

*Tours le 13 Nov. 2015*  
*DIU Echo Région OUEST*



**Tronc commun**

***PHYSIQUE ACOUSTIQUE***  
***Principes élastographie***

**Pr Frédéric PATAT**  
**Biophysique Médicale et Med. Nucléaire**  
**CIC - Innovation Technologique 1415**  
**INSERM U930 – Université F. Rabelais**  
**Hôpital BRETONNEAU - CHRU de Tours**

# Objectifs du cours

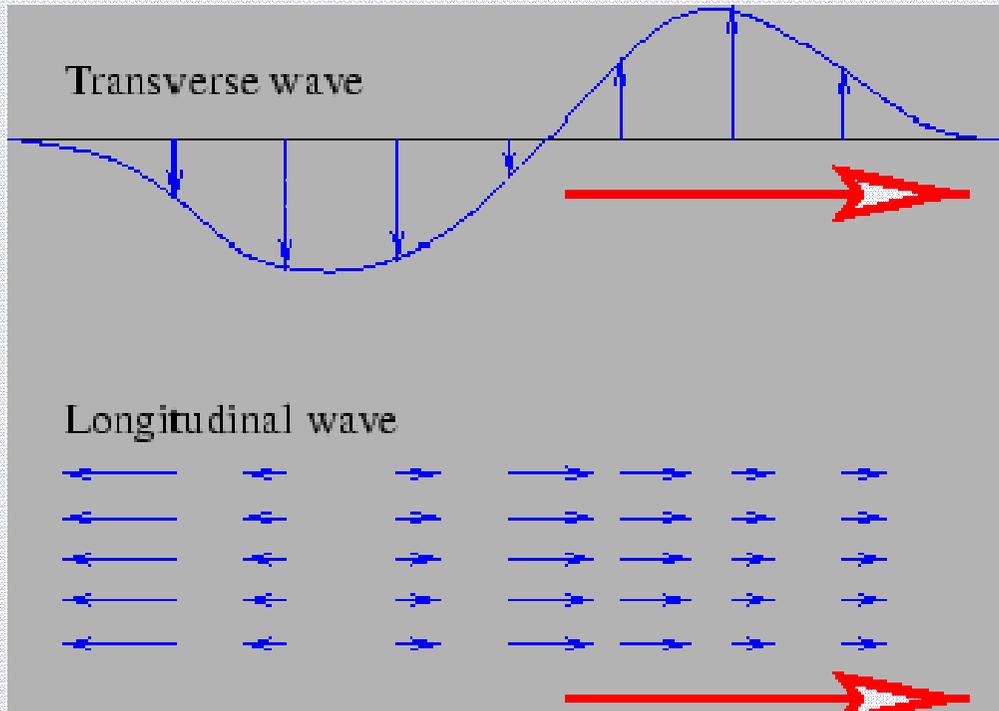
- Introduction aux concepts gouvernant les mesures d'élastographie en échographie.

# ONDES ACOUSTIQUES

Existence des ondes transversales

Intérêt médical

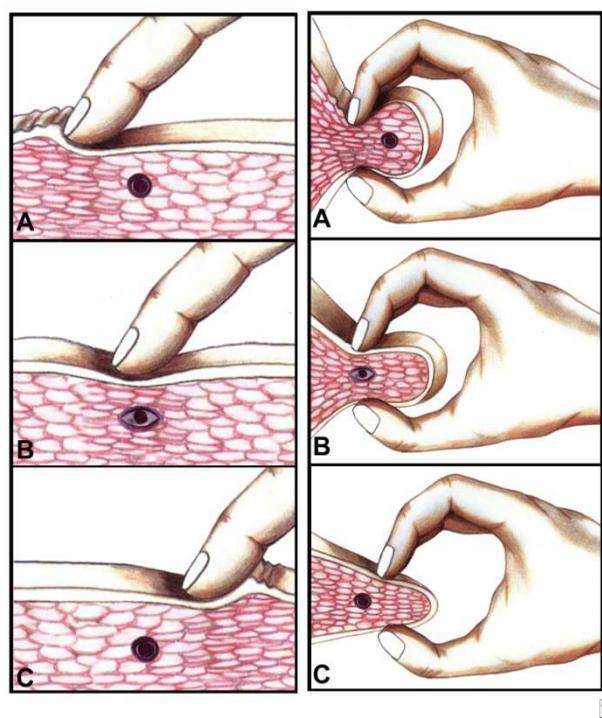
Elastographie



**N'existe pas dans les liquides**

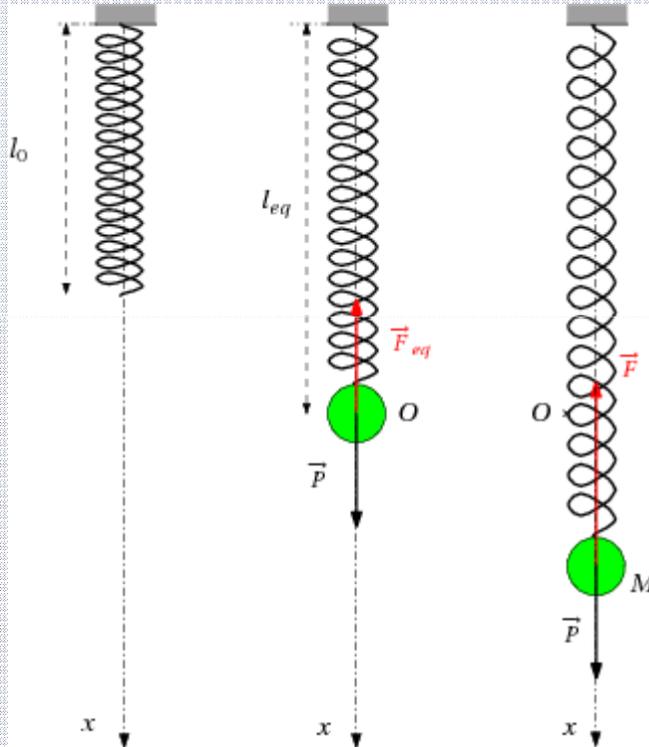
→ Particule movement  
→ Wave propagation

Comment faire pour distinguer le dur du mou ?



On compare force et déplacement

# Concept de raideur élastique



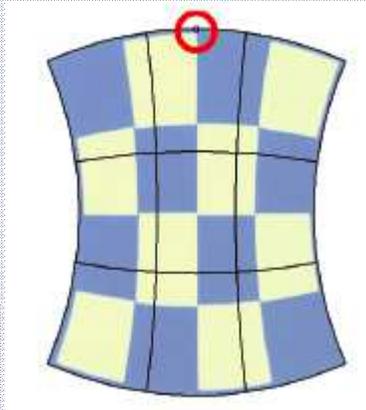
$$\mathbf{F} = \mathbf{k} \cdot \mathbf{x}$$

K est la raideur du ressort

$$K = F / x = \text{Force} / \text{déplacement}$$

Force importante pour petit déplacement  
= raideur élevée

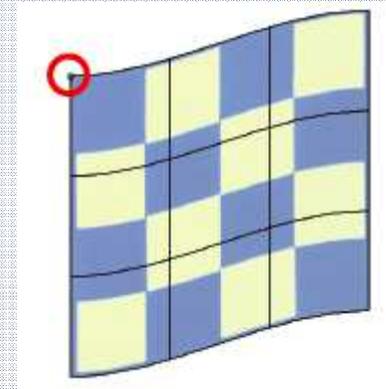
## Et dans les solides ?



**CAS ISOTROPE :**

**2 Elasticités différentes :**

**Compression et cisaillement**



**C'est parfois très compliqué : 21 élasticités différentes!**

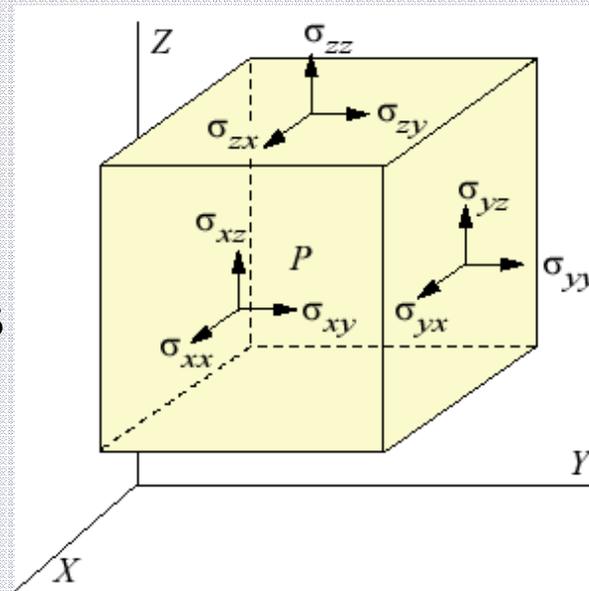
## Les différentes façons de « palper »

So the infinitesimal strain tensor is  $\epsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$

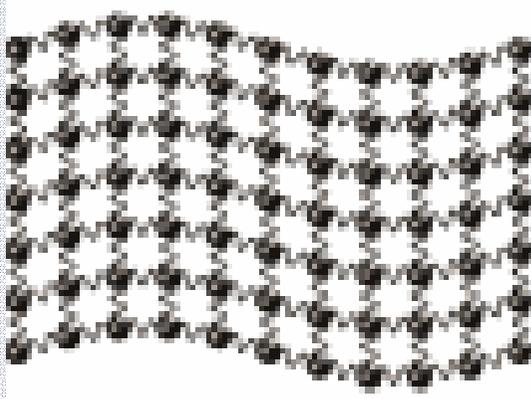
Another notation :  $\begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ & S_{22} & S_{23} \\ & & S_{33} \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} S_1 & S_6 & S_5 \\ & S_2 & S_4 \\ & & S_3 \end{pmatrix}$

Makes the matrix a 6-Vector

Pareil pour le tenseur de contraintes

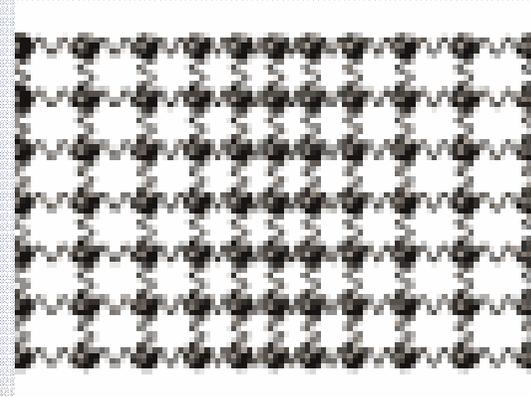


## Les ondes correspondantes :



Onde de cisaillement

$$c^2 = \frac{\mu}{\rho}$$



Onde de compression

$$c^2 = \frac{K}{\rho}$$



**Souvenez vous de l'importance du cisaillement !**

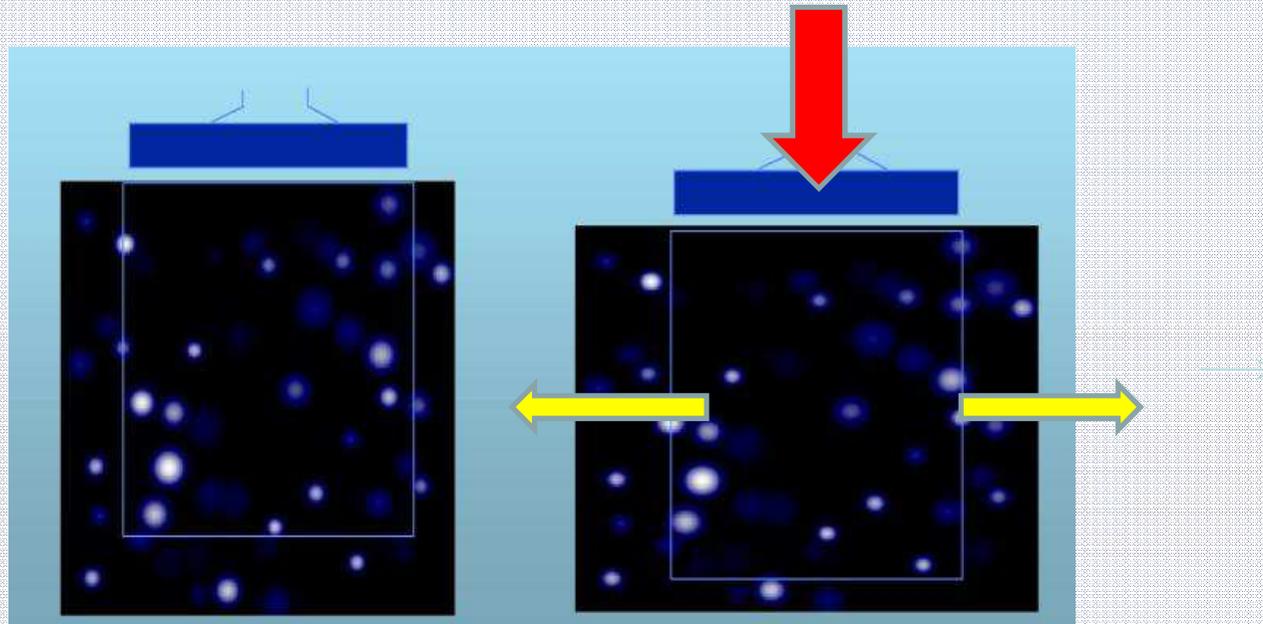
**Mesurer l'onde transverse**

**C'est mesurer le cisaillement**

**C'est différencier le dur et le mou**

## Principes de base: modèle de compression des tissus

- Comprimer les tissus

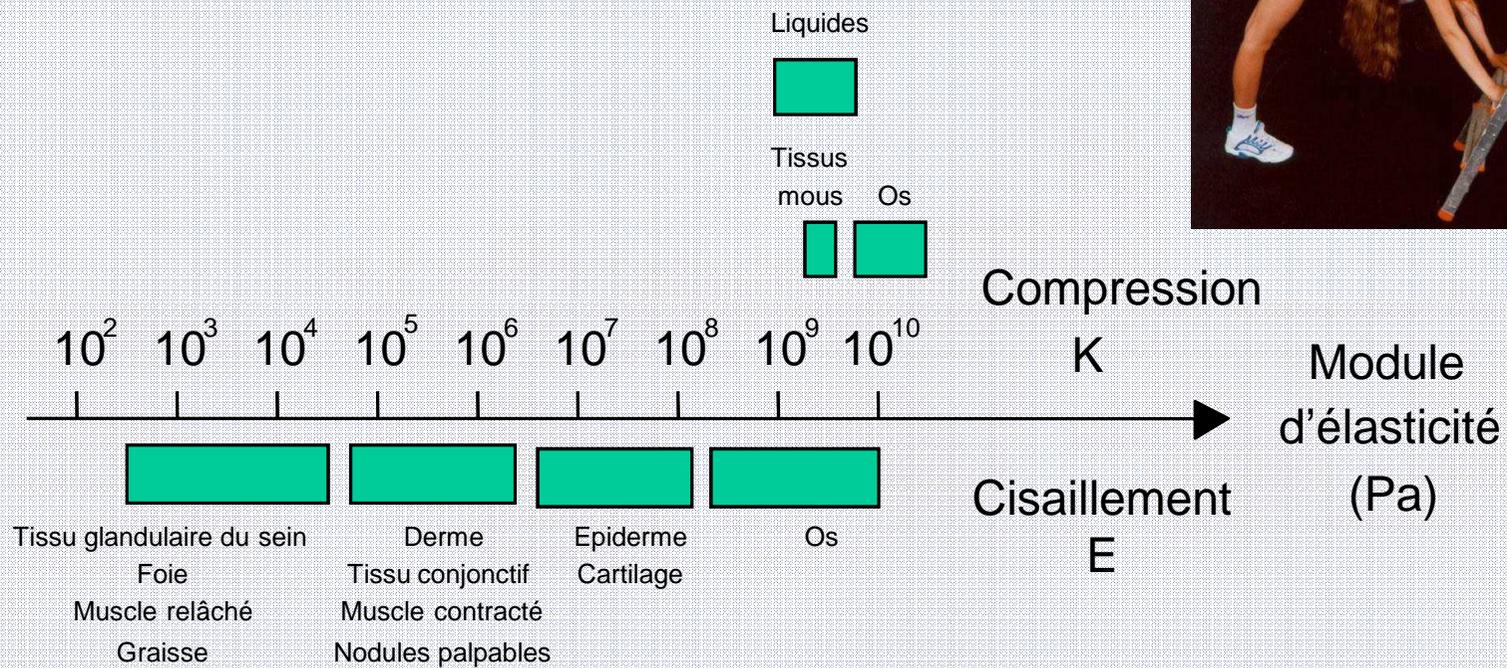


Avant compression

Après compression

Comment se sont-ils déformés en cisaillement ?

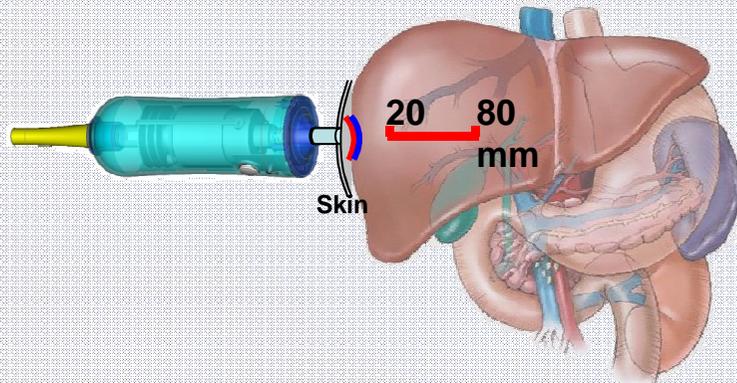
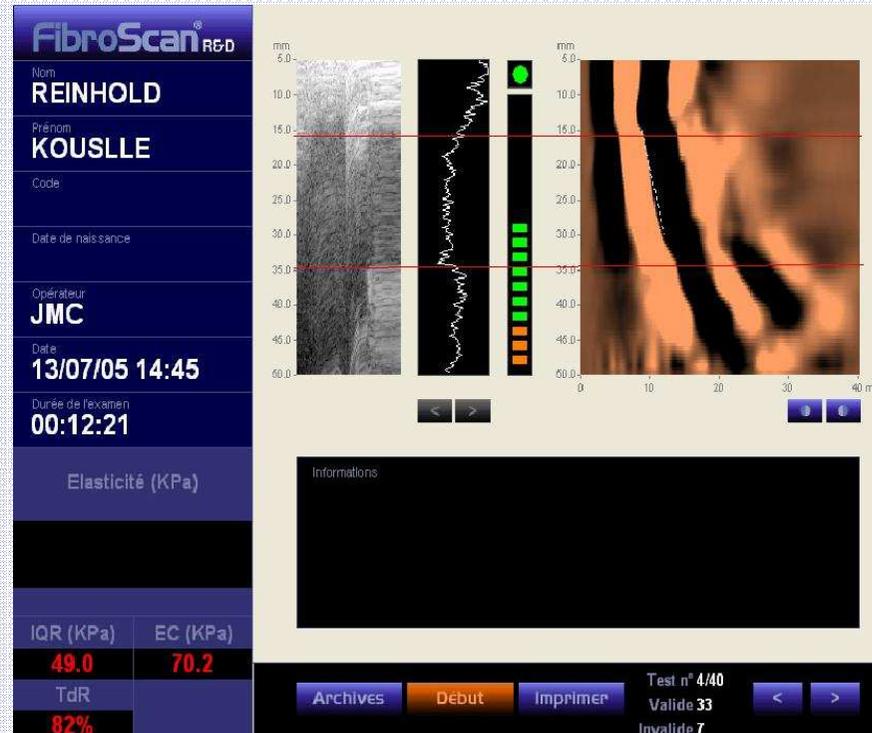
# Les paramètres élastiques dans différents tissus



**L'imagerie du paramètre de cisaillement  $\mu$  ( $E = 3 \mu$ ) est très prometteuse**

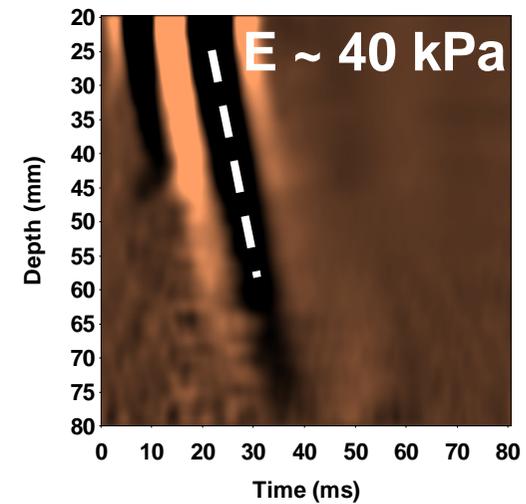
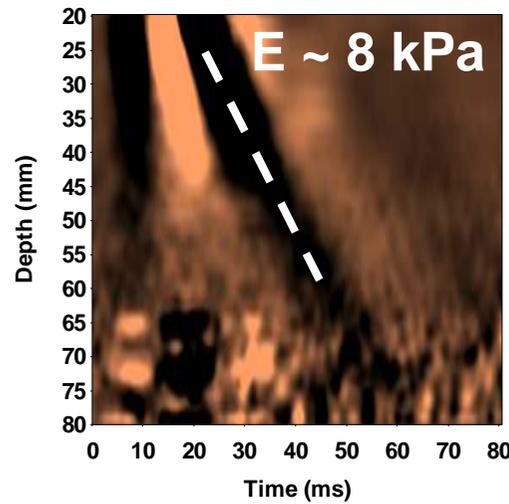
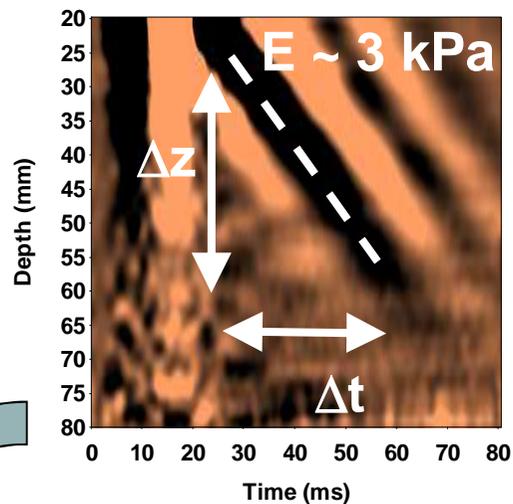
...

# 1<sup>ère</sup> Application : comprimer et mesurer FibroScan<sup>®</sup> (Echosens)



# Score de Metavir

Le score Métavir apprécie deux éléments: l'activité (grade) [AO = sans activité, A1 = activité minime, A2 = activité modérée, A3 = activité sévère] et la fibrose (stade) [F0 = sans fibrose, F1 = fibrose portale sans septa, F2 = fibrose portale et quelques septas, F3 = fibrose septale sans cirrhose, F4 = cirrhose].



**METAVIR**  
score  
(biopsy)

F0

Few fibrosis



F1

F2

Significant



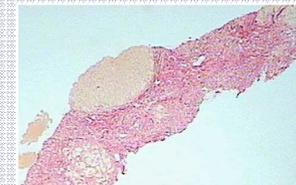
F3

Extensive



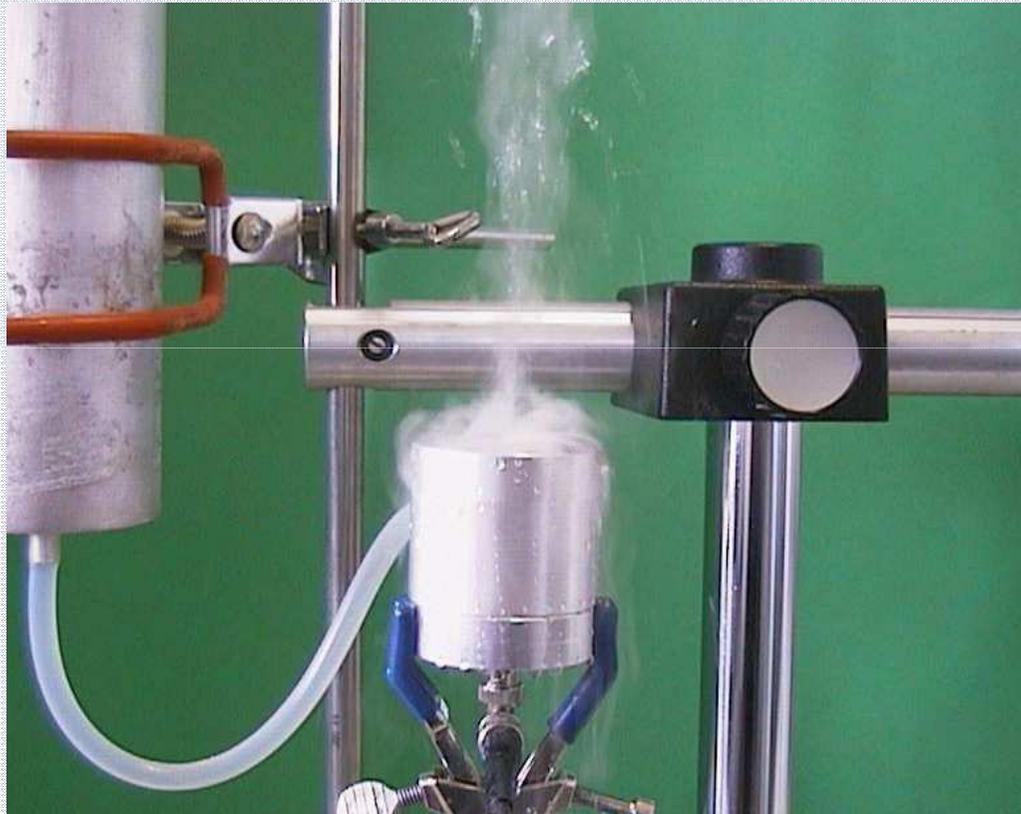
F4

Cirrhosis



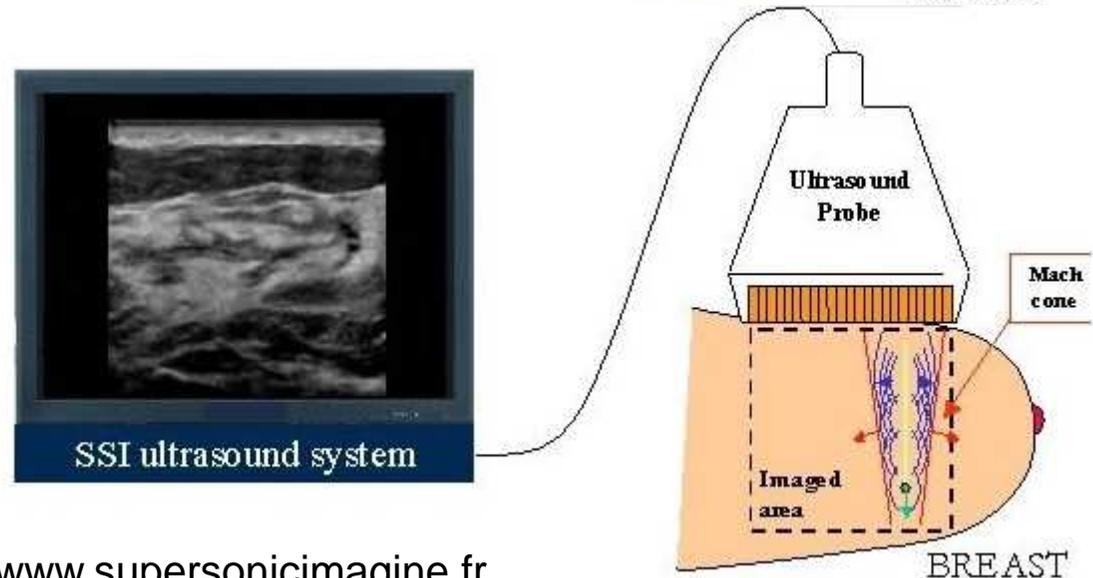
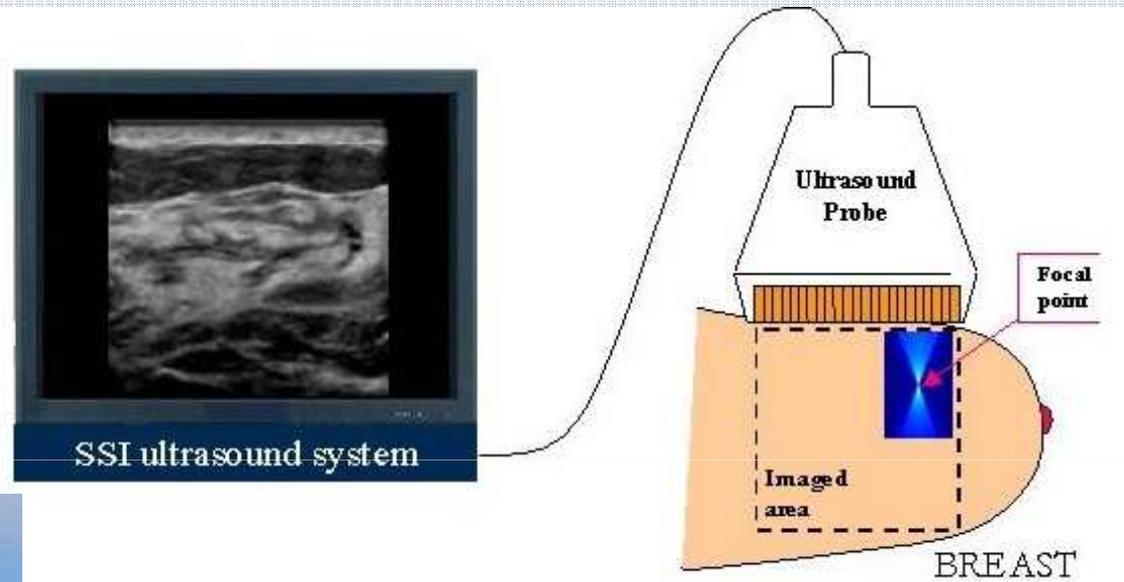
La force de radiation  
- la fontaine acoustique -

**Les ultrasons ça pousse !!**



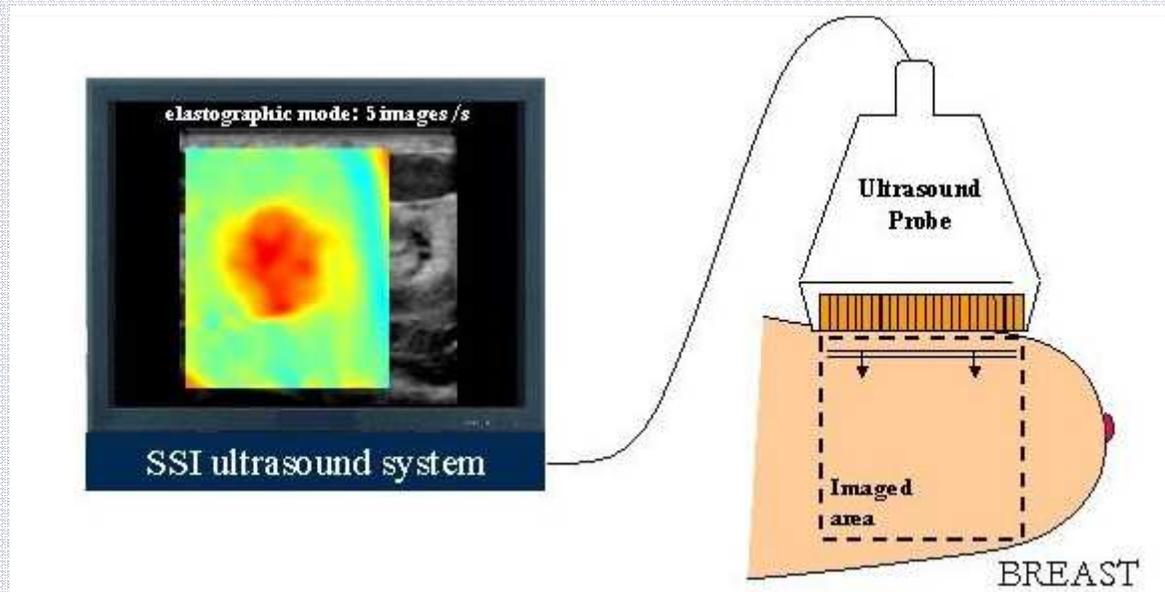
# La force de radiation

## - Génération de l'onde de cisaillement -

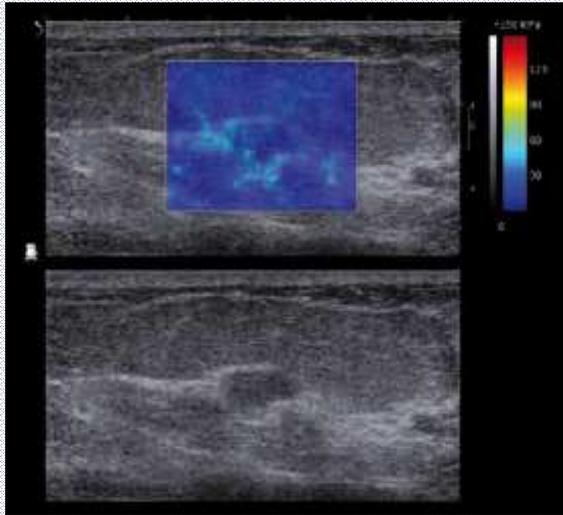


# Une machine qui affiche le module de cisaillement en kPa

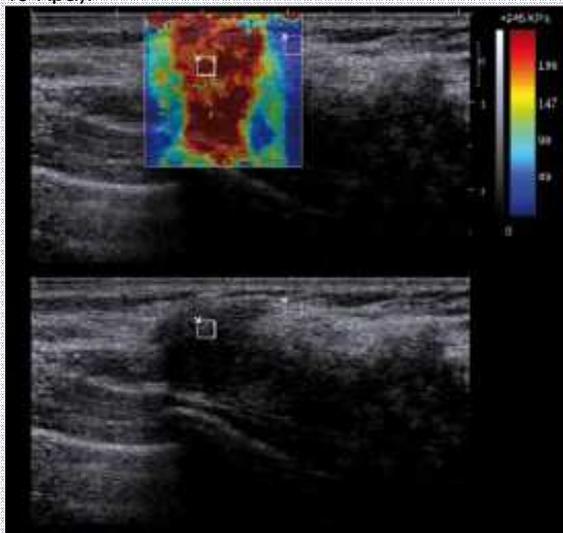
$$\rho_0 \frac{\partial^2 \vec{u}_t}{\partial t^2} = \mu \vec{\nabla}^2 \vec{u}_t \quad \longrightarrow \quad \mu(x, z) = \frac{\vec{\nabla}^2 \vec{u}_t}{\rho_0 \frac{\partial^2 \vec{u}_t}{\partial t^2}}$$



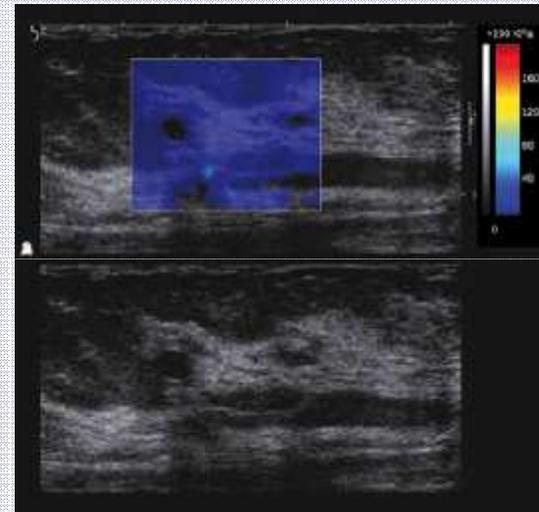
# Résultats « in vivo » sur le sein



Fibradénome qui présente une élasticité moyenne faible (28kPa) mais un contour légèrement plus dur (moyenne de 40 Kpa).



La lésion, classée ACR4 dans la classification BI-RADS apparait, sur l'image élastographique, comme très dure (moyenne de 270 Kpa) et entourée de tissus mous (environs 30 Kpa).



L'absence de valeur d'élasticité sur une partie de l'image peut aussi être une source d'information: les ondes de cisaillement ne se propagent pas dans les liquides purs, aucune valeur d'élasticité ne peut donc en être déduite. Deux petits kystes apparaissant sur la carte d'élasticité sans aucune valeur d'élasticité, indiquant ainsi qu'il s'agit probablement de contenus liquides.

# Deux méthodes commerciales

- ARFI ( Acoustic Radiation Force Imaging)  
From Duke University Ann Arbor
- SWI (Shear Wave Imaging)  
From Institut Langevin Paris

Merci pour votre attention

Tous