



Ondes acoustiques dans les fluides

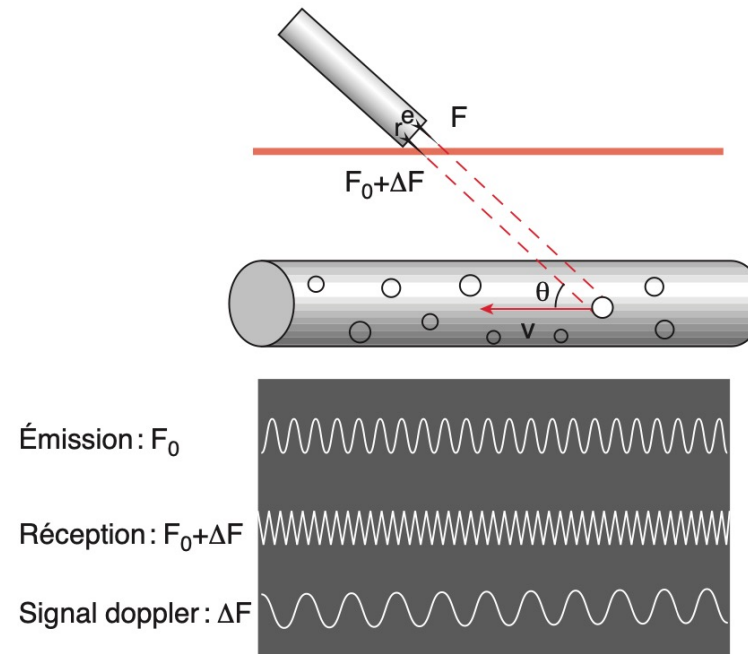
Applications médicales

Niveau L2

Prérequis: Ondes mécaniques, Equation de propagation, équation de d'Alembert, effet Doppler sur cible en mouvement , Mécanique des fluides (Navier Stokes, Euler)



Effet Doppler avec propagation dans un milieu en mouvement





La vélocimétrie Doppler dans le médical

Vitesse du sang

Vaisseau

	vitesses	vitesse
	extrêmes (cm/s)	moyenne (cm/s)
aorte montante	20 - 290	10 - 40
aorte descendante	25 - 250	10 - 40
aorte abdominale	50 - 60	8 - 20
artère fémorale	100 - 120	10 - 15
artérioles	0.5 - 1	
capillaires sanguins	0.02 - 0.17	
veine cave inférieure	15 - 40	

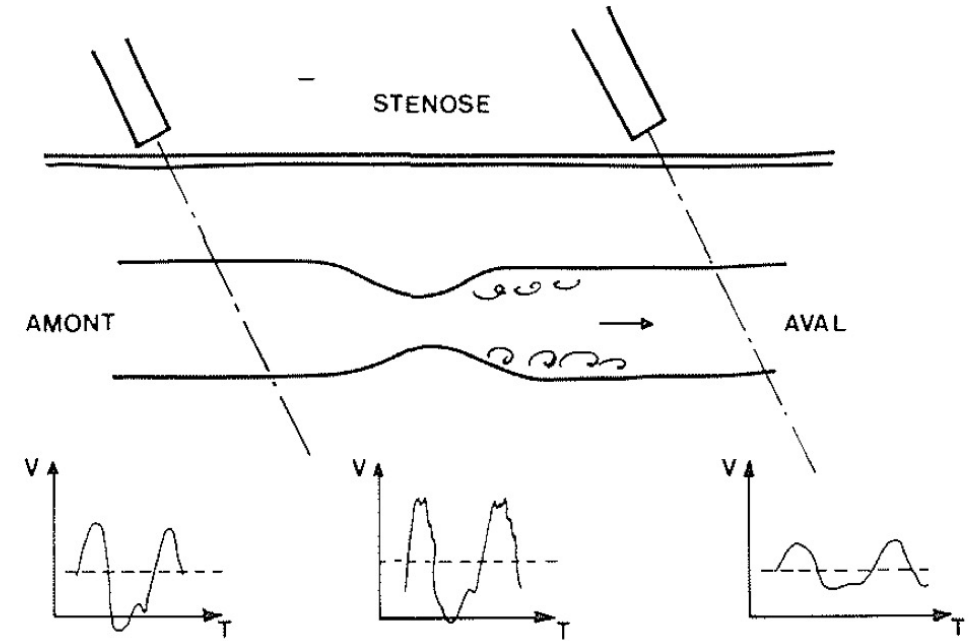
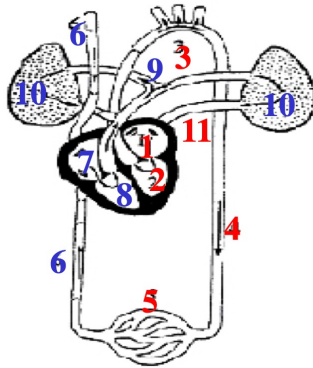
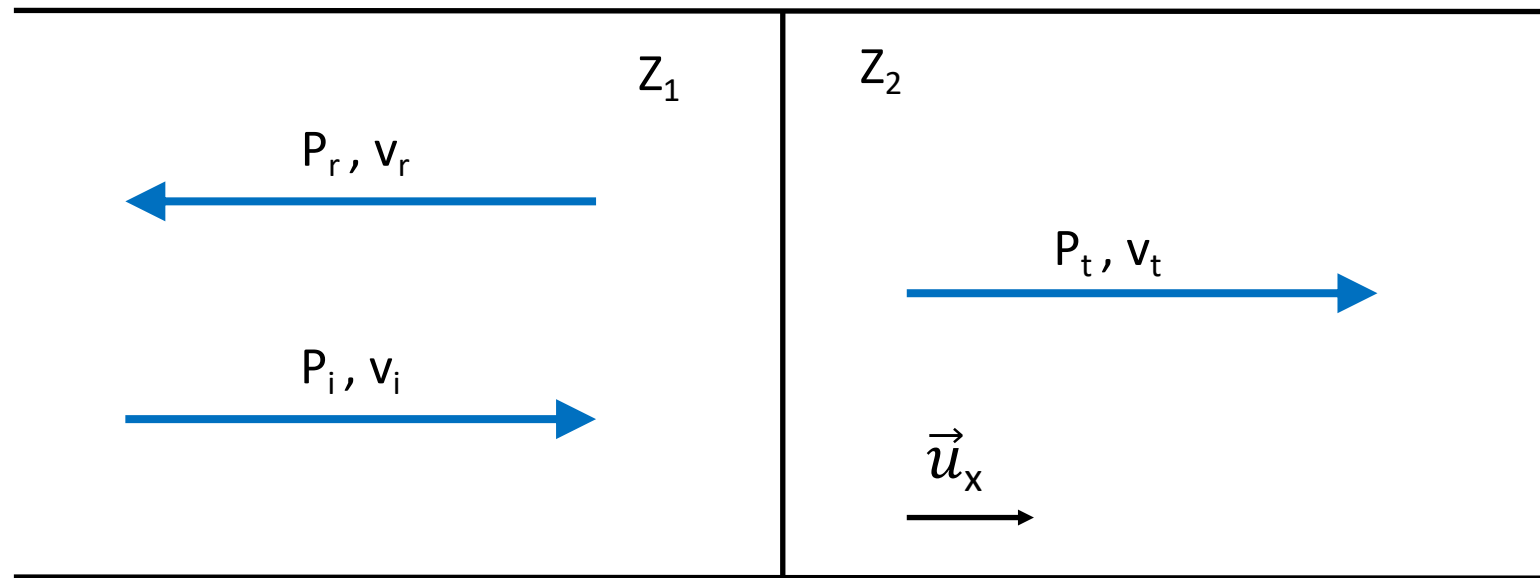


Figure 7 – Principe de l'observation d'une sténose vasculaire
Pierre Perronneau 1977



Réflexion et transmission à une interface en incidence normale





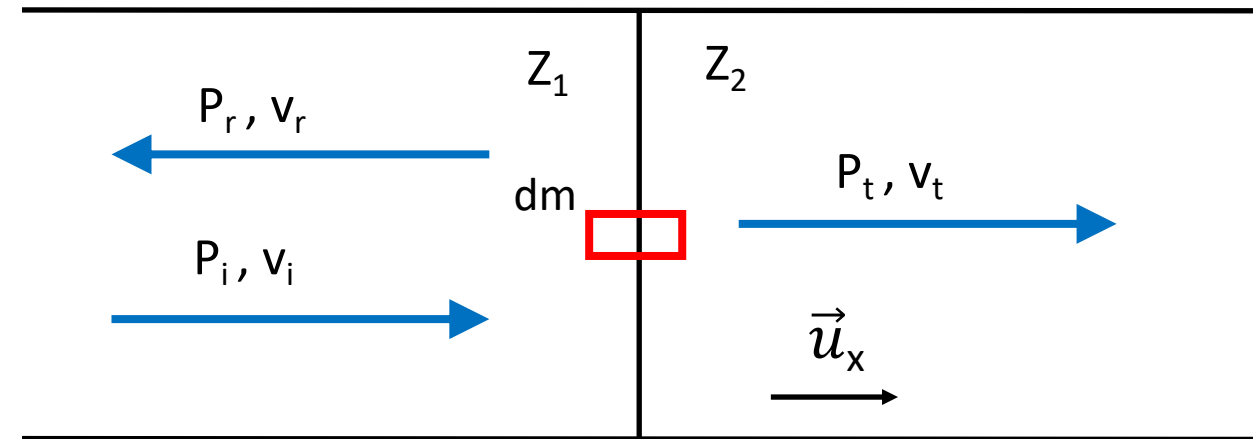
Conditions de continuités

Continuité des vitesses normales au dioptrès : par continuité du débit volumique

$$Dv_1 = Dv_2$$
$$\int v_1 dS = \int v_2 dS$$

Continuité des pressions: études d'un élément de fluide à l'interface

$$dm \cdot \vec{a} = -(P_0 + P_2) \cdot S \vec{u}_x + (P_0 + P_1) \cdot S \vec{u}_x$$
$$0 = -P_2 + P_1$$

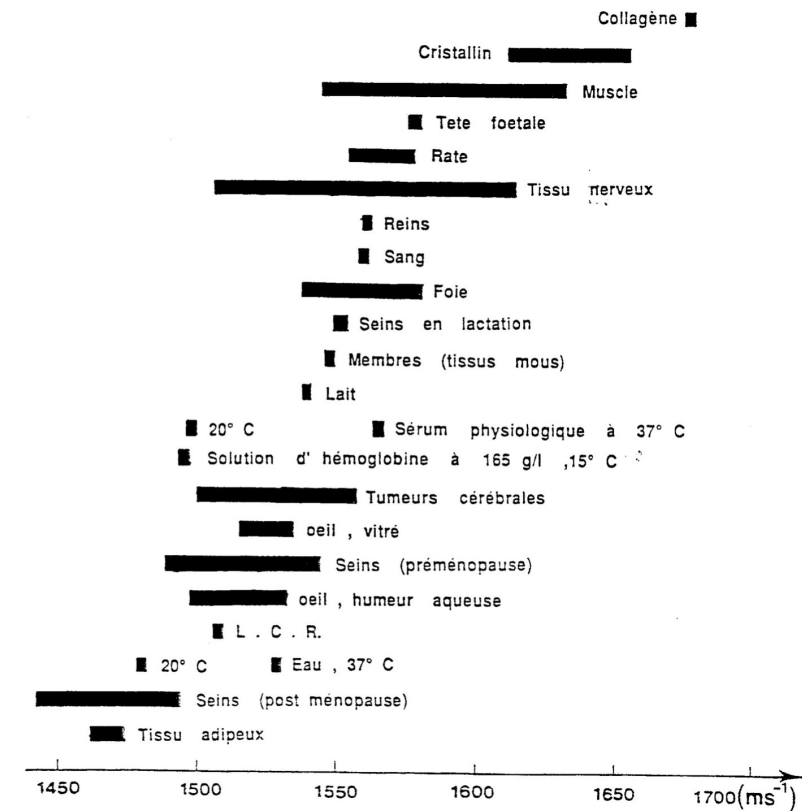


Ces conditions sont également vraies quand la paroi est en mouvement: $X(t)$.

Exemple d'impédance et de coefficient de réflexion en énergie



Tissu	Masse spécifique ρ : $\text{Kg/m}^3 \cdot 10^3$	Impédance caractéristique Z : $\text{Kg/m}^2/\text{s} \cdot 10^6$
Sang	1,06	1,62
Squelette	1,38 - 1,81	3,75 - 7,38
Cerveau	1,03	1,55 - 1,66
Tissu Adipeux	0,92	1,35
Reins	1,04	1,62
Foie	1,06	1,64 - 1,68
Poumons	0,40	0,26
Muscle	1,07	1,65 - 1,74
Rate	1,06	1,65 - 1,67
Eau	1,00	1,52





Exemple de coefficient de réflexion en énergie

On introduit le vecteur : $\vec{\Pi} = P \cdot \vec{v}$

Il s'agit de traduire l'existence d'une puissance surfacique transportée par l'onde. C'est un vecteur de « densité surfacique de puissance ».

On a alors pour R et T:

$$R = \frac{|\langle \iint_S \vec{\Pi}_r \cdot \vec{dS} \rangle|}{|\langle \iint_S \vec{\Pi}_i \cdot \vec{dS} \rangle|}$$

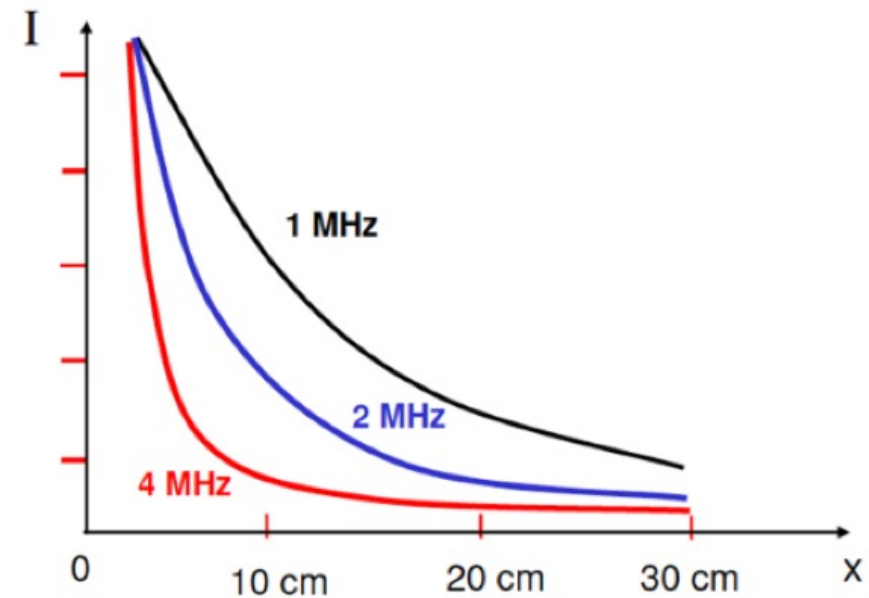
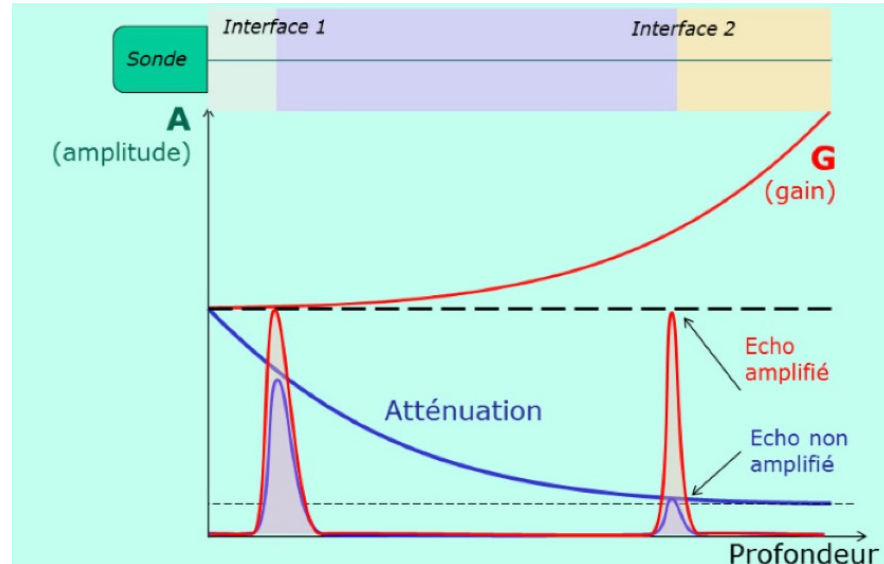
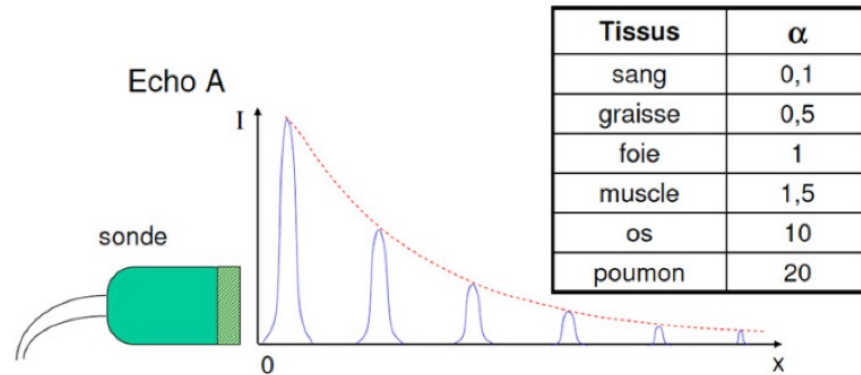
$$T = \frac{|\langle \iint_S \vec{\Pi}_t \cdot \vec{dS} \rangle|}{|\langle \iint_S \vec{\Pi}_i \cdot \vec{dS} \rangle|}$$

$$R = r_p^2 = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2$$

$$T = \frac{4Z_2Z_1}{(Z_2 + Z_1)^2}$$

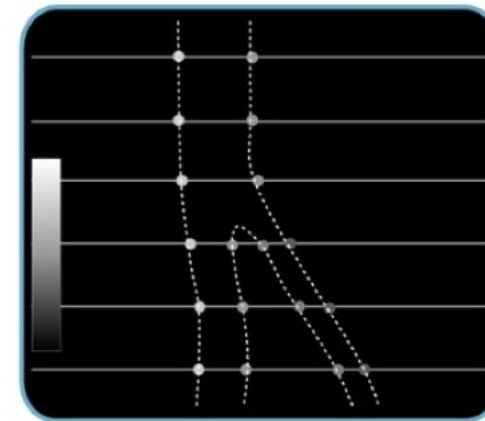
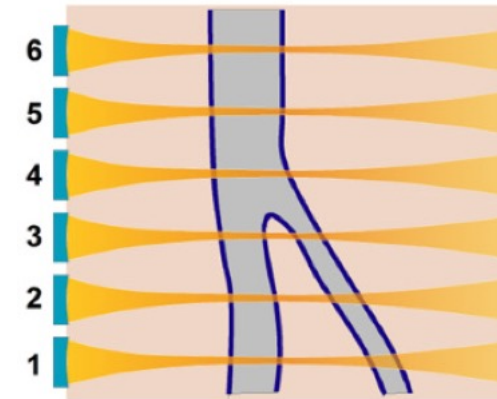
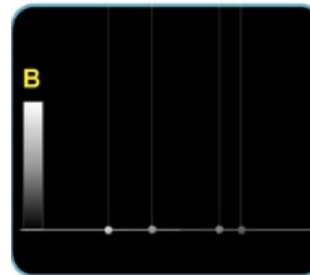
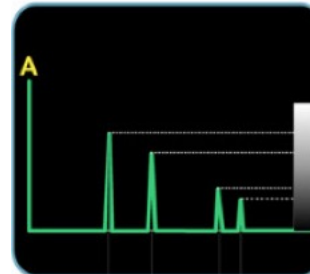
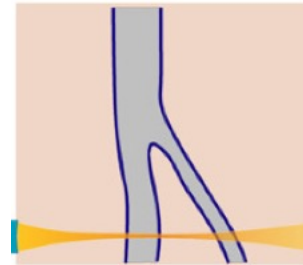
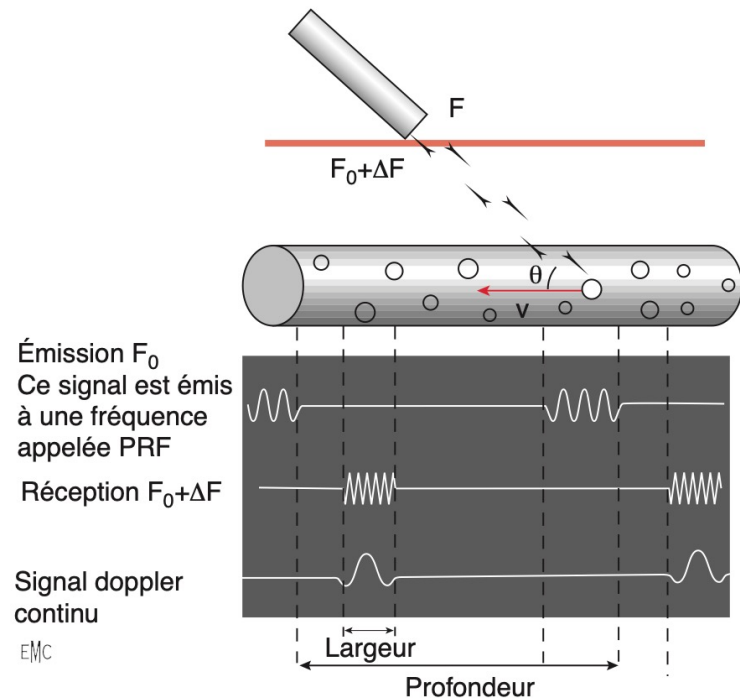


Atténuation de l'onde acoustique



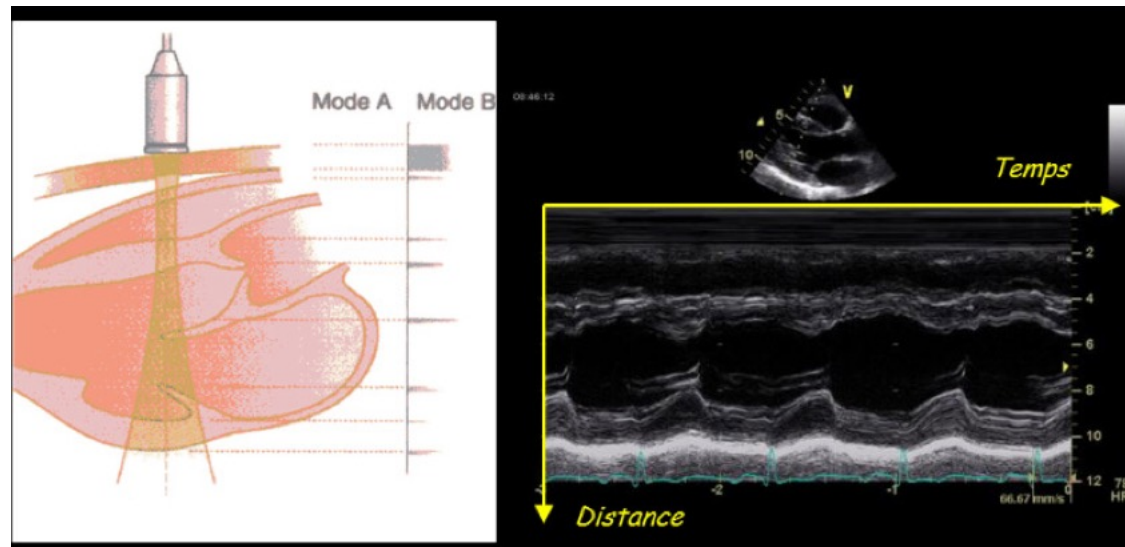


Du principe physique à l'image

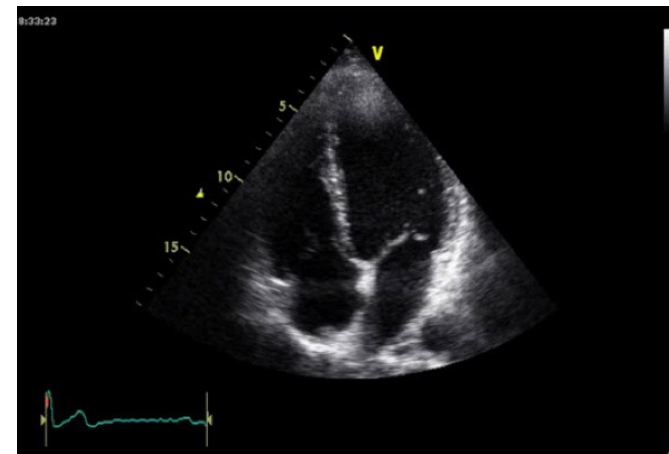
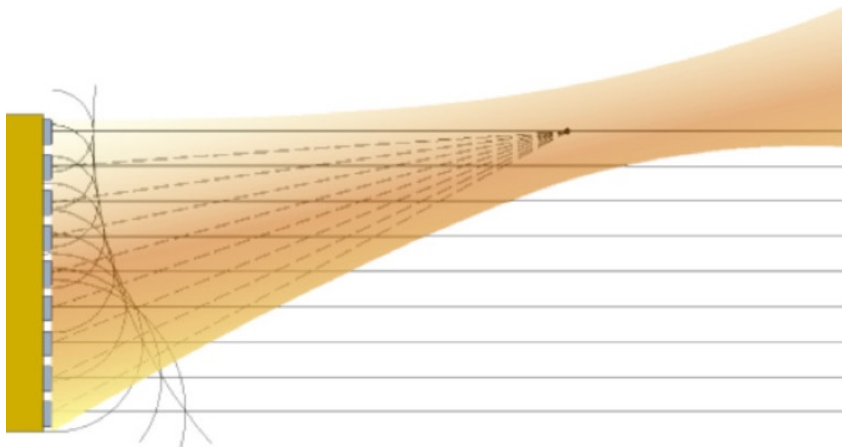
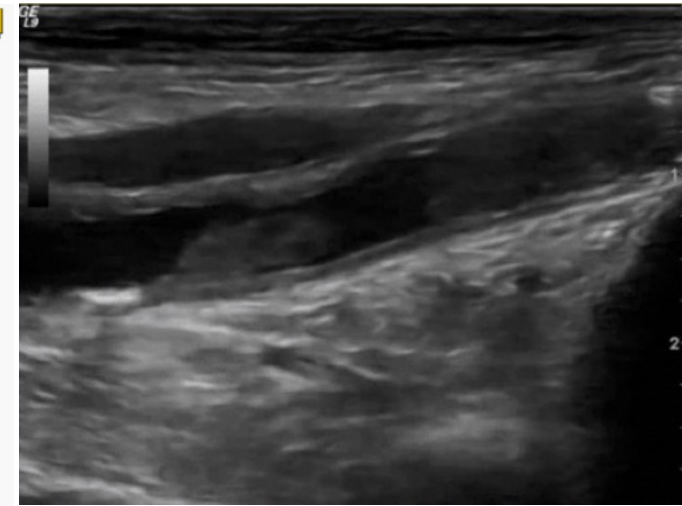
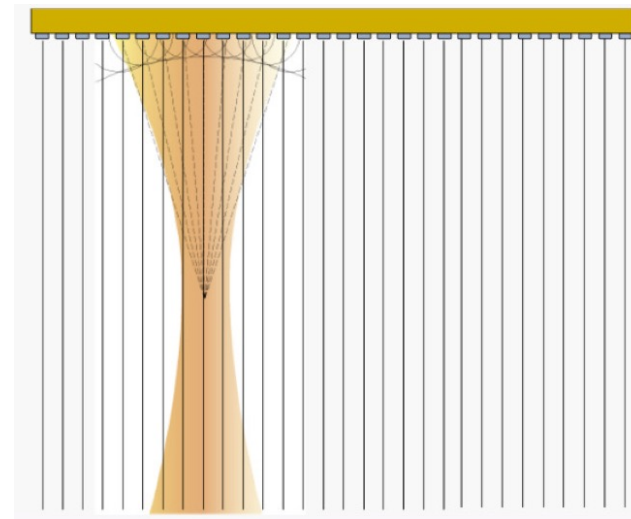
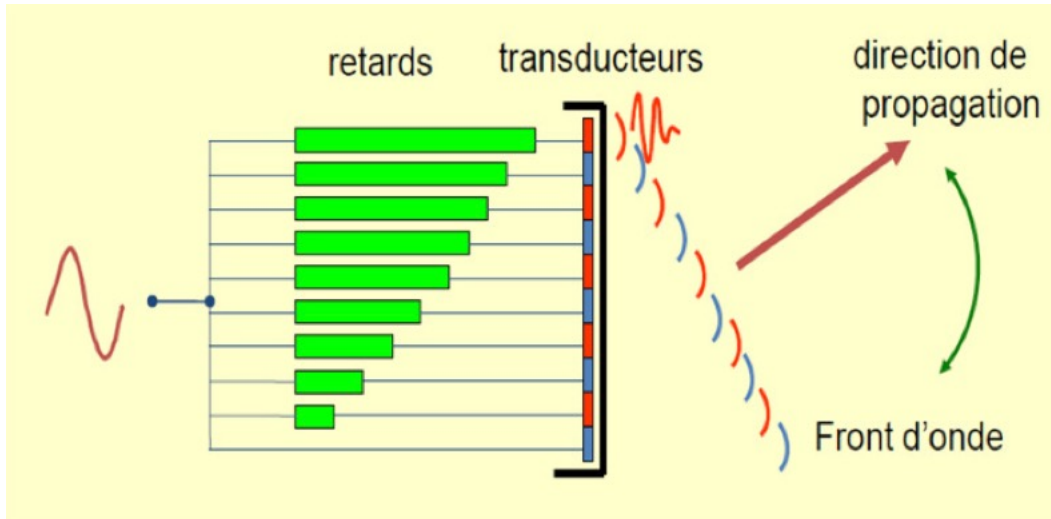




Le mode temps mouvement TM



Du balayage mécanique au balayage électronique





Des effets néfastes pour la santé ?

Effets thermiques: absorptions des ultrasons par les organes

Effets de cavitations: bulle de gaz au passage de l'onde de surpression

Thermique

Intensité ultrasonore
Coefficient d'atténuation
Durée d'exposition
Convexion et conduction

Exemple :

$$\alpha = 0,5 \text{ dB/cm}$$

$$I = 2 \text{ Watt/cm}^2$$

$$dt = 1 \text{ min}$$

$$dT = 0,05 \times 0,5 \times 2 \times 60 = 3^\circ \text{ C}$$

Cavitation

Fréquence
Intensité Acoustique
Température
Viscosité
Gaz dissous
Impuretés

- Micro-courants
- Effondrement brutal des bulles :
 - Vitesse supersonique
 - Surpression 10^4 Atm
 - Echauffement 2000° C
 - $\Rightarrow$ Radicaux libres



Effets sur le vivant:

Bases de l'ADN

- Radicaux libérés
- Oxydation de bases puriques et pyrimidiques

Molécules d'ADN

- Oxydation
- Rupture simple/double brin

Cellules

- Ruptures membranaires

Tissus

- Élévation de température avec dégradation de la structure des protéines

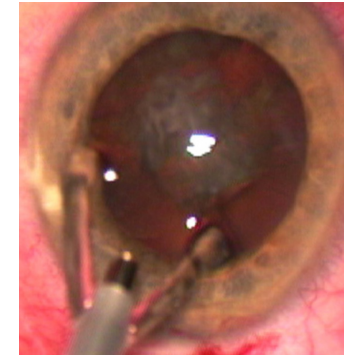
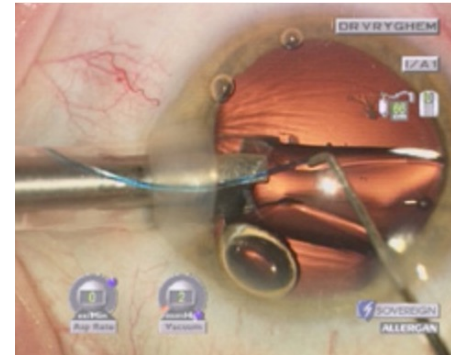


Des applications aux effets néfastes

Bistouri à ultrasons

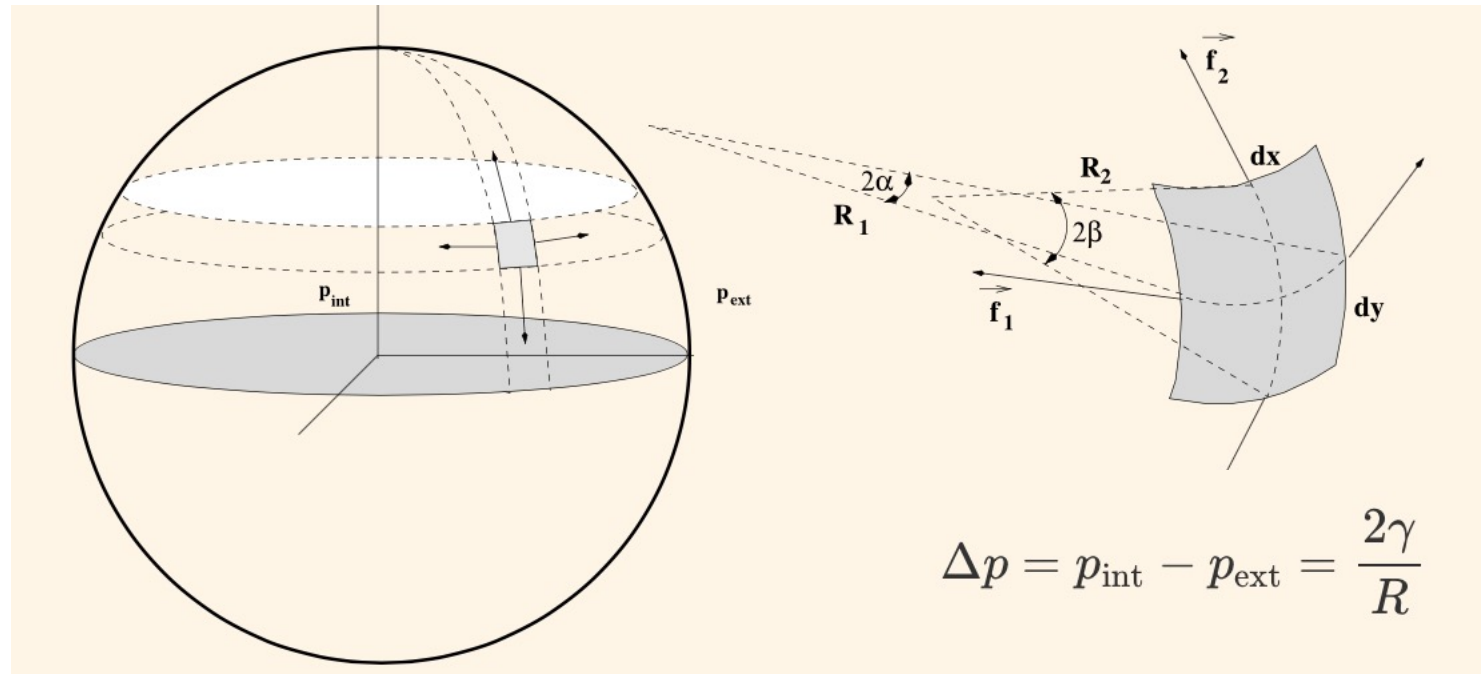
Phako-émulsification par ultrasons

Utilisation des ultrasons focalisés de haute intensité (HIFU) pour le traitement de tumeurs prostatiques ou cérébrales



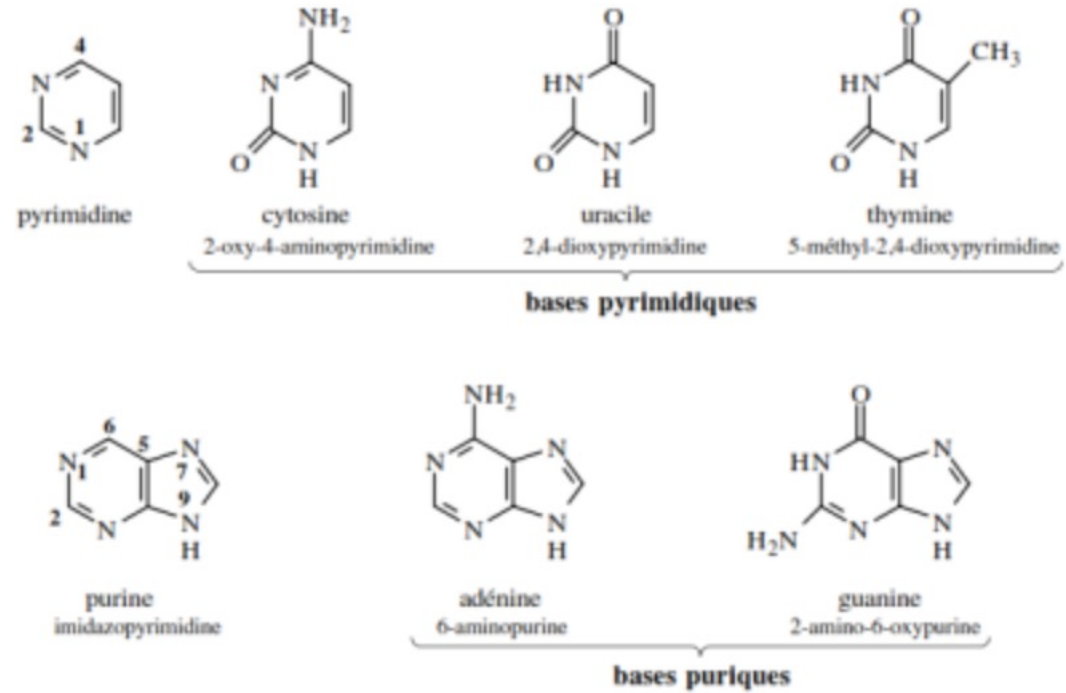


Annexes





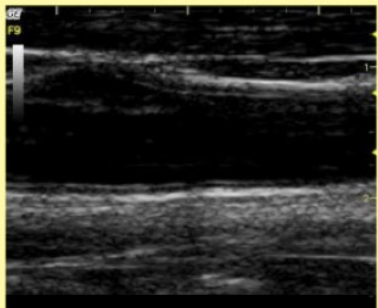
Annexes



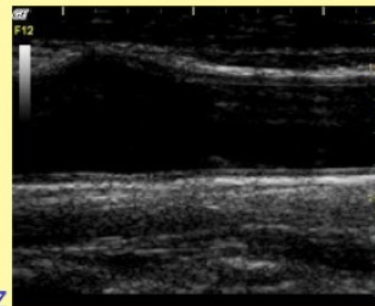


Annexes résolution spatiale

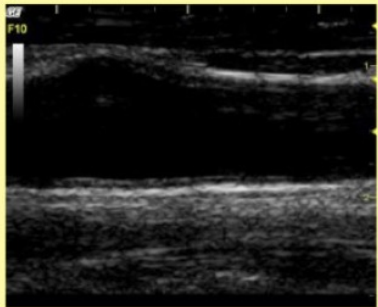
Très haute fréquence & Multi-fréquence



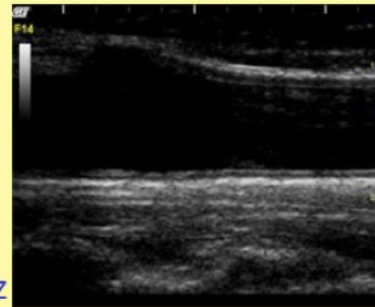
9 MHz



12 MHz



10 MHz



14 MHz

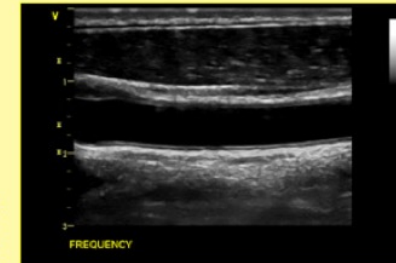
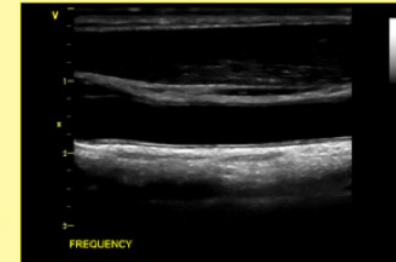
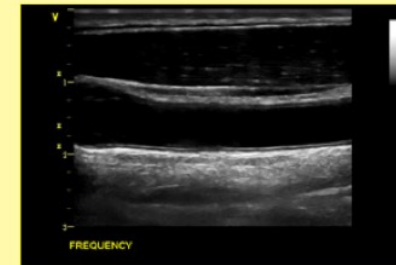
Résolution Spatiale Axiale et Fréquence d'émission



10 MHz

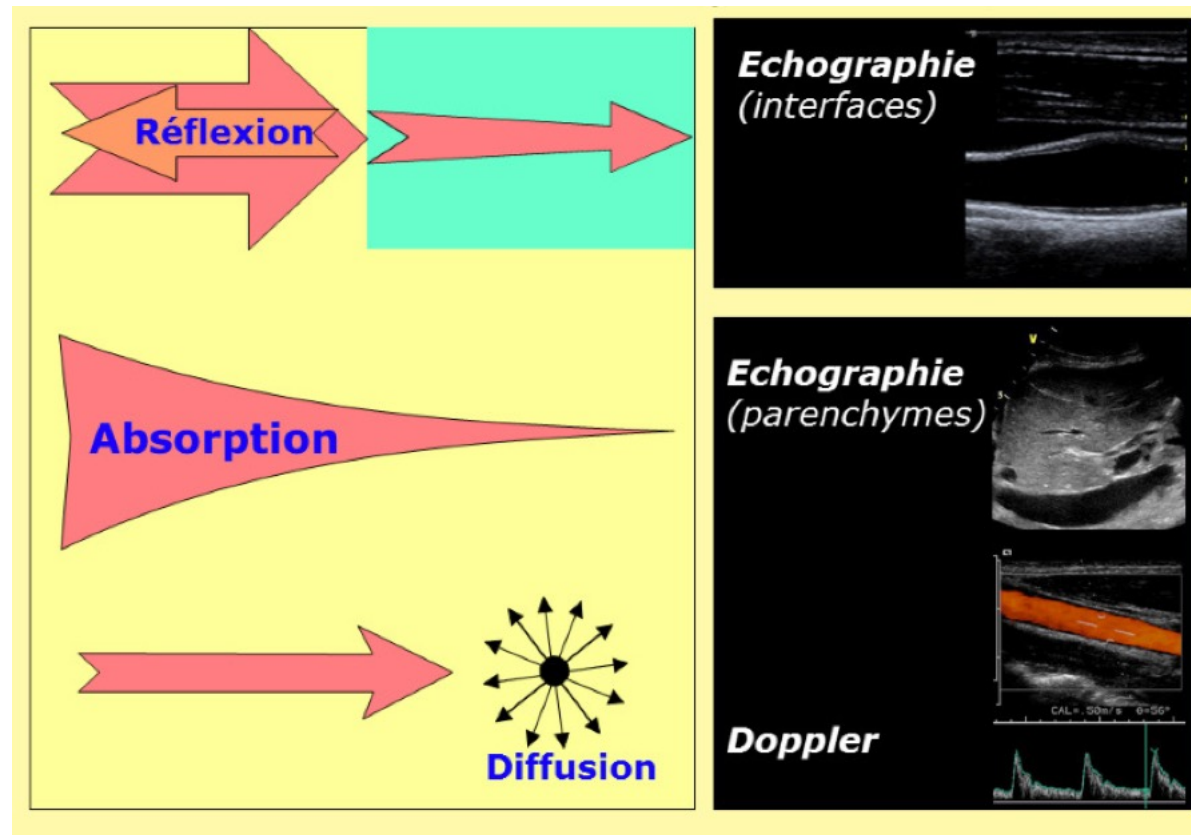
14 MHz

Harmonique
7/14 MHz





Annexes rétrodiffusion



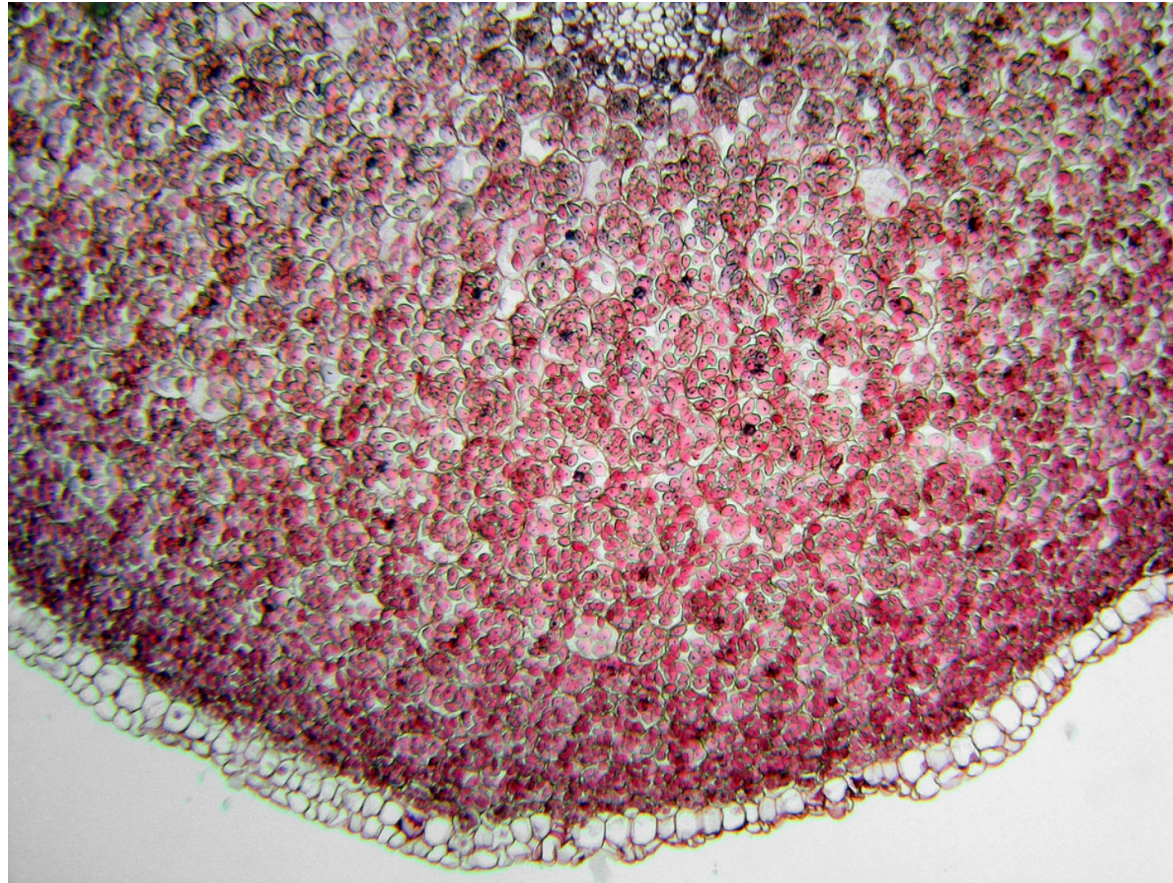


Annexes calcul Rn

- Tissu mou - air :
 $R_n = (1,5 \times 10^6 - 4 \times 10^2)^2 / (1,5 \times 10^6 + 4 \times 10^2)^2 = 0,99$
- Tissu mou - os :
 $R_n = (1,5 \times 10^6 - 5 \times 10^6)^2 / (1,5 \times 10^6 + 5 \times 10^6)^2 = 0,30$
- Tissu rénal - graisse péri-rénale :
 $R_n = (1,62 \cdot 10^6 - 1,38 \times 10^6)^2 / (1,62 \times 10^6 + 1,38 \times 10^6)^2 = 0,01$



Annexes Parenchymes



Parenchyme de réserve avec amidon dans une racine de *Ranunculus ficaria* colorée au carmino-vert = vert d'iode. (fichier Wikimedia Commons : "Parenchima_amilifero") (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.fr>) - Clematis, 2007 - licence CC-BY-SA 3.0