

Ondes dans la matière

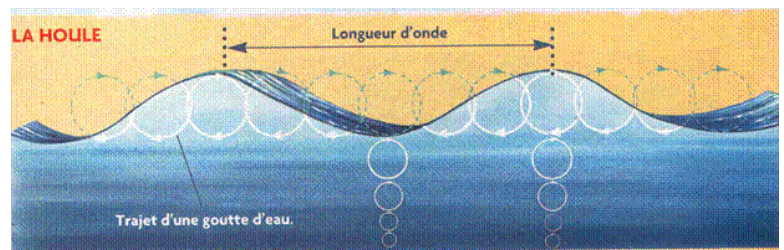
1- Ondes mécaniques

Une onde mécanique est la propagation d'une perturbation dans un milieu matériel (solide, liquide ou gaz).

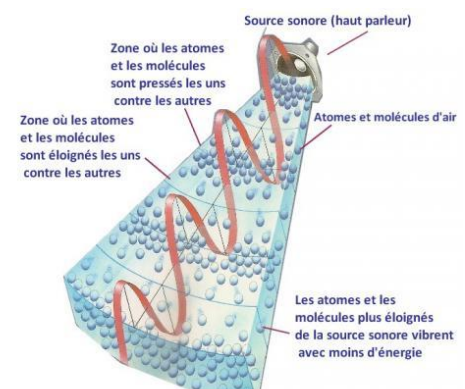
1-1- Modification du milieu matériel

Une onde mécanique modifie localement et temporairement les propriétés mécaniques (vitesse, position, pression, ...) du milieu matériel.

La houle est une onde résultant de la propagation des vagues hors de leur aire de génération. Comme dans toute onde mécanique, il n'y a pas transport d'eau, mais propagation du mouvement d'oscillation verticale de cette eau. En fait, les gouttes d'eau décrivent un mouvement circulaire dont le diamètre est égal à la hauteur de l'onde.



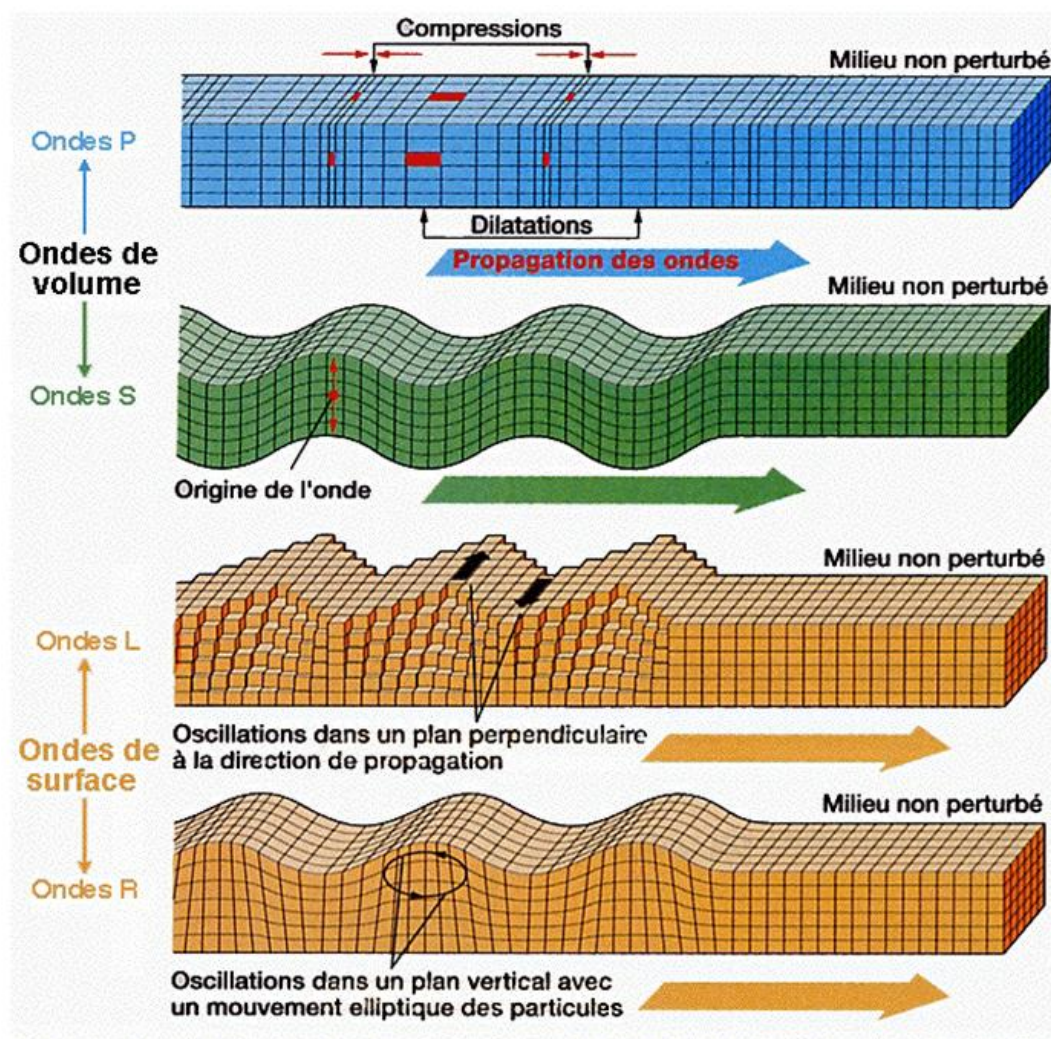
Les ondes sonores se propagent dans les trois dimensions, mais à condition qu'elles soient en présence de matière (solide, liquide ou gaz). Ces ondes sonores font vibrer les molécules d'air présentes près de la source sonore, et transmettent leur mouvement à leurs voisins lorsqu'elles se heurtent, qui elles-mêmes transmettent à leur tour le mouvement et ainsi de suite. Cela provoque des zones de compressions et de décompressions.



A l'intérieur de la matière, on distingue deux types d'onde:

- Les ondes de compression-dilatation, ou plus simplement des ondes de compression qui provoquent un déplacement local des éléments du milieu (solide, liquide ou gazeux) dans leur direction de propagation.
- Les ondes de cisaillement, qui se propagent que dans des milieux solides ou en provoquant un déplacement des éléments du milieu perpendiculairement à leur direction de propagation.

Les ondes peuvent être guidées le long de l'interface entre deux milieux. Ces ondes dites ondes de surface, combinent à la fois les caractéristiques des ondes de compression dilatation et des ondes de cisaillement.



Les ondes sonores et les ondes sismiques de type P (ondes Primaires) sont des ondes de compression.

Les ondes sismiques de type S (ondes Secondaires) sont des ondes de cisaillement.

La houle et les ondes sismiques de type L (Ondes de Love) ou de type R (onde de Rayleigh) sont des ondes de surface.

1-2- Transfert d'énergie sans transport de matière

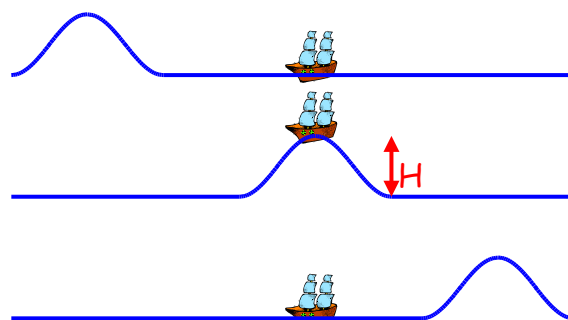
Lors de la propagation d'une perturbation, la modification locale et temporelle des propriétés mécaniques du milieu matériel engendre des variations d'énergies cinétique et potentielle du milieu.

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

Au passage de la houle ou d'une vague, un bateau s'élève d'une hauteur H et voit donc son énergie potentielle de pesanteur augmenter de $\Delta E_p = m \cdot g \cdot H$.

Cette énergie lui a été fournie par la vague, mais le bateau est resté à la même abscisse.

Il y a transport d'énergie mais pas de transport de matière.



Remarque: Lorsque la perturbation est de courte durée on parle parfois de signal.

Une onde se propage, à partir de la source, dans toutes les directions qui lui sont offertes.

A cause des frottements existant lors du passage de la perturbation dans le milieu matériel, une partie de l'énergie transportée est perdue (elle se transforme en chaleur). On dit qu'il y a amortissement du signal.

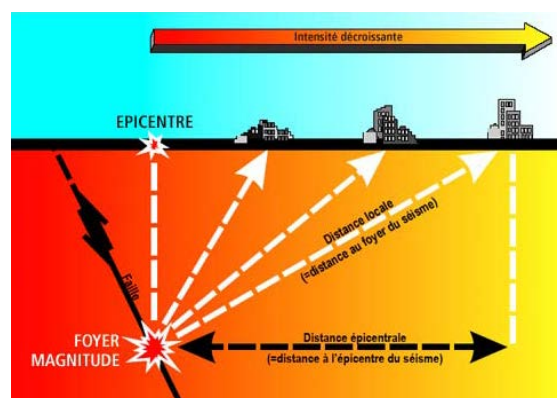
2- Emission et détection des ondes

2-1- Sources et dispositifs de détection des ondes mécaniques

Pour qu'une perturbation prenne naissance dans une région, appelée source, d'un milieu matériel, il est nécessaire qu'il y ait un apport d'énergie. L'émetteur apporte l'énergie nécessaire à la création de cette perturbation.

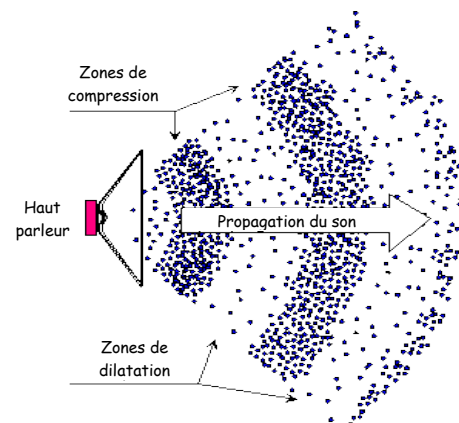
Les vibrations du sol à l'origine des tremblements de terre se déplacent et peuvent être enregistrés. Elles résultent d'une rupture des roches en profondeur. Soumises à des contraintes (forces de compression et d'écartement) permanentes, les roches finissent par céder et la masse rocheuse se casse.

Cette rupture entraîne la naissance de vibrations (onde sismique) qui se propagent dans toutes les directions. Arrivées en surface, elles provoquent des mouvements du sol, responsables des dégâts. Le lieu où se produit la rupture est le foyer du séisme. L'énergie libérée lors de la rupture est plus ou moins importante. Elle est évaluée sur l'échelle de Richter et correspond à la magnitude.



La membrane d'un haut-parleur comprime et dilate la couche d'air avec laquelle elle est en contact pour créer une onde sonore.

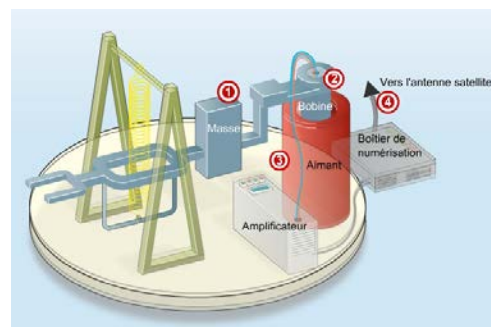
Les molécules de gaz proches de la membrane sont projetées par celle-ci. Ces molécules s'entrechoquent avec les molécules voisines. La zone de pression se déplace. Après le "choc" les molécules reprennent leur position initiale.



La détection d'une onde mécanique met en œuvre un capteur qui transforme une des grandeurs physiques du milieu modifiée par le passage de la perturbation en une grandeur facile à exploiter.

L'énergie mécanique transportée par l'onde est le plus souvent transformée en énergie électrique.

Dans un sismomètre, des capteurs électromécaniques transforment les déplacements du sol en signaux électriques. Une masse assez lourde ① est fixée sur un bras suspendu par un ressort au-dessus d'un bâti solide du sol. A l'autre extrémité du bras, une bobine conductrice ② est plongée dans un aimant ③ qui repose sur un bâti. Un boîtier électronique de numérisation ④ enregistre le signal.



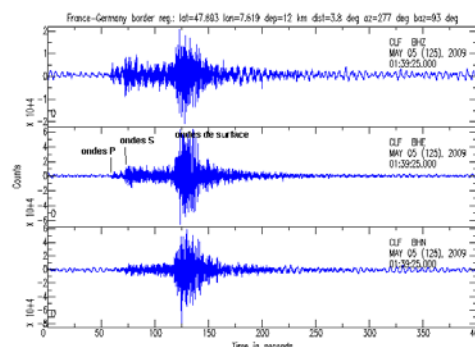
Dans notre oreille, la transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique est réalisée grâce aux cellules ciliées de la cochlée.



2-2- Exploitation des informations transmises par les ondes

Les données, le plus souvent électriques, récupérées à la sortie des systèmes de détection permettent l'exploitation des informations transmises, sans transport de matière, par les ondes mécaniques.

Les données sismiques, recueillies dans les stations sismiques distribuées sur toute la surface de la Terre, permettent d'accéder à de nombreuses informations sur le trajet parcouru par les différents types d'ondes, la nature des terrains traversés, la localisation et la magnitude du séisme.



La magnitude est une grandeur qui permet de comparer sur une échelle logarithmique l'énergie libérée par les séismes. L'échelle la plus utilisée de nos jours est "l'échelle de Richter".

La formule utilise le logarithme décimal:

$$ML = \text{Log}A - \text{Log}A_0 = \text{Log} \frac{A}{A_0}$$

où A représente l'amplitude maximale relevée par le sismographe et A_0 une amplitude de référence.

Cela signifie que les ondes sismiques d'un séisme de magnitude 6 ont une amplitude dix fois plus grande que celles d'un séisme de magnitude 5.

L'échelle de Mercalli est une échelle subjective de classification des séismes, fondée sur l'étendue des dégâts observés.

ÉCHELLE D'INTENSITÉ DE MERCALLI	MAGNITUDE À L'ÉCHELLE RICHTER
I Séisme perçu uniquement par quelques personnes dans des circonstances particulières; détecté seulement par des instruments très sensibles.	2
II Perçu par quelques personnes au repos et se trouvant aux étages supérieurs; balancement d'objets suspendus.	3
III Perçu principalement par des personnes à l'intérieur des édifices. Les automobiles stationnées peuvent bouger.	
IV Perçu par la plupart des gens à l'intérieur des édifices et par certains à l'extérieur; suffisant pour réveiller certaines personnes. Bruits de vaisselle, fenêtres et portes.	4
V Perçu par presque tout le monde; plusieurs personnes sont réveillées. Bris de vaisselle et de fenêtres; les objets instables sont renversés.	5
VI Perçu par tout le monde; plusieurs personnes sont effrayées et courent à l'extérieur; quelques meubles sont déplacés; quelques morceaux de plâtre tombent et quelques dommages aux cheminées. Dommages légers.	
VII La plupart des gens paniquent et courent à l'extérieur; dommages minimes aux constructions conçues pour les zones sismiques, de minimes à moyens chez les bonnes constructions ordinaires, importants chez les mauvaises constructions. Meubles renversés.	6
VIII Dommages légers aux constructions conçues pour les zones sismiques, importants chez les bonnes constructions ordinaires avec des effondrements possibles, catastrophiques chez les mauvaises constructions.	7
IX Dommages considérables aux constructions conçues pour les zones sismiques. Edifices déplacés sur leurs fondations. Fissuration du sol. Bris des canalisations souterraines.	
X Quelques bonnes constructions en bois et la plupart des constructions en maçonnerie sont détruites. Sol fortement fissuré. Plusieurs glissements de terrain se produisent.	8
XI Très peu de constructions en maçonnerie restent debout; rails tordus; ponts détruits. Grandes fissures dans le sol.	9
XII Destruction quasi totale. Ondulations visibles à la surface du sol. Objets projetés dans les airs.	

Lors d'un examen échographique, la sonde émet des ondes ultrasonores à l'aide de matériaux piézoélectriques, puis détecte les ondes réfléchies aux interfaces des différents tissus rencontrés. Le traitement numérique des données ainsi recueillies permet la reconstitution d'une image 2D ou 3D.

Les ultrasons utilisés lors des échographies en 3D (commerciales la plupart du temps) ont des effets négatifs sur le fœtus:

- Un effet physique et mécanique: l'exposition longue des organes fragiles comme les yeux et le cerveau sont dangereuses pour les tissus. Les effets sur le développement du fœtus dépendent de la durée de fréquence et de la puissance de l'exposition aux ultrasons.
- Un effet thermique: une exposition prolongée aux ultrasons peut augmenter la température du fœtus de 4°C, ce qui peut être délétère pour son cerveau. Si la température du corps de la maman est à 38°C on arrive vite à 41°C, le bébé peut alors convulser.



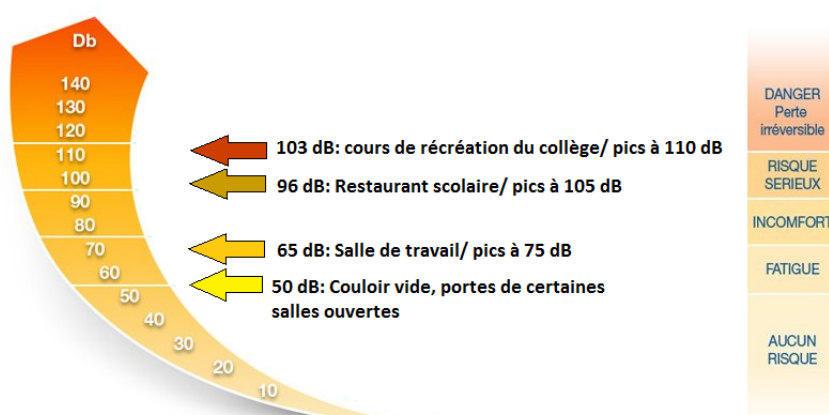
Il faut réserver toutes les échographies à ce qui est nécessaire, il est inutile d'exposer le fœtus relativement fragile à un faisceau d'ultrasons incontrôlé.

3- Le niveau d'intensité sonore

3-1- L'intensité sonore

L'intensité sonore I est l'énergie transportée par une onde sonore par unité de temps et de surface. Elle s'exprime en watt par mètre carré (W.m^{-2}).

La gamme d'intensités sonores que peut percevoir l'oreille humaine étant extrêmement étendue, on introduit le niveau d'intensité sonore qui permet de comparer, sur une échelle logarithmique, l'intensité d'un son à une intensité sonore.



Pression en Pa	Intensité en W/m ²	Niveau en dB	Nature des bruits	Impressions subjectives	Conversation
200	10 ²	140	Turboréacteur au banc diéssai. Sortie de la tuyère.	Destruction de l'oreille	Impossible
63,5	10 ¹	130	Marteau pilon.	Seuil de douleur	
20	10 ⁰ =1	120	Coups de marteau sur acier.	Bruit supportable un court instant	
6,35	10 ⁻¹	110	Atelier de chaudronnerie.		
2	10 ⁻²	100	Scie à bois à 1 m. Marteau pneumatique à 3 m.	Bruit très pénible	En criant
0,635	10 ⁻³	90	Forge.		
0,2	10 ⁻⁴	80	Atelier de tournage. Circulation intense à 10 m.	Bruit supportable mais forts	A voix forte
0,0635	10 ⁻⁵	70	Conversation à 1 m. Trafic moyen à 30 m.		
0,02	10 ⁻⁶	60	Compartiment confortable de chemin de fer.	Bruit courant	A voix normale
0,00635	10 ⁻⁷	50	Appartement donnant sur rue active fenêtres ouvertes.		
0,002	10 ⁻⁸	40	Bureau tranquille.	Calme	A voix chuchotée
0,000635	10 ⁻⁹	30	Jardin calme.	Très calme	
0,0002	10 ⁻¹⁰	20	Studio d'enregistrement.		
0,0000635	10 ⁻¹¹	10	Laboratoire acoustique.	Silence anormal	
0,00002	10 ⁻¹²	0	Seuil d'audibilité.		

3-2- Le niveau d'intensité sonore

L'intensité de référence est, par convention, le seuil d'audibilité moyenne de l'oreille humaine à 1kHz:

$$I_0 = 1,0 \cdot 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$$

Le niveau d'intensité sonore L (exprimé en décibel - dB) d'un son d'intensité I est donné par la relation:

$$L = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0}$$

Le niveau d'intensité sonore peut être mesuré à l'aide d'un sonomètre.

Le seuil d'audibilité correspond à un niveau d'intensité sonore de 0dB.

Lorsque l'intensité sonore est multipliée par deux, le niveau d'intensité sonore n'augmente que de 3dB.

