

ONDES MECANIQUES PROGRESSIVES.

Une pierre tombant sur la surface d'un étang provoque des rides circulaires qui se propagent à la surface de l'eau: ce sont des ondes mécaniques. Un tremblement de terre engendre des ondes sismiques parfois dévastatrices. Les vagues de houle qui se propagent à la surface de la mer accostent périodiquement le rivage. Leur période est en général inférieure à 30 secondes et, le long d'une côte rectiligne, elles sont régulièrement espacées. La marée est un phénomène ondulatoire qui se propage à la surface des océans soumis à l'action gravitationnelle de la Lune et du Soleil.

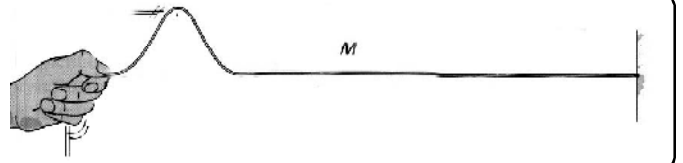
Qu'est-ce qu'une onde mécanique ?

1. PROPAGATION D'UNE PERTURBATION DANS UN MILIEU A UNE DIMENSION.

1.1. PROPAGATION D'UNE PERTURBATION TRANSVERSALE.

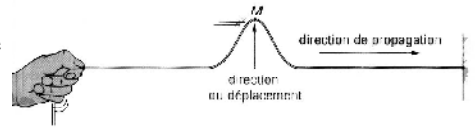
Dispositif.

Attacher une extrémité d'une corde élastique à un support fixe.
Tendre la corde et tenir l'autre extrémité à la main.
Imposer une perturbation du côté de l'extrémité tenue à la main.
Lâcher et observer l'aspect de la corde.



Observations.

La perturbation se propage le long de la corde, d'une extrémité à l'autre sans transport de matière.



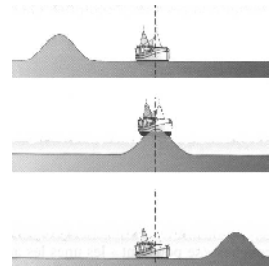
Interprétation.

On dit qu'une onde mécanique a été transmise le long de la corde.

Le milieu de propagation est la corde. On dit qu'il s'agit d'un milieu à une dimension ou milieu unidimensionnel. Ce milieu est élastique parce qu'il retrouve son état initial après avoir été temporairement déformé. La direction de propagation de l'onde est celle de la corde. Le point M se déplace perpendiculairement à la corde avant de retrouver son état d'équilibre. On dit que l'onde est transversale.

Définition.

Une onde est transversale lorsque le déplacement des points du milieu de propagation s'effectue perpendiculairement à sa direction de propagation.



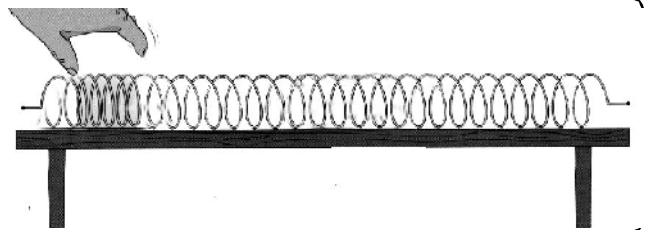
Exemple.

On observe une vague en coupe. Le bateau subit la perturbation et, finalement ne s'est pas déplacé par rapport à la surface de l'eau.

1.2. PROPAGATION D'UNE PERTURBATION LONGITUDINALE.

Dispositif.

Tendre un ressort sur une table horizontale.
Avec la main, comprimer quelques spires à l'une des extrémités.
Lâcher et observer l'aspect du ressort.



Observation.

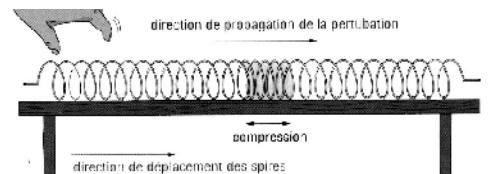
La perturbation se propage le long du ressort, d'une extrémité à l'autre sans transport de matière.

Interprétation.

Une onde mécanique a été transmise le long du ressort.

Le milieu de propagation est unidimensionnel, la direction de propagation est l'axe du ressort.

Une spire du ressort se déplace parallèlement à l'axe du ressort avant de revenir à sa position d'équilibre. On dit que l'onde est longitudinale.

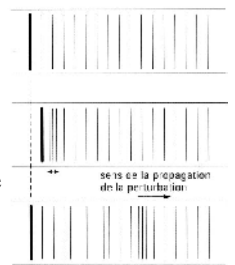


Définition.

Une onde mécanique est longitudinale lorsque le déplacement des points du milieu de propagation s'effectue parallèlement à sa direction de propagation.

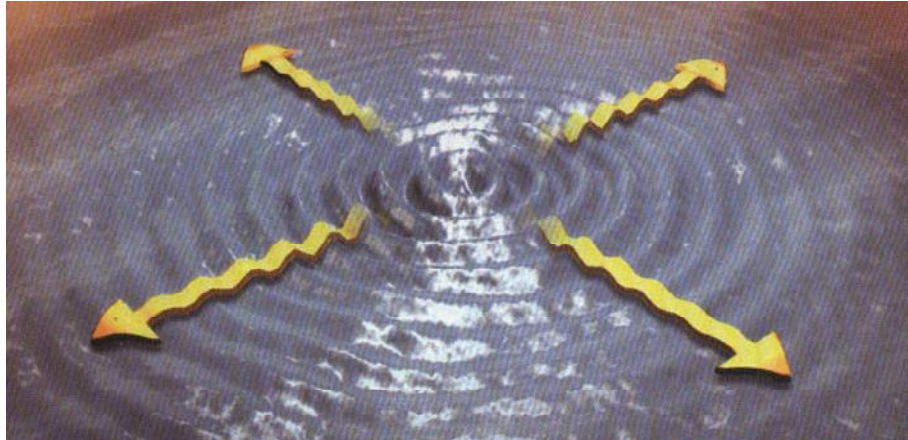
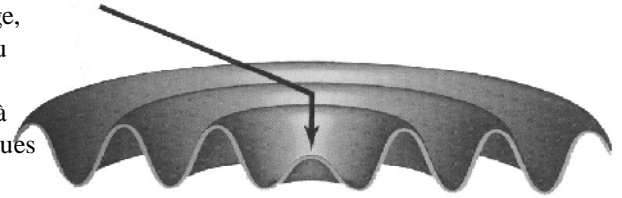
Exemple.

Une onde sonore est une onde longitudinale: une couche d'air subit un petit déplacement qui se transmet progressivement aux couches voisines car les couches «se poussent» les unes des autres dans la direction de propagation. Ce déplacement des couches d'air s'accompagne d'une variation locale de la pression et une zone de compression de l'air se déplace dans le milieu. A cette compression succède une dilatation et c'est une zone de compression-dilatation qui se propage.

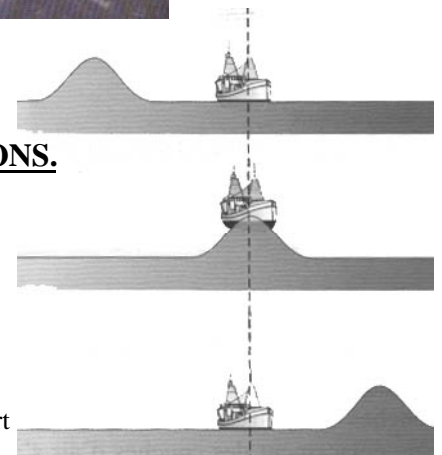


2. PROPAGATION D'UNE PERTURBATION DANS UN MILIEU A DEUX DIMENSIONS.

Lorsqu'on jette une pierre dans l'eau d'un étang, une perturbation se propage, à partir du point de chute, sous forme d'une ride circulaire. Son rayon croît au fur et à mesure que la perturbation s'éloigne du point-source. Le milieu de propagation de la perturbation est le plan d'eau: c'est un milieu à deux dimensions. Une perturbation se propage dans toutes les directions issues du point-source S et contenue dans le plan d'eau.



Si l'on place un bateau (ou un bouchon) sur le trajet de l'onde, on constate qu'il subit la perturbation et, après le passage de l'onde, se retrouve dans sa position initiale. On dit que l'onde se propage sans transport de matière.



3. PROPAGATION D'UN SON DANS UN MILIEU A TROIS DIMENSIONS.

Quand on produit un bruit, celui-ci se propage, à partir du point-source S, dans toutes les directions de l'espace. Une perturbation de nature sonore se propage dans un milieu à trois dimensions.

4. DEFINITIONS.

4.1. DEFINITION D'UNE ONDE MECANIQUE

Dans tous les exemples précédents, un point du milieu matériel atteint par la perturbation subit un déplacement et revient à sa position initiale. La perturbation se propage donc sans transport de matière.

On appelle onde mécanique le phénomène de propagation d'une perturbation dans un milieu matériel sans transport de matière, mais avec transport d'énergie.

On utilise l'expression onde progressive pour bien marquer le fait que la perturbation progresse dans un milieu élastique.

4.2. CELERITE D'UNE ONDE.

La propagation d'une perturbation dans un milieu s'effectue avec une certaine «vitesse». Mais, puisque la propagation s'effectue sans transport de matière, on préfère utiliser le mot célérité.

La célérité V d'une onde est le rapport entre la distance d parcourue par l'onde et la durée Δt du parcours.

$$V = \frac{d}{\Delta t} = \frac{M_1 M_2}{t_2 - t_1}$$

Les célérités d'une onde le long d'une corde élastique ou à la surface de l'eau peuvent aller de 1 m.s^{-1} à quelques dizaines de m.s^{-1} .

Remarque.

Il convient de bien distinguer la célérité de l'onde, de la vitesse d'un point du milieu au passage de l'onde.

Propriétés

Des expériences élaborées confirment que la célérité dépend:

matériau	air	hélium	hydrogène	eau	glycérine	cuivre	brique	bois	acier	aluminium	granit
célérité (en m.s^{-1})	340	970	1 230	1 500	2 000	3 600	3 700	3 800	5 000	5 100	6 000

● **du type d'ondes:** Dans l'eau, les ondes de surface bidimensionnelles et transversales ne se propagent pas à la même vitesse que les ondes acoustiques longitudinales et tridimensionnelles se propageant dans tout le volume du liquide.

● **du milieu de propagation:** Tant que l'amplitude du signal reste faible, la célérité est indépendante de la forme et de l'amplitude du signal. La célérité est caractéristique du milieu qui est dit alors linéaire.

Par exemple, la célérité du son dans l'air, à 15°C et sous la pression de $1,0 \text{ bar}$ est voisine de 340 m.s^{-1} . Cette célérité est:

- est différente dans un autre milieu de propagation (voir tableau)
- dans l'air augmente lorsque la température croît. Ainsi dans l'air à 0°C , la célérité du son est de 331 m.s^{-1} .

Autre exemple, la célérité d'une onde le long d'une corde dépend de la masse linéique et de la tension de la corde.

L'OMBRE DU TSUNAMI.

Pourra-t-on enfin prévoir l'arrivée des tsunamis ? Ces vagues immenses - certaines atteignent 30 mètres de haut - sont provoquées par des tremblements de terre sous-marins. Elles déferlent sans crier gare sur les côtes en provoquant des dégâts considérables. Un chercheur américain estime pouvoir anticiper leur arrivée de quelques minutes, quelques heures au maximum. En effet, si l'immense vague qui se propage à 800 km/h sous l'eau est difficilement détectable, elle crée en revanche une ombre en surface qui pourrait être repérée depuis un satellite. En effet, au moment du passage de la lame, l'océan vu du ciel ne se comporterait plus comme un miroir lisse reflétant la lumière du soleil. Sa surface serait au contraire agitée par un courant d'air rapide créé par la vague. Et les remous, en brouillant la surface de l'eau, diminueraient la réflexion des rayons du soleil. D'où cette légère ombre, qui trahirait l'avancée sous-marine de la vague meurtrière.

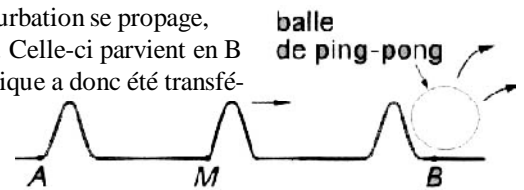


5. PROPRIETES GENERALES DES ONDES.

● Une onde se propage dans toutes les directions qui lui sont offertes.

● Une onde réalise un transfert d'énergie mécanique sans transport de matière:

Pour produire la perturbation en A, il faut fournir de l'énergie mécanique. La perturbation se propage, chaque point de la corde revenant à sa position initiale après le passage de l'onde. Celle-ci parvient en B où elle projette un corps léger comme une balle de ping-pong: de l'énergie mécanique a donc été transférée de A à B, sans transport de matière.



Remarque:

De l'énergie est transférée de A à B mais il n'y a pas conservation de l'énergie lors du trajet AB. A cause de frottements divers, l'énergie transportée diminue; cela se traduit par une diminution de l'amplitude au cours de la progression d'onde. Par la suite, on supposera que la propagation a lieu sans amortissement.

● La célérité d'une onde est une propriété du milieu de propagation.

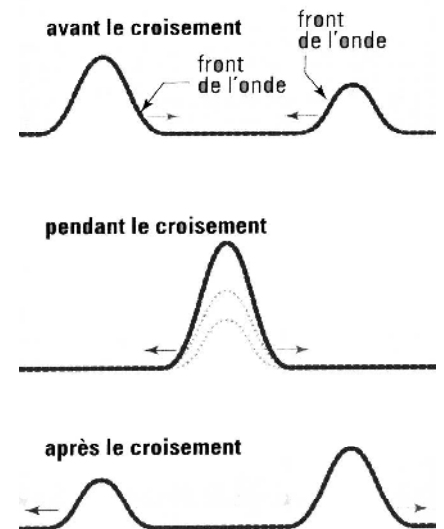
● Croisement de deux ondes

Il est possible d'avoir des « conversations croisées » entre plusieurs personnes: les ondes sonores émises par l'un des interlocuteurs ne sont pas affectées, lorsqu'elles se croisent, par les ondes sonores émises par les autres.

De même si nous jetons, simultanément, mais en des points distincts, deux pierres dans un étang, les ondes produites à la surface de l'eau se superposent, puis s'éloignent, tout en restant circulaires et centrées sur leurs sources respectives.

Sur le document ci-contre, deux ébranlements le long d'une corde se propagent en sens inverse. Les deux ondes additionnent leurs effets lorsqu'elles se croisent: on dit qu'elles interfèrent. Elles ajoutent algébriquement leurs effets.

Après leur croisement, les perturbations ne sont pas altérées et continuent leur progression en conservant leur forme. Elles peuvent donc se croiser sans se perturber.



4. ONDES PROGRESSIVES A UNE DIMENSION.

Considérons la propagation d'une onde le long d'une corde (milieu à une dimension). On produit une perturbation au point S (source) qui se propage le long de la corde, parvient en M puis en M'. La perturbation en S étant connue, est-il possible de connaître la perturbation produite en M ou en M' ?

4.1. REPRESENTATION SPATIALE DE LA PERTURBATION.

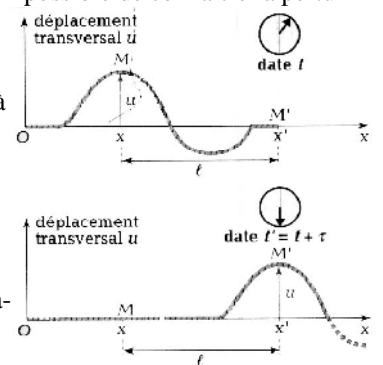
Un point M de la corde est repéré par son abscisse x. Ce point subit un déplacement transversal u à un instant t donné.

Le doc ci-contre représente les différentes valeurs du déplacement transversal u en fonction de la position x aux dates t et t = t + τ.

On suppose que la perturbation se propage sans amortissement.

Tout point du milieu reproduit la perturbation de la source S mais avec un retard: en effet, la perturbation met une certaine durée pour progresser de S à M.

Le retard τ est la durée mise après la perturbation pour aller de S à M. $\tau = \frac{SM}{c}$



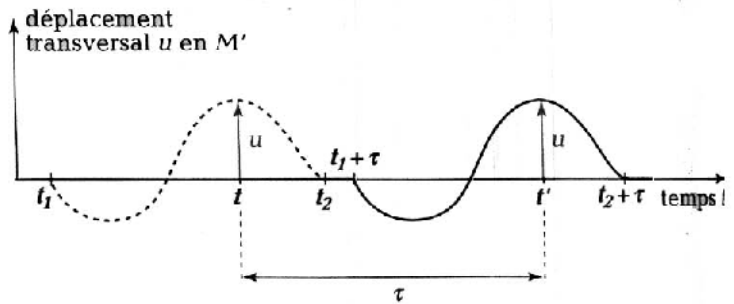
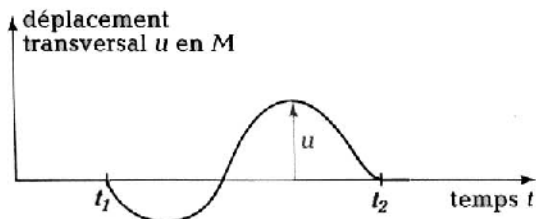
Dans une onde mécanique, tout point du milieu subit la même perturbation que la source avec un retard τ

La représentation de la corde à la date t' = t + τ se déduit de celle à la date t par une translation M'M parallèle à l'axe des abscisses. avec $M'M = c \tau$

$$\tau = \frac{M'M}{c}$$

4.2. REPRESENTATION TEMPORELLE DE LA PERTURBATION.

Représentons le déplacement transversal u au point M et au point M' en fonction du temps t .



De la même façon, lorsque la perturbation atteint un point M à l'instant t puis un point M' à l'instant t' , on peut dire que M' reproduit le mouvement de M avec un retard $\tau = t' - t$.

Le déplacement au point M' se déduit de celui du point M par une translation τ parallèlement à l'axe des temps avec $M'M$

$$\tau = \frac{c}{c}$$

4.3. CONCLUSION.

Une perturbation dépend donc à la fois de la position x du point soumis à l'onde et de la date t .

Déferlement de vagues scélérates.

Les vagues scélérates - ces murs d'eau de plusieurs dizaines de mètres de haut - seraient-elles responsables du naufrage de 200 supertankers et porte-conteneurs au cours des deux dernières décennies.

Pour déterminer l'occurrence réelle de ces monstres marins, l'Union européenne a initié en décembre 2000 le projet Max Wave. Celui-ci s'appuie sur les données radar des satellites européens ERS-1 et 2. L'agence spatiale européenne a fourni aux chercheurs 30 000 enregistrements de zones de 10 kilomètres sur 5, représentant trois semaines d'acquisition de données. Un court laps de temps, au cours duquel l'équipe a tout de même repéré une dizaine de vagues de plus de 25 mètres de haut autour du globe ! La prochaine étape de ce recensement consiste à établir un atlas des vagues scélérates à partir de deux ans de données d'ERS - projet appelé WaveAtlas. Parallèlement, les chercheurs plaident pour l'installation d'une "boîte noire" sur les bateaux, de manière à comprendre les causes d'un éventuel naufrage.

Sciences et Avenir Septembre 2004

Le ballon qui fait boum

Lorsqu'un ballon de caoutchouc explose, la vitesse de progression de sa déchirure dépasse celle du son dans le matériau.

Cette observation, fait apr une équipe américaine, contredit la théorie en vigueur. Normalement, toutes les ondes ultra sonores émises lors de la déchirure d'un objet (ondes longitudinales les plus rapides, et ondes latérales, celle qui font osciller le matériau) se propagent plus vite que la déchirure elle-même. C'est le cas pour une faille lors d'un séisme.

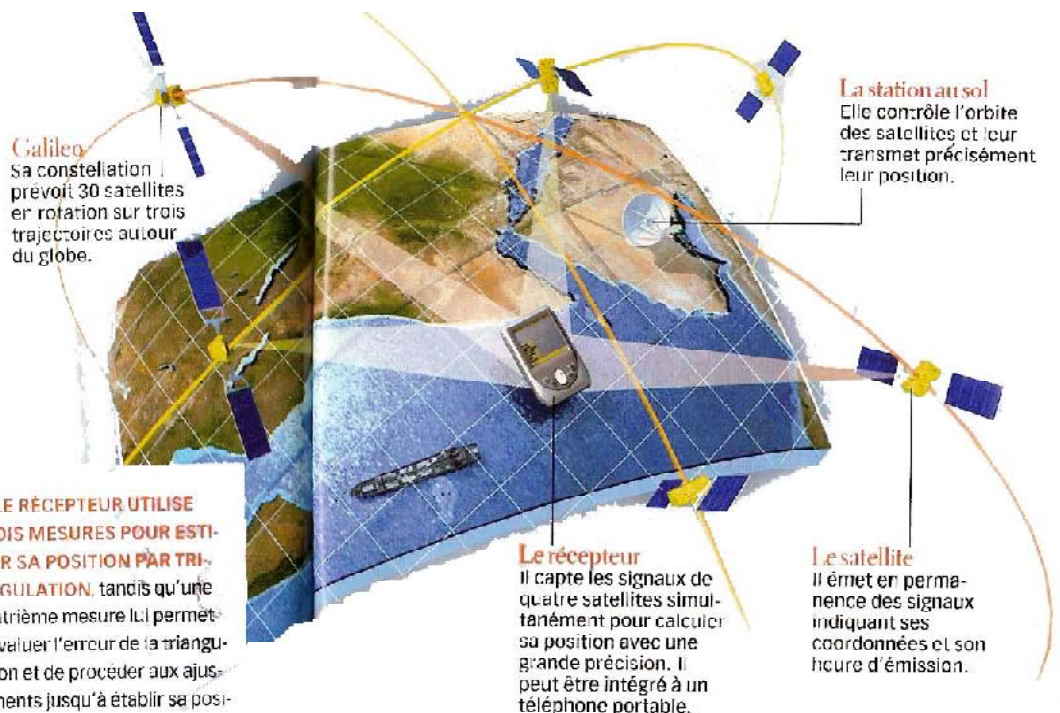
Or, grâce à une caméra ultrarapide, les chercheurs se sont aperçus que la vitesse de déchirure d'un ballon, si elle restait inférieure à celle des ondes longitudinales, dépassait celle des ondes latérales. Selon eux, la même transgression pourrait être obtenue avec d'autres matériaux caoutchouteux.

Sciences et Avenir Septembre 2004

Il permet de localiser sur Terre tout endroit où se trouve un récepteur ad hoc :

- 1/ TOUT COMMENCE AVEC UNE CONSTELLATION DE SATELLITES** (30 pour Galileo) tournant autour de la Terre à 20 000 km d'altitude : ils émettent en permanence des signaux indiquant leur identité, leurs coordonnées dans l'espace et l'heure d'émission. Ils sont positionnés pour qu'à tout moment et en tout point du globe, quatre d'entre eux soient simultanément disponibles.
- 2/ AU SOL, UN RÉCEPTEUR, CALCULE LA DISTANCE** qui le sépare, à un instant "t", de quatre satellites en mesurant la différence entre les heures d'émission et celles de réception des signaux - sachant que les ondes parcourent leur chemin vers la Terre à la vitesse de 300 000 km/s.

- 3/ LE RÉCEPTEUR UTILISE TROIS MESURES POUR ESTIMER SA POSITION PAR TRIANGULATION**, tandis qu'une quatrième mesure lui permet d'évaluer l'erreur de la triangulation et de procéder aux ajustements jusqu'à établir sa position exacte.



Galileo
Sa constellation prévoit 30 satellites en rotation sur trois trajectoires autour du globe.

La station au sol
Elle contrôle l'orbite des satellites et leur transmet précisément leur position.

Le récepteur
Il capte les signaux de quatre satellites simultanément pour calculer sa position avec une grande précision. Il peut être intégré à un téléphone portable.

Le satellite
Il émet en permanence des signaux indiquant ses coordonnées et son heure d'émission.