{-2}) ;
énergie interceptée par une cible de m^2 par unité de temps.

Une onde périodique sinusoïdale est dite :

Elle est caractérisée par :

sa **période T** et sa **fréquence v**.

De plus, au fur et à mesure que la source reproduit périodiquement son mouvement, ce dernier se propage faisant ainsi apparaître dans le milieu de propagation des profils cycliques se propageant.

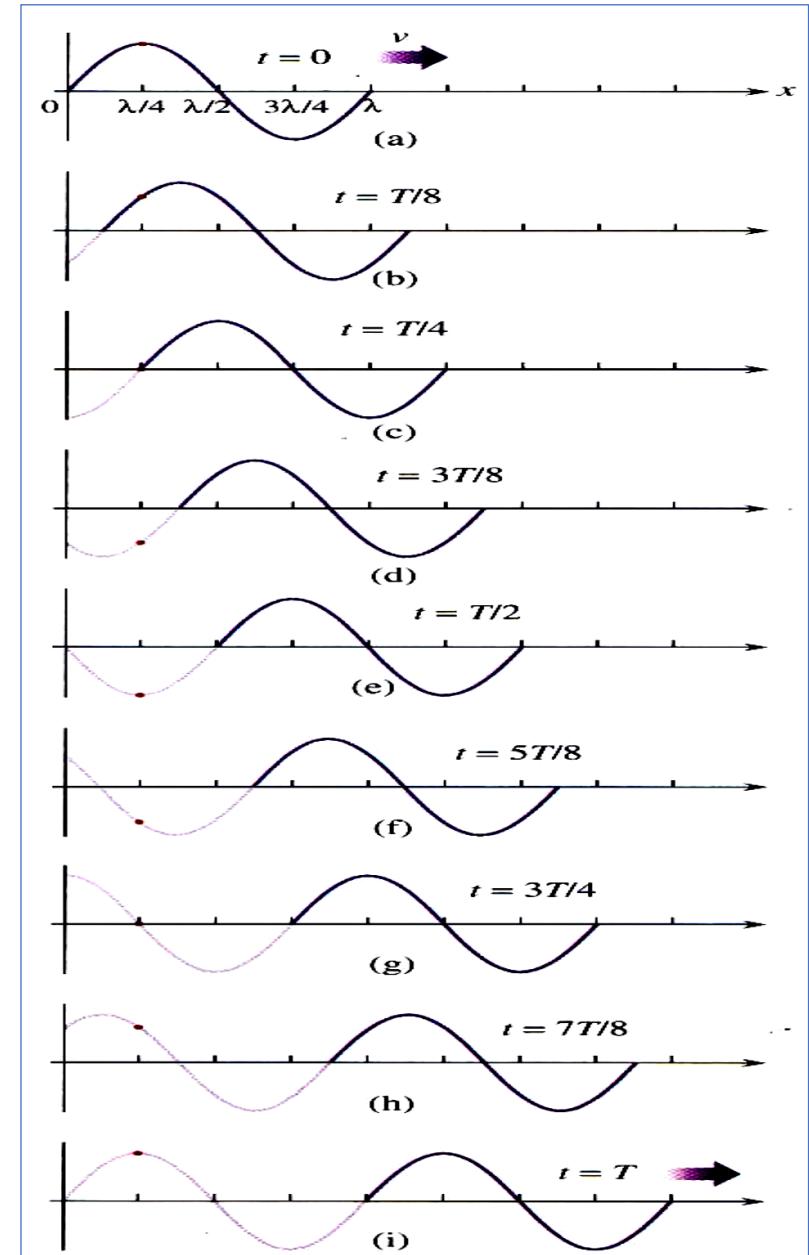
La longueur de ces cycles est appelée :

.....notée λ .

Elle représente encore la périodicité spatiale de l'onde.

Pendant une période T, l'onde se propage d'une longueur d'onde.

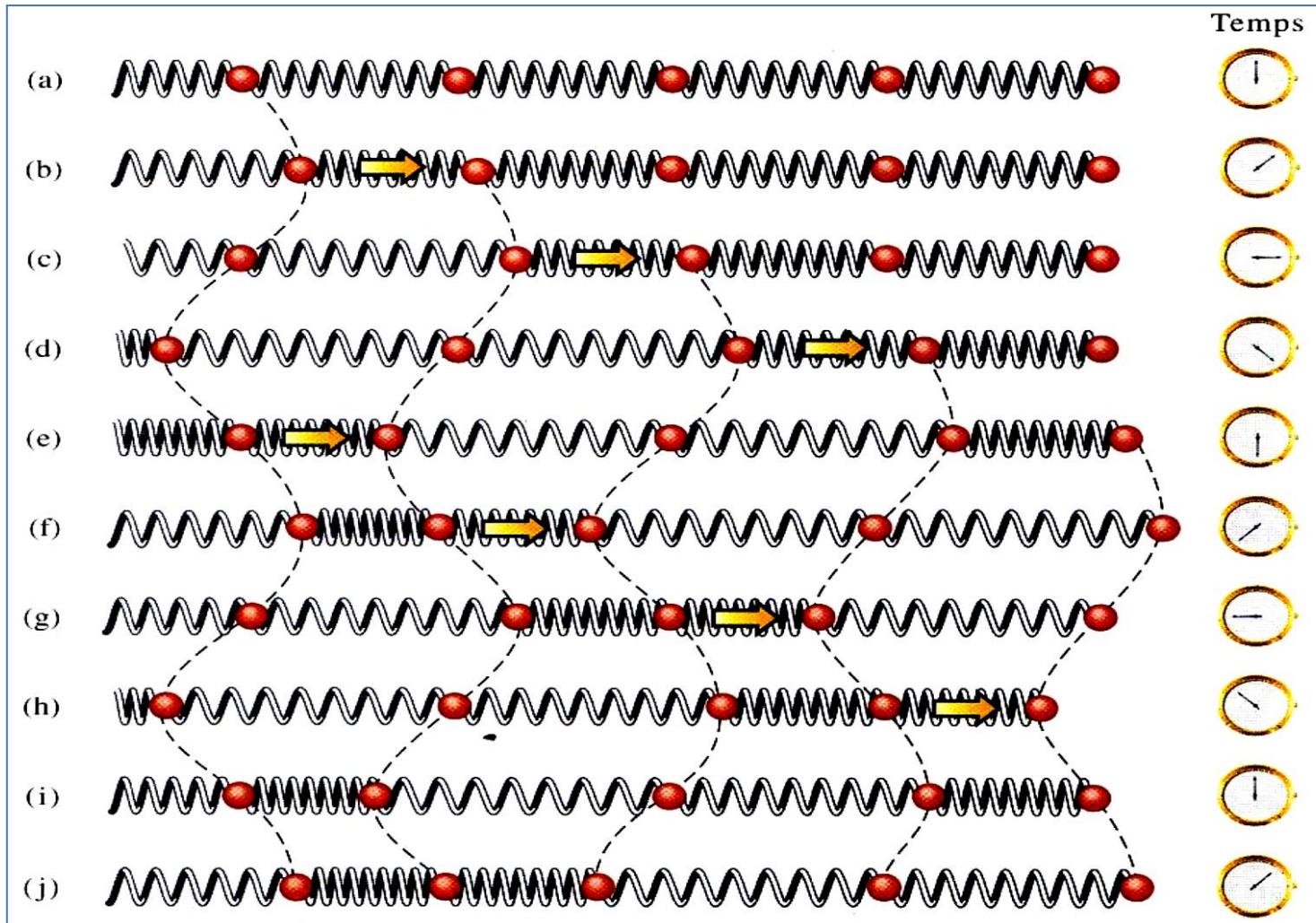
Nous pouvons en déduire :

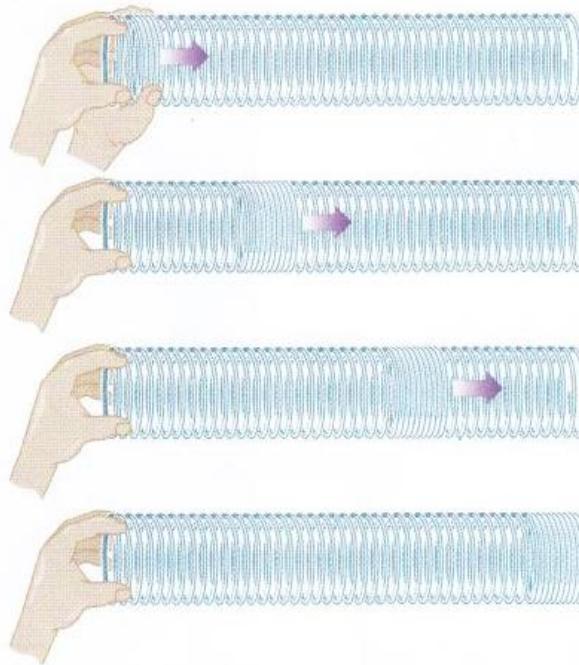


Onde de compression le long d'une chaîne de masses liées par des ressorts.

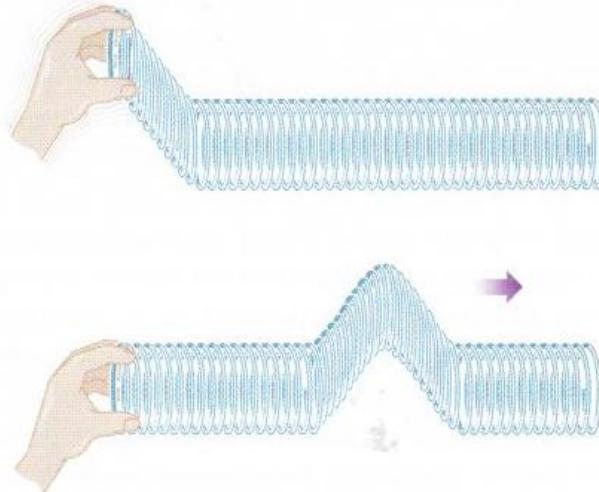
L'ébranlement résultant se propage vers la droite en une série de compressions et d'étirements des ressorts qui se répète dans l'espace au bout d'une distance λ et dans le temps après une période T .

Chaque masse oscille en un mouvement sinusoïdal.



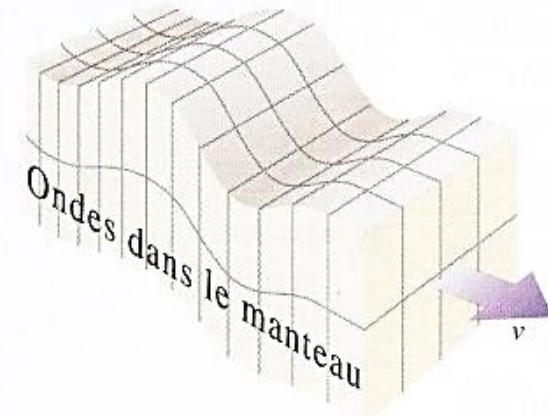


Onde longitudinale dans un ressort.

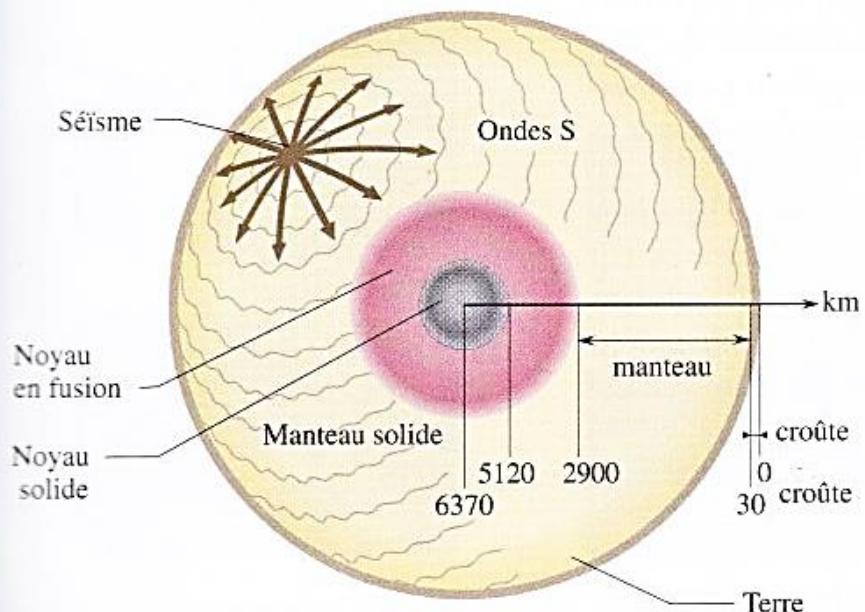


Onde transversale dans un ressort.

(a) Les ondes sismiques transversales, comme celles représentées ici, sont appelées ondes de cisaillement ou ondes S (ondes secondaires, voir p. 33, fig. 1.45). (b) Le noyau de la Terre étant en fusion, il ne peut pas être le siège de telles ondes. L'onde S produite par le tremblement d'un point de la planète est ressentie partout sauf aux antipodes. Les ondes S se propagent dans le manteau de la Terre, à une vitesse proche de 8 km/s.



(a)



(b)