

Un peu de Science pour comprendre le monde moderne

Les ondes et nous

Bernard Remaud

bernard.remaud@univ-nantes.fr
<https://www.un-peu-de-physique.fr>



La chaîne YouTube



Le blog

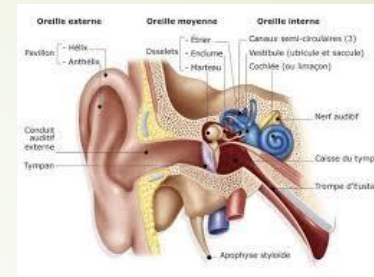
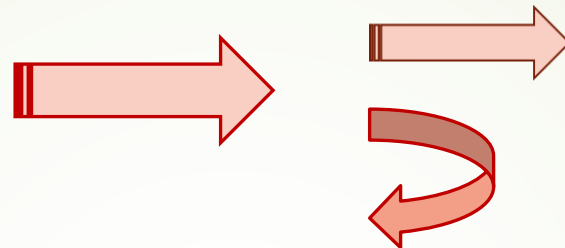
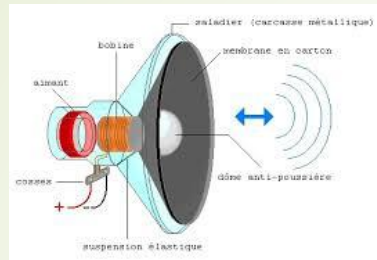
Ch -3-

Les ondes matérielles –
le son

1

Les ondes sonores

2

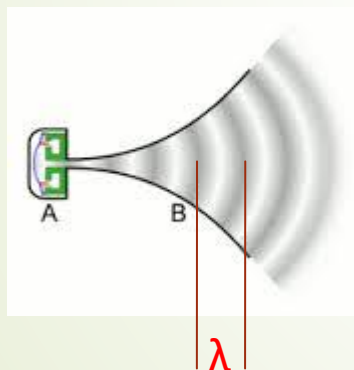


Milieu : gaz, liquide ou solide

Emission →

Transmission avec amortissement/réflexion

→ Réception

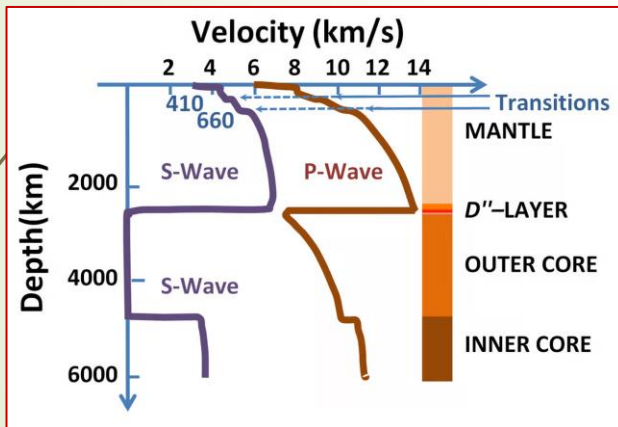


Ce sont des ondes de pression longitudinales (vibrations dans le sens de la propagation)

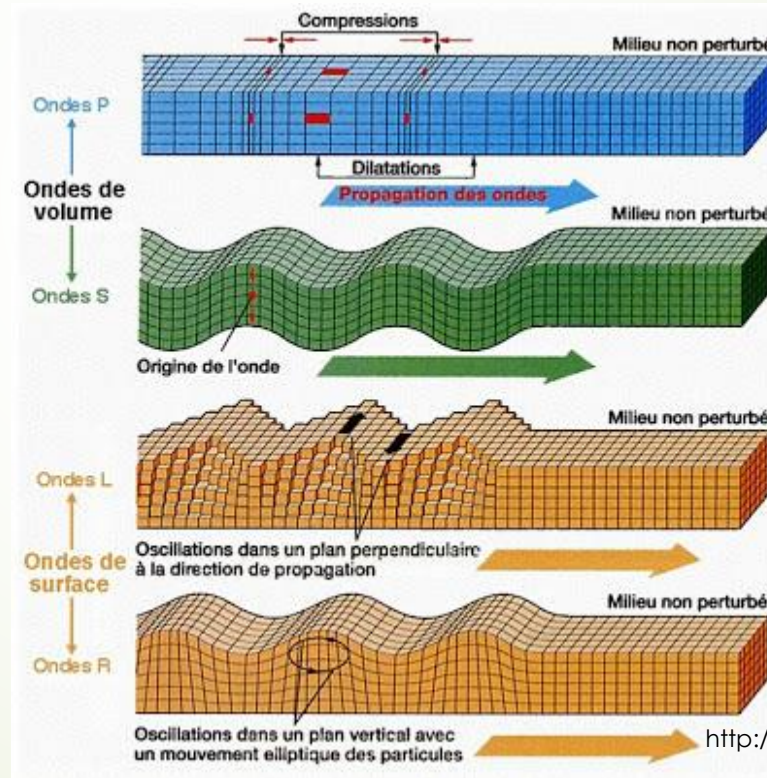
Les ondes mécaniques (sonores): un support matériel (solide, liquide ou gazeux)

- Longitudinales/Transversales
- De surface/ de volume

Tremblements de Terre



<https://www.futura-sciences.com/planete>



Son dans l'air ou l'eau
Tremblement de terre

Tremblement de terre

Tremblement de terre

Houle sur la mer

<http://slideplayer.fr/>

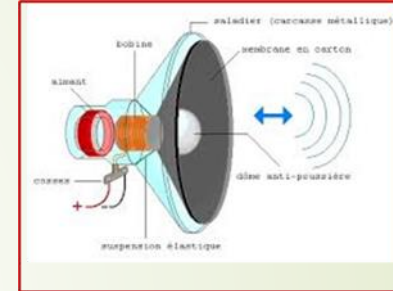
Emission : énergie mécanique → ondes mécaniques



Emission désordonnée
Toutes les fréquences sont émises de manière **incohérente**
(Bruit blanc)



Emission ordonnée
Quelques fréquences sont émises de manière **sélective**



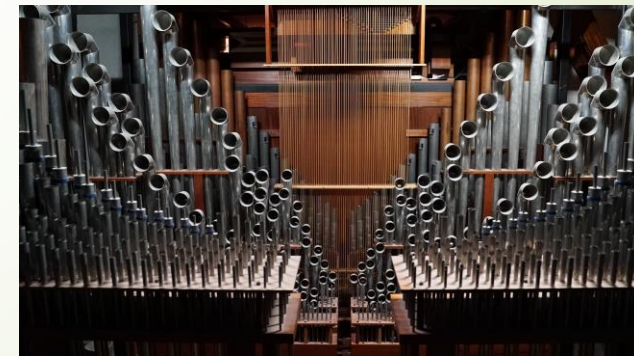
Fréquences (longueurs d'onde) émises en fonction de la taille de l'émetteur



Comprendre le monde ... Les ondes et nous



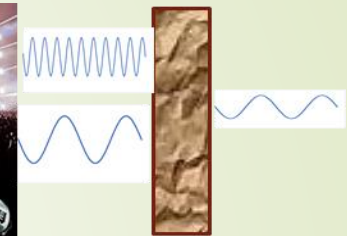
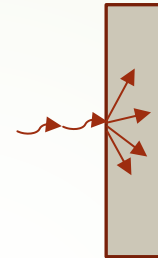
Contrebasse si bemol grave.



Réception : ondes mécaniques → chaleur ou autre

Toutes les fréquences sont absorbées :
les ondes sont transformées **en chaleur**

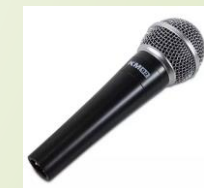
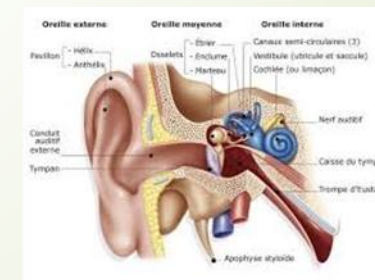
Désordonnée



Réception
Absorption

Les ondes peuvent être transformées en une autre
forme d'énergie (**mécanique, puis électrique**)

Ordonnée (résonante)



Puissance acoustique

Caractérise la source : l'énergie sonore totale émise par une source acoustique par unité de temps (en watt)

Pratiquement, on part d'un niveau de référence ($W_0 = 1pW = 10^{-9} W$) et on exprime en décibels

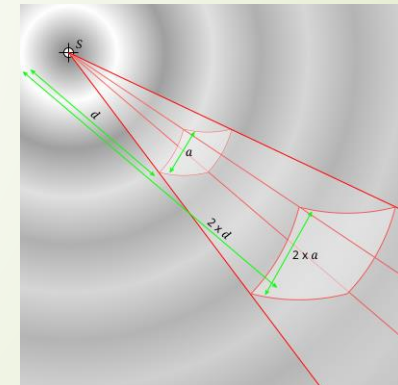
$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_0} (db)$$

Appareils ménagers : $50 db \rightarrow 10^{-4} W$
 Tondeuse à gazon électrique $90 db \rightarrow 1 W$
 Fusée (Saturn V) au décollage $205 db \rightarrow 3,5 \cdot 10^8 W$

Intensité acoustique (W/m^2)

Caractérise la puissance en fonction de la distance à la source : elle diminue comme le carré de la distance à la source

APPAREIL	PUISSANCE ACOUSTIQUE
Lave-vaisselle	< 53 dB pour les modèles « indépendants » < 50 dB pour les modèles encastrables
Lave-linge	≤ 56 dB pendant le lavage ≤ 76 dB pendant l'essorage (mesures selon la norme EN 60456:1999 sur la base du cycle normalisé « coton 60°C » retenu par la directive 95/12/CE)
Réfrigérateur	< 42 dB
Aspirateur	≤ 76 dB



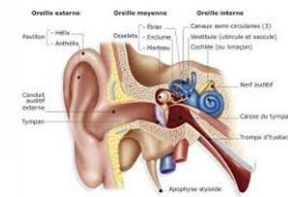
Wikipédia - Intensité acoustique

Puissance et intensité acoustiques : données physiques.
Effets à la réception, effets sur la santé → Pression acoustique

Pression acoustique liée l'intensité acoustique
La pression, mesurée en P (ascal),

$$p_{eff} = \sqrt{\rho V * \frac{P_{watt}}{S_{m^2}}}$$

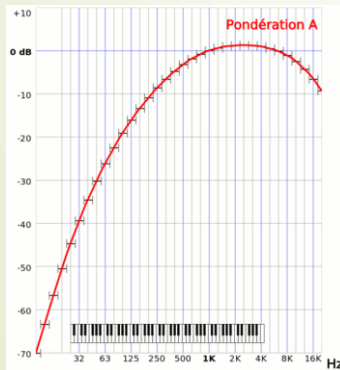
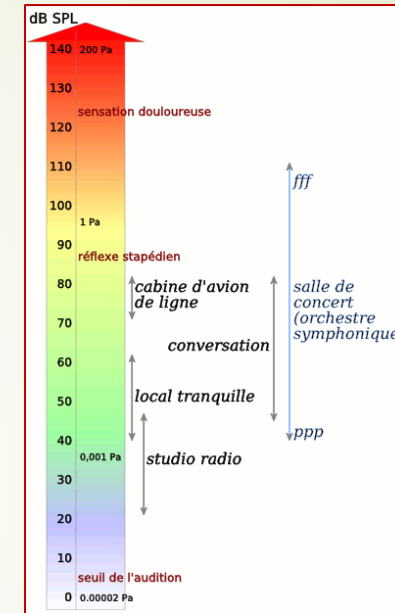
densité
vitesse
Intensité



On préfère utiliser l'échelle en décibel, à partir d'une pression de référence $p_{ref} = 20 \mu P = 2 \cdot 10^{-5} P$

$$L_p = 10 \log \frac{p_{eff}}{p_{ref}} \text{ (db - SPL)}$$

wikipédia – Pression acoustique



Impressions sonores : la sensibilité de l'oreille dépend de la fréquence. Les **dbA** (utilisés pour la réglementation) incluent cette correction.

Les sons inaudibles peuvent avoir des effets dus à la pression acoustique → **les infrasons**

Des ondes lentes (<6 km/s):

- Le son: onde compression, en première approximation, plus le milieu est « rigide » plus la vitesse est rapide

Phase du milieu	Nature du milieu	Vitesse du son (m/s)
Gazeux	Dioxyde de Carbone (CO ₂)	260
	Oxygène	320
	Air	330
	Helium	930
	Hydrogène	1 270
Liquide	Mercure	1 450
	Eau douce	1 460
	Eau de mer	1 520
Solide	Bois de pin	3 320
	Acier	5 000
	Verre	5 500
	Granite	5 950

Son dans les gaz et fluides

$$V_s \propto \sqrt{\frac{1}{\chi \rho}}$$

Compressibilité (red arrow) Densité (blue arrow)

Son dans les solides

$$V_s \propto \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Rigidité (module d'Young) (red arrow) Densité (blue arrow)

De fréquences allant de 1 Hz à plusieurs Mhz

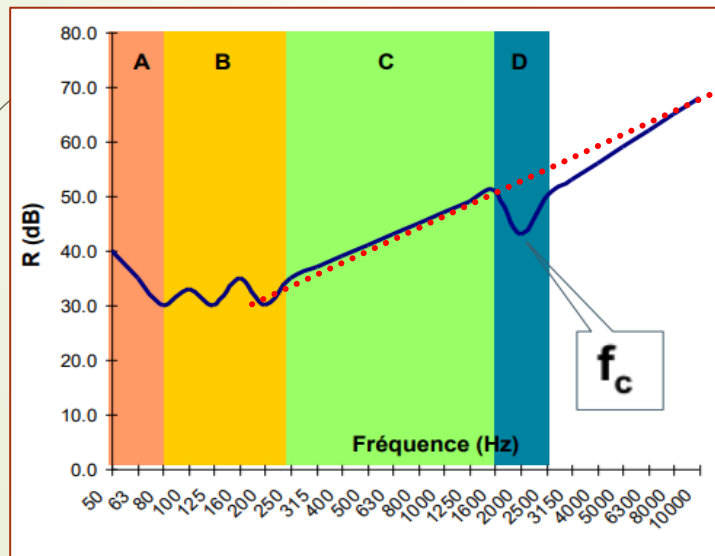
- Limitées par l'inertie des molécules qui oscillent
- Plus la fréquence est haute plus le parcours est faible

Type de sons			Fréquences
Infra Sons	Secousses sismiques		Quelques Hz
Sons audibles	Voix parlée (fréquence fondamentale)	Homme	100 - 150 Hz
		Femme	200 - 300 Hz
		Enfant	300 - 450 Hz
	Instruments	Trompette	190 - 990 Hz
		Violon	200 – 2 650 Hz
		Clarinette	75 – 1 800 Hz
		Piano	27 – 4 150 Hz
Orgue	16 – 16 000 Hz		
Ultrasons	Chauve-souris	Orientation	20 000 – 120 000 Hz
		Communication	250 – 50 000 Hz
	Dauphins	Orientation	40 000 – 150 000 Hz
		Echographie	Profonde
			Superficielle (peau)

Les ondes sonores sont amorties (absorbées) dans les matériaux

- Coefficient R mesure en décibels la chute de l'intensité sonore
- Dépend de la densité, de la texture, de la géométrie...

Exemple : une cloison

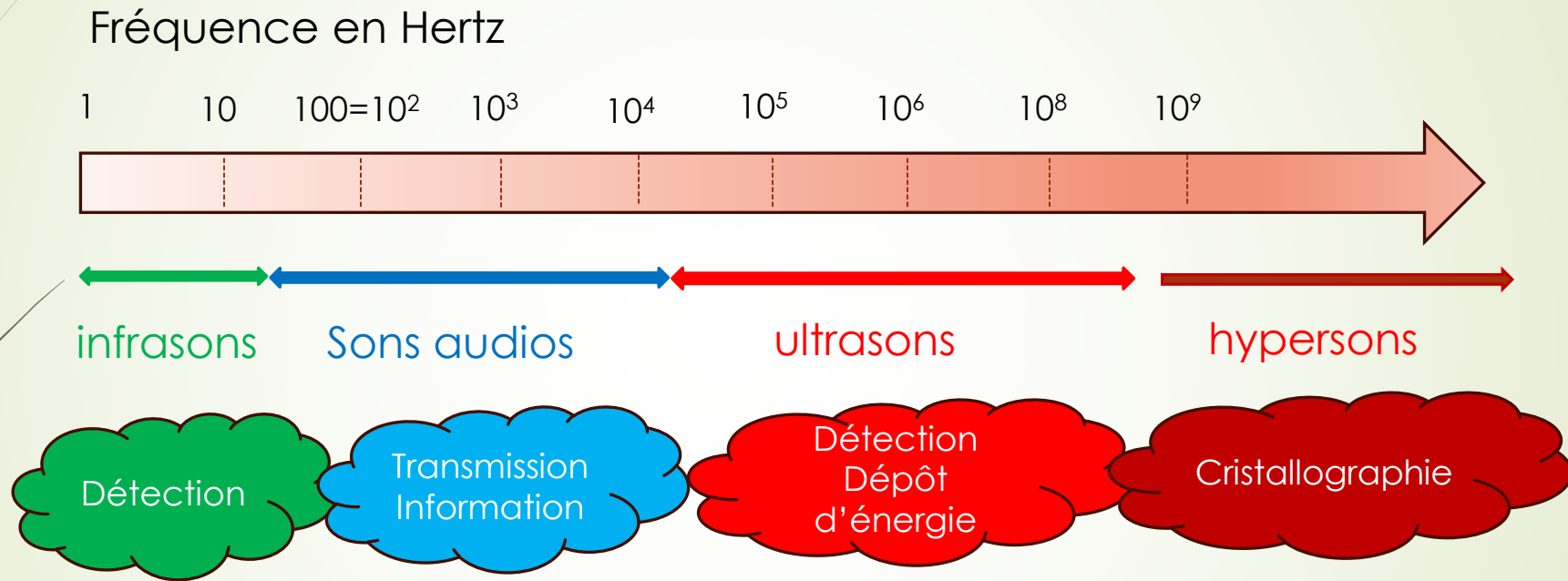


<https://environnement.brussels/>

Affaiblissement de 4 à 6 db par octave
(doublement de fréquence)

f_c : fréquence de résonance dépend
de la géométrie de la cloison

Les catégories d'ondes sonores



12

L'échographie/ le sonar



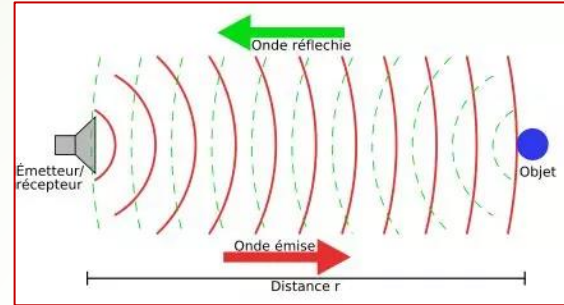
[Vidéo sur l'échographie](#)

Échographie (son)

$V = 1300 \text{ m/s}$ (corps humain)
Précision 0,5 mm
Courte portée 0,5m



Longueur d'onde $\approx 0,5 \text{ mm}$
 $F \approx 2,6 \text{ MHz}$ ($2,6 \cdot 10^6 \text{ Hz}$)

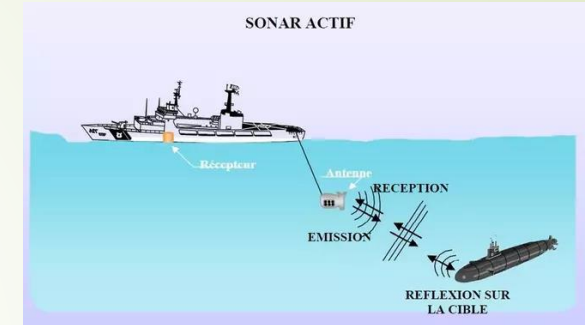


Principe

La longueur d'onde est déterminante pour l'interaction d'une onde avec un objet

Longueur d'onde \approx taille de l'objet

$$\lambda = v / f$$



Sonar

$V = 1500 \text{ m/s}$ (eau salée)
Précision 10 m
Longue portée $> 1\text{km}$



Longueur d'onde $\approx 10 \text{ m}$
 $F \approx 150 \text{ Hz}$
À optimiser selon la distance d'observation



Pourquoi le tonnerre roule au loin et fait « crac » quand l'éclair est proche ?

Les fréquences basses sont peu absorbées par l'air (fluide visqueux)

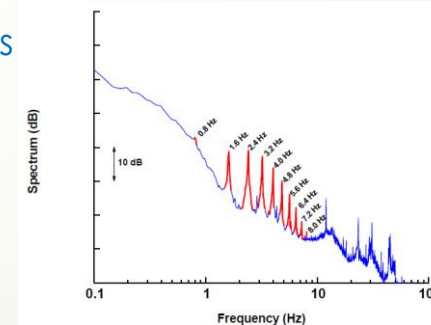
Les infrasons (< 20 Hertz)

- Inaudibles directement (sauf très fortes puissances >100 db- spl)
- Ne sont pas affectés par les petites structures
- Se propagent sur de très longues distances dans le sol et dans la mer

Cas spécifiques des éoliennes

Bruit inférieur à 40dbA, mais effets des infrasons mal connus

L'ANSES précise que « les données disponibles ne mettent pas en évidence d'argument scientifique suffisant en faveur de l'existence d'effets sanitaires liés aux expositions **au bruit** des éoliennes. Les connaissances actuelles en matière d'effets potentiels sur la santé liés à l'exposition aux **infrasons et basses fréquences sonores** ne justifient ni de modifier les valeurs limites existantes »



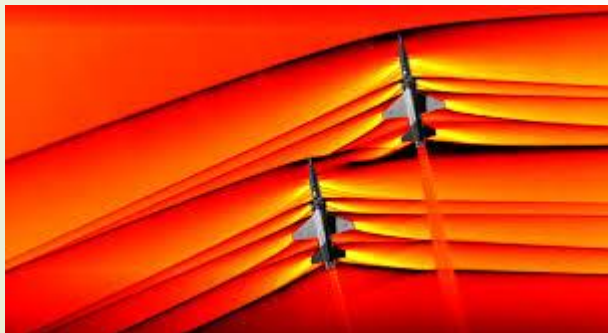
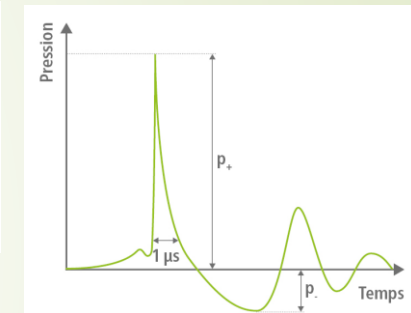
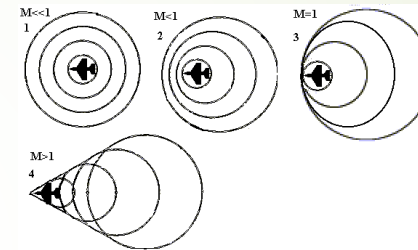
Ondes sonores : variations de pression continues – de faible amplitude : $\sim 1 P(\text{ascal}) \sim 10^{-5} \text{bar}$ (atmosphère)

Ondes de choc :

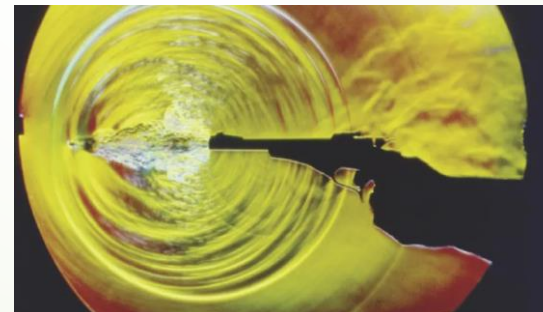
- variations de pression discontinues[§]
- de grande amplitude : $\sim 10^8 P \sim 1000 \text{bars}$

Vitesse de la source plus grande que la vitesse de l'onde

[§] De l'ordre du parcours moyen des molécules d'air $\sim 70 \text{nm} \sim 7 \cdot 10^{-8} \text{m}$



Mur du son (Wikipedia – [Onde de choc](#))

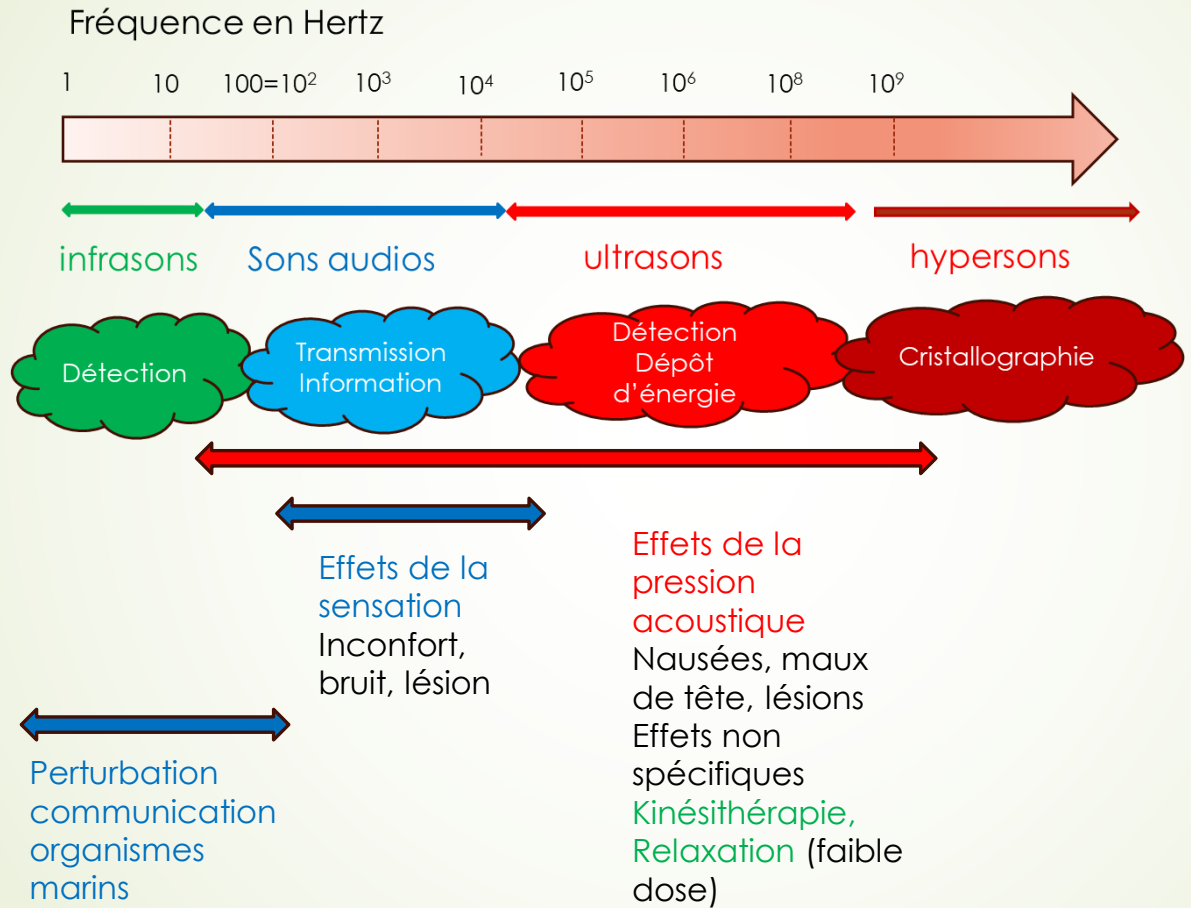


Onde de choc lors d'un tir ([Pour la Science](#))



Effet onde de choc sur calcul rénal ([simulation](#))

Les effets des ondes sonores sur la santé



Peuvent avoir **des effets nuisibles** (environnement bruyant) **ou dévastateurs** (tremblements de terre, ondes de choc...)

Mais

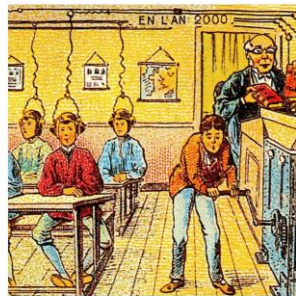
Ne sont pas inquiétantes lorsque nos sens les détectent (sons vibrations)

Elles permettent de visualiser des concepts, valables pour toutes les ondes

- **Longueur d'onde, fréquence, vitesse, énergie**
- **Emission-réception : ordonnée ou désordonnée**

Comment aborder un domaine si divers et si interdisciplinaire ?

Des vidéo conférences sur la chaîne YouTube : [la Science de Bernie – Saison 3](#)



Des podcasts sur Spotify
[La science de Bernie](#)

Mon blog <https://un-peu-de-physique.fr/>
Des cours, des ressources...

