

CT04

L'utilisation des Ultrasons en CND

I – Introduction

- Intérêt : **inocuité** des Ultrasons (à comparer aux Rayons X) à faible puissance
- Les US ne **modifient en rien** le milieu dans lequel elles se propagent
- Coût **faible** à raisonnable
- Mesures en réflexion (**échographie**) et transmission (**tomographie**) possibles

I – Introduction

- Méthode **complémentaire** aux Rx
- Plus **parlant** visuellement
- Mais **moins facilement** quantifiable
- **Automatisation** assez simple

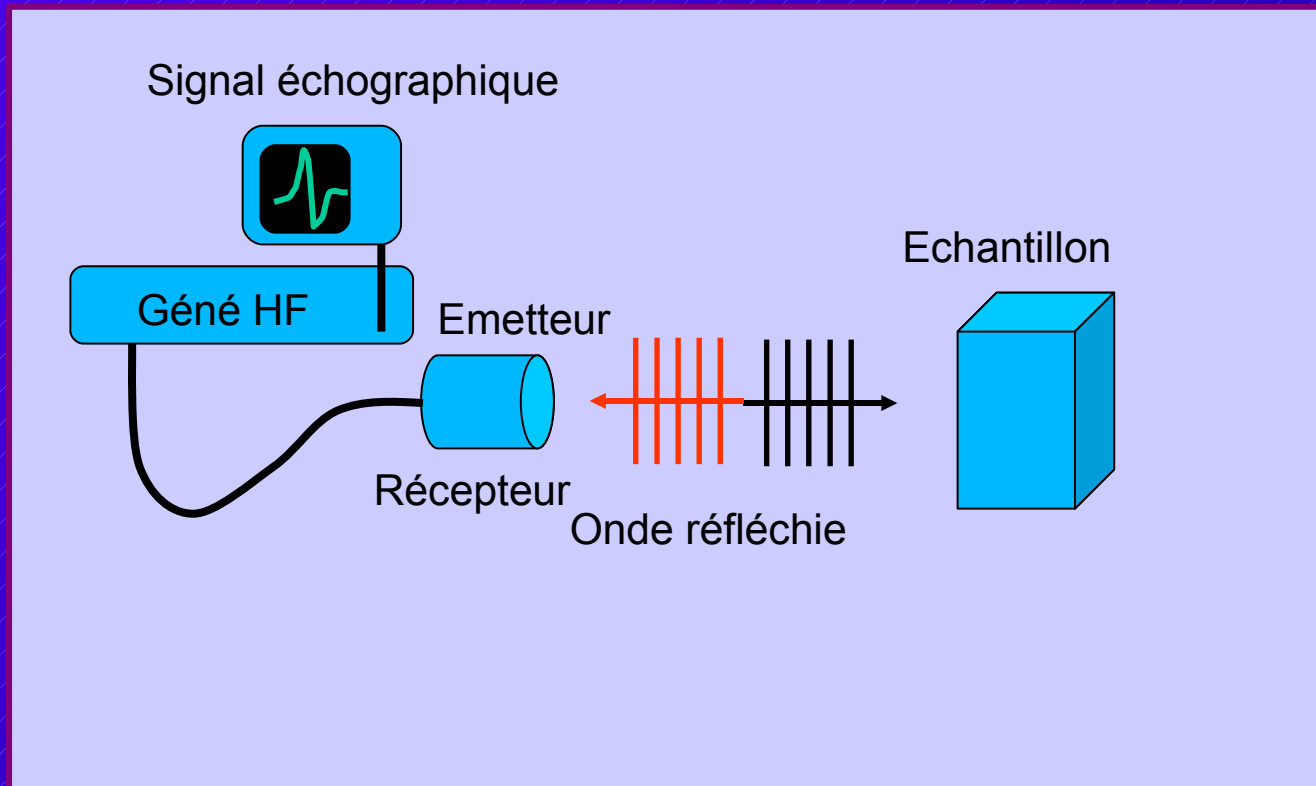
II – La chaîne de mesure

Le principe est **d'envoyer** une quantité d'énergie dans le matériau et de **recupérer** cette énergie qui est alors porteuse **d'information**.

==> Utilisation d'un dispositif :
La **chaîne de mesure** (ou de contrôle)

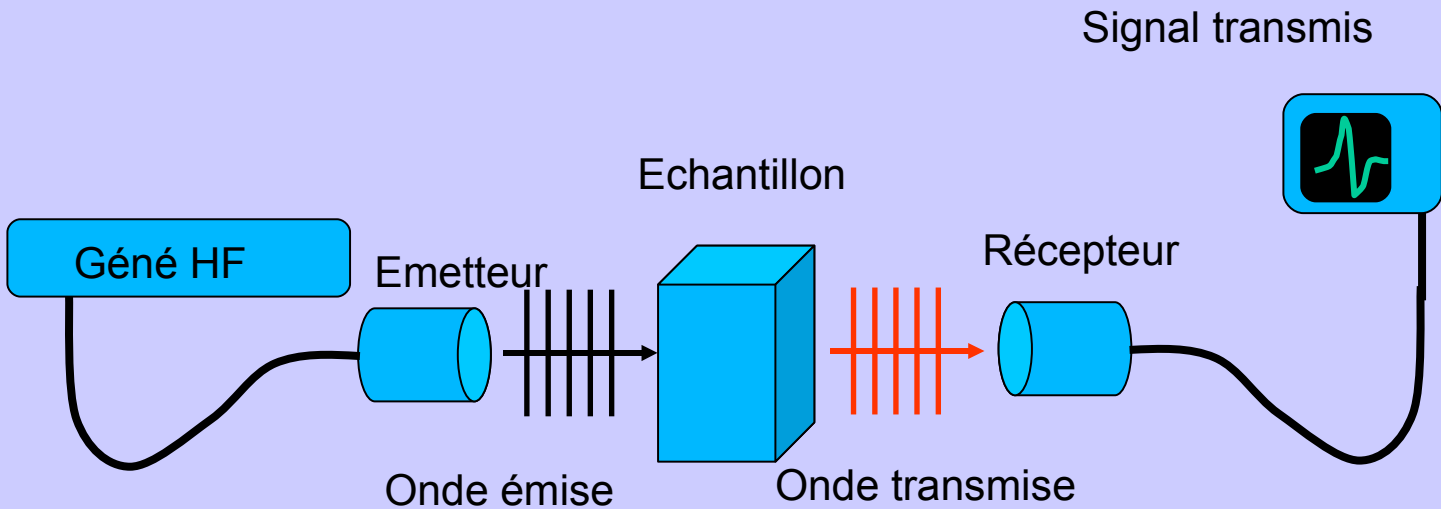
II – La chaîne de mesure

Méthode échographique



II – La chaîne de mesure

Méthode par **transmission**



III – L'onde impulsionnelle

Le CND nécessite des signaux localisés dans l'espace et dans le temps :
plus d'ondes planes ==> faisceaux bornés
plus d'ondes monochromatiques ==> onde impulsionnelle

Le signal ultrasonore va avoir à satisfaire des critères a priori contradictoires.

III – L'onde impulsionnelle

Rappel : mauvais rendement au passage de l'eau à l'acier :

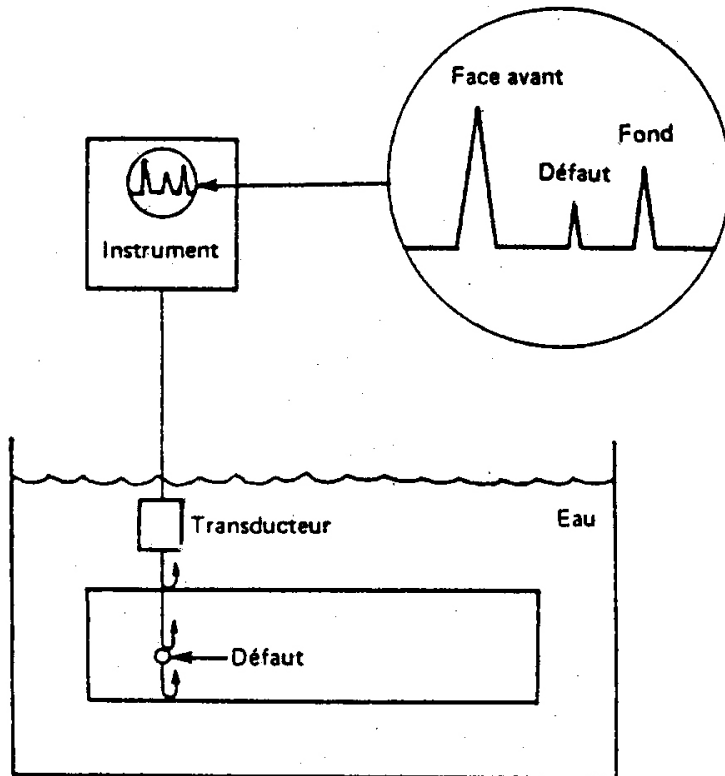


Fig. 1 – Schéma représentant un système d'échographie ultrasonore.

$$T_E = \left(\frac{4Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2 \approx 0.12 = 12\%$$

$$R_E = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \right)^2 \approx 0.88 = 88\%$$

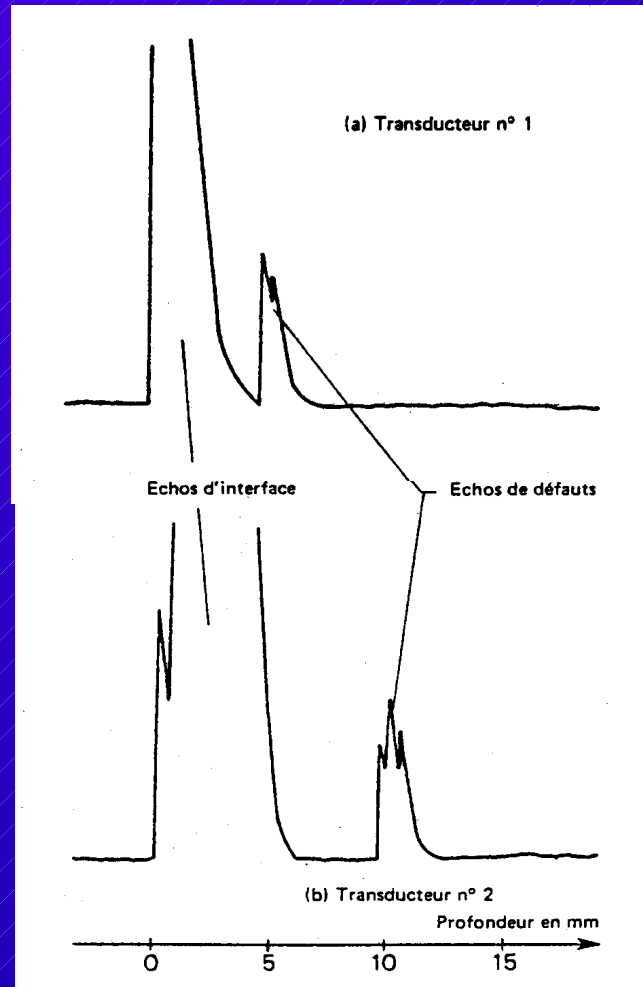
Contrôle en
échographie

=> aller-retour :

$$T_E^2 \approx 1.4\%$$

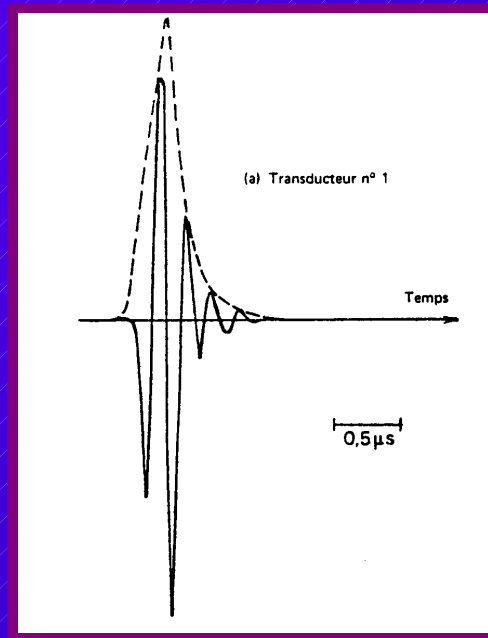
III – L'onde impulsionnelle

2 transducteurs différents sur
bloc-étalon :
trou de 0.5 mm de diamètre à 5
et 10 mm de profondeur



III – L'onde impulsionnelle

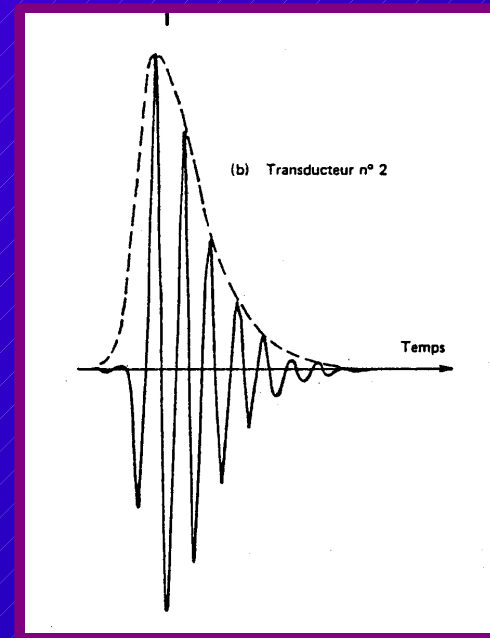
Transducteur 1 :



Plus court :

Mieux résolu en temps

Transducteur 2 :



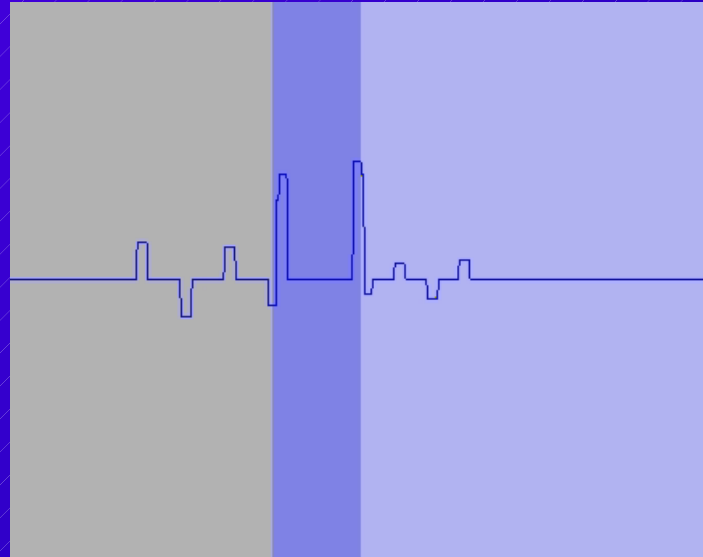
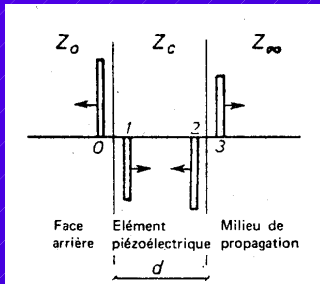
Plus long :

Plus puissant

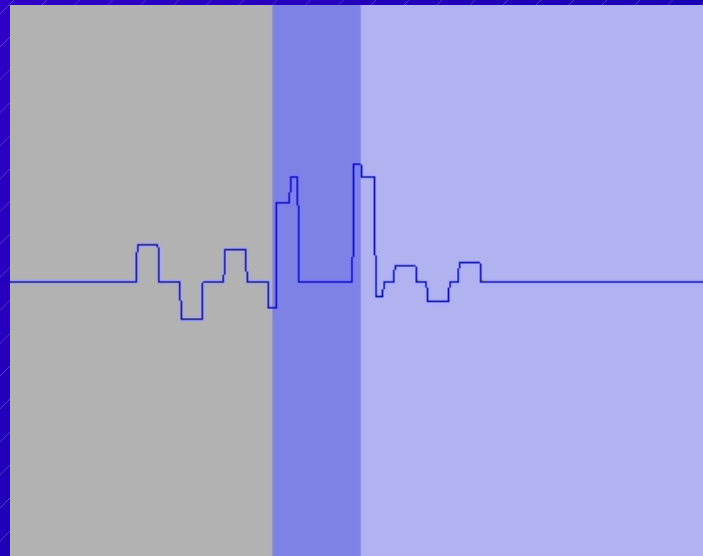
Compromis à trouver

III – L'onde impulsionnelle

Impulsion courte

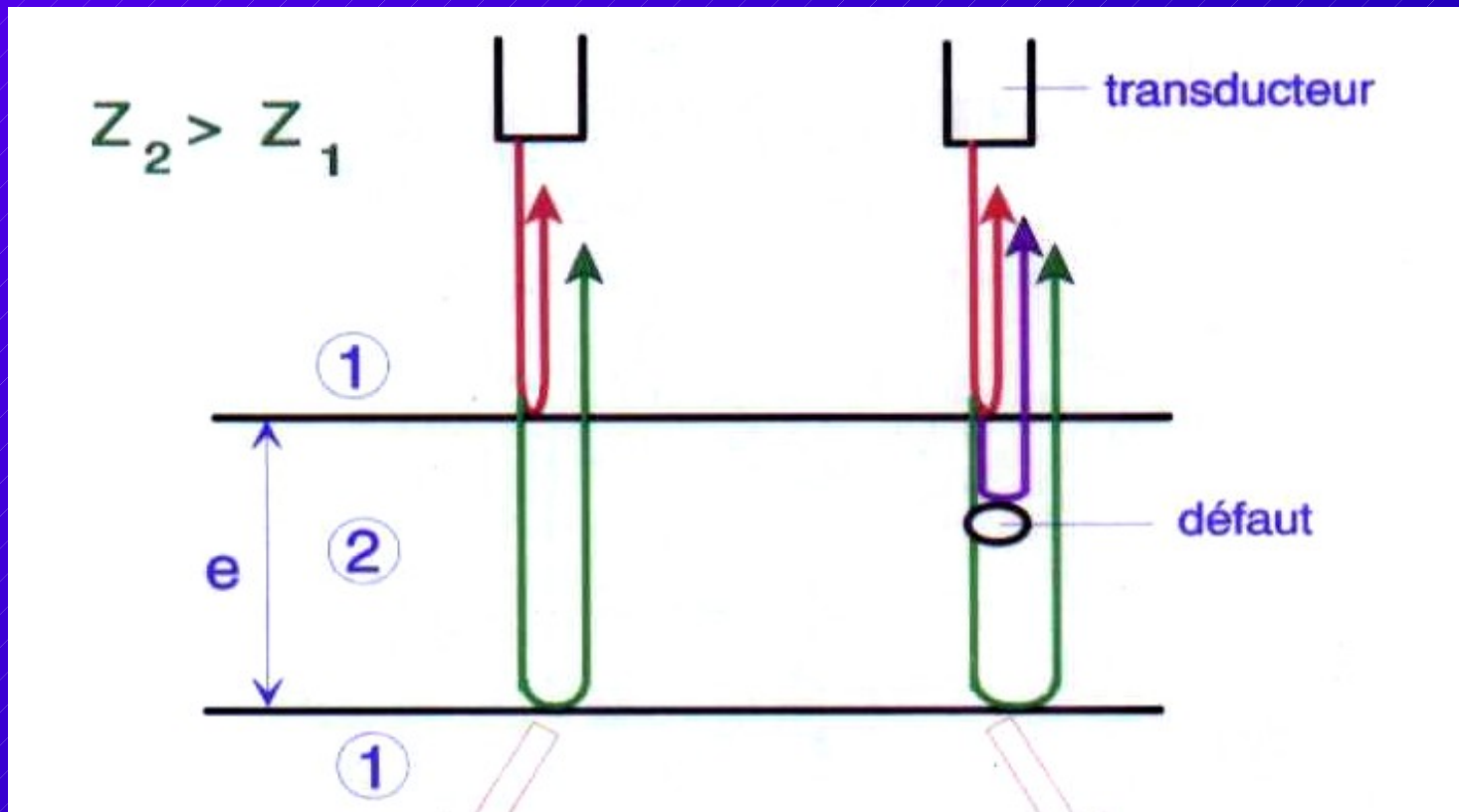


Impulsion longue



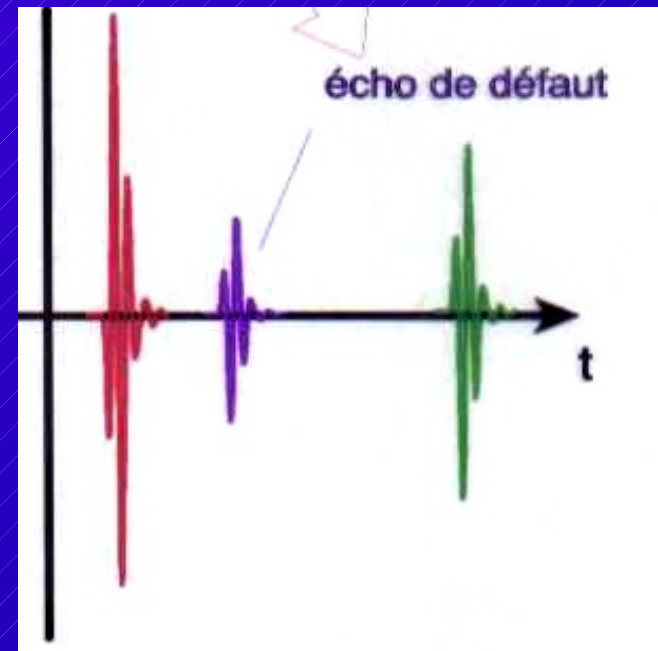
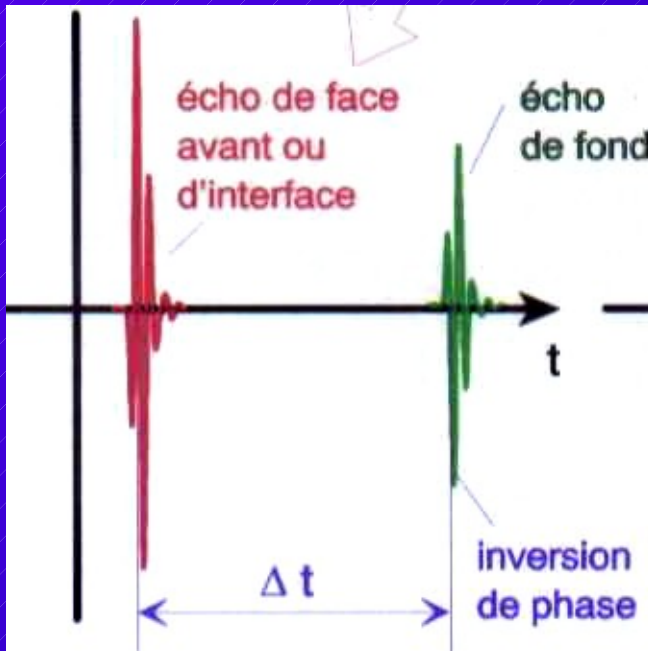
IV – Les méthodes d'échographie 1) A-scan

C'est le relevé de la mesure du signal échographique $f(t)$



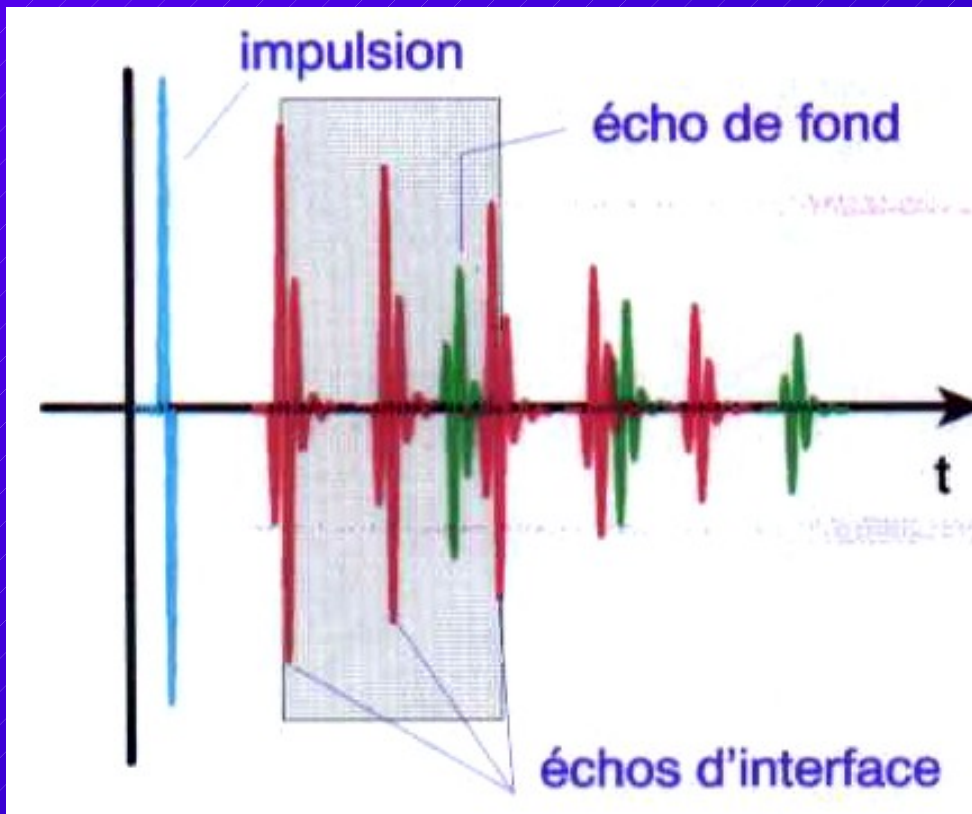
IV – Les méthodes d'échographie 1) A-scan

C'est le relevé de la mesure du signal échographique $f(t)$



IV – Les méthodes d'échographie 1) A-scan

Problèmes de réglages : colonne d'eau

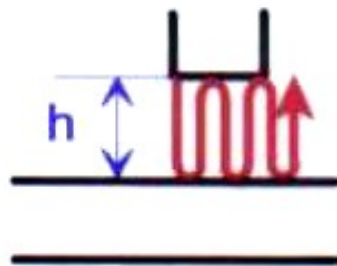


Si la **colonne d'eau** est trop **faible**, les multiples échos dans l'eau vont s'intercaler entre les réflexions dans la pièce

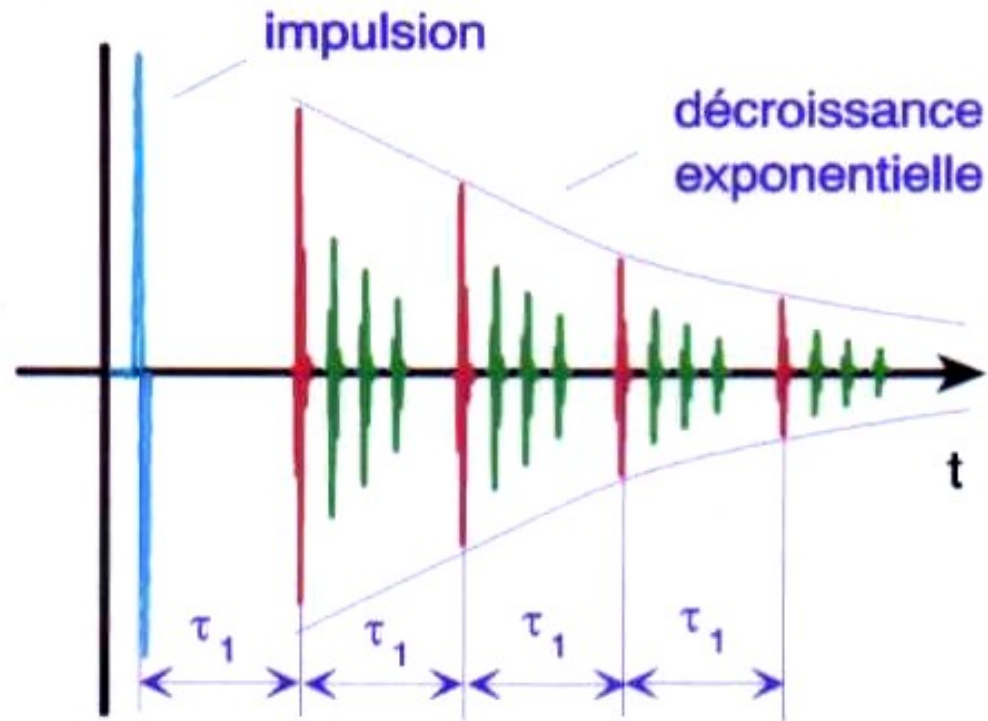
IV – Les méthodes d'échographie 1) A-scan

Problèmes de réglages : colonne d'eau

Dans la colonne d'eau



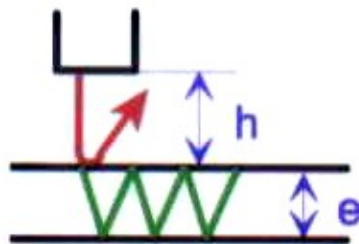
$$\tau_1 = \frac{2h}{V_{\text{eau}}}$$



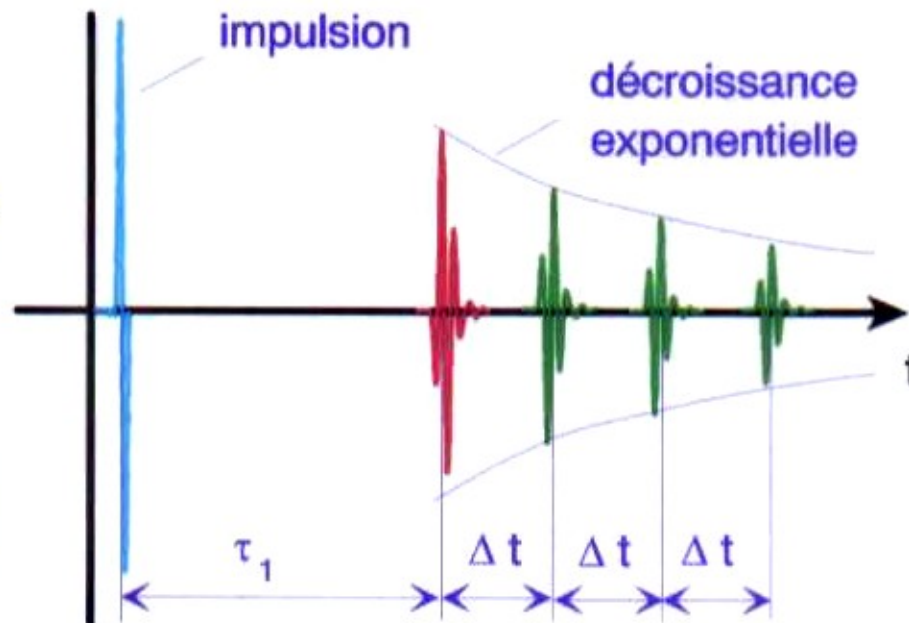
IV – Les méthodes d'échographie 1) A-scan

Problèmes de réglages : dans la pièce

Dans la pièce



$$\Delta t = \frac{2e}{v}$$

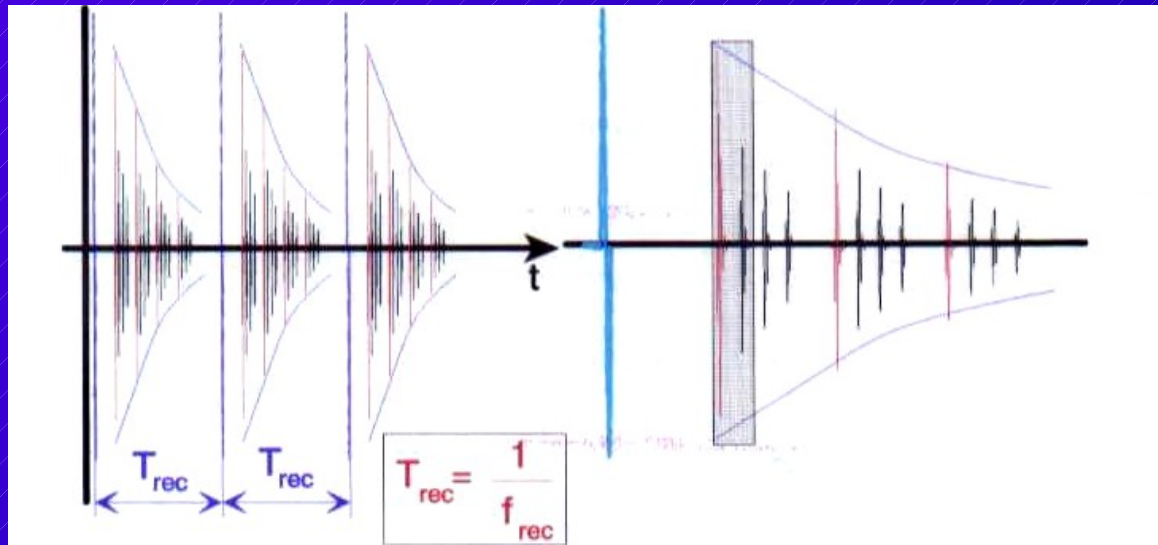


IV – Les méthodes d'échographie 1) A-scan

Problèmes de réglages : fréquence de **récence**

Rérence

périodicité avec laquelle on excite le transducteur avec une impulsion

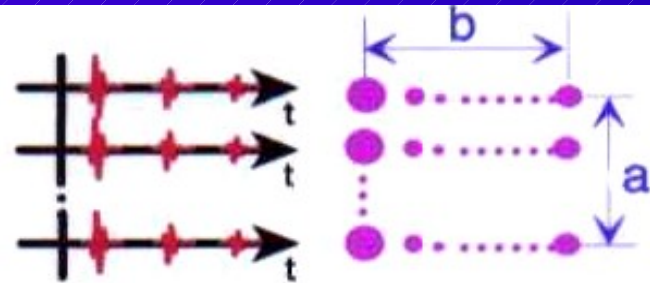
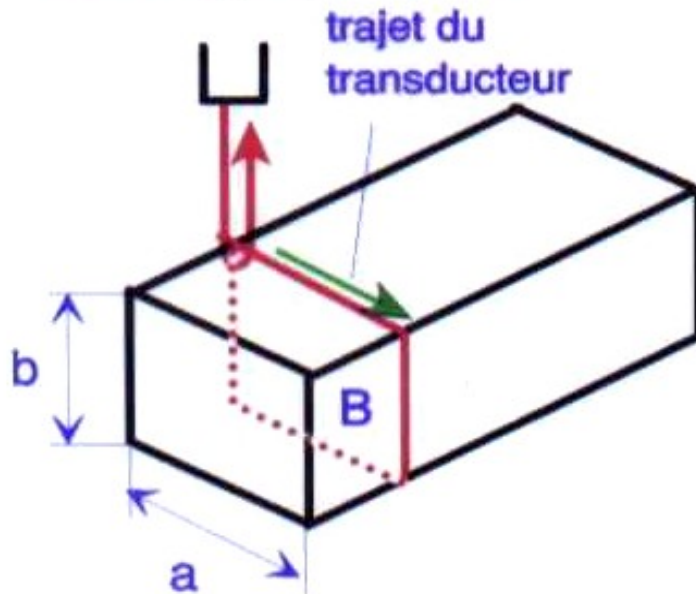


Si $T_{rec} \searrow$ c'est-à-dire si $f_{rec} \nearrow$ alors les impulsions s'intercalent entre les différents échos, et recréent d'autres échos

IV – Les méthodes d'échographie 2) B-scan

Représentation "en coupe"

Echographie B



Correspond à une **coupe du matériau**

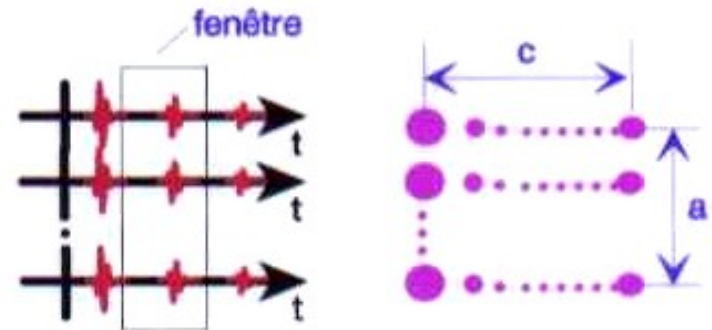
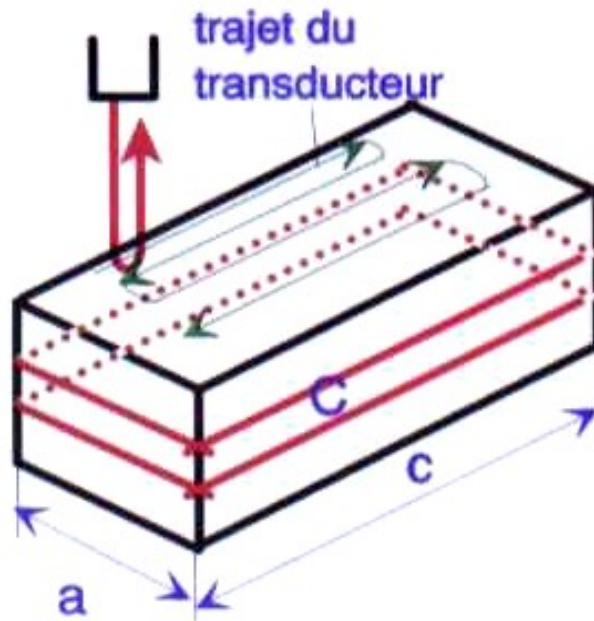
Transducteur déplacé sur une ligne
==> série de signaux en échographie A

A chaque amplitude correspond une intensité lumineuse, reportée en temps et en profondeur.

IV – Les méthodes d'échographie 3) C-scan

Représentation cartographique

Echographie C

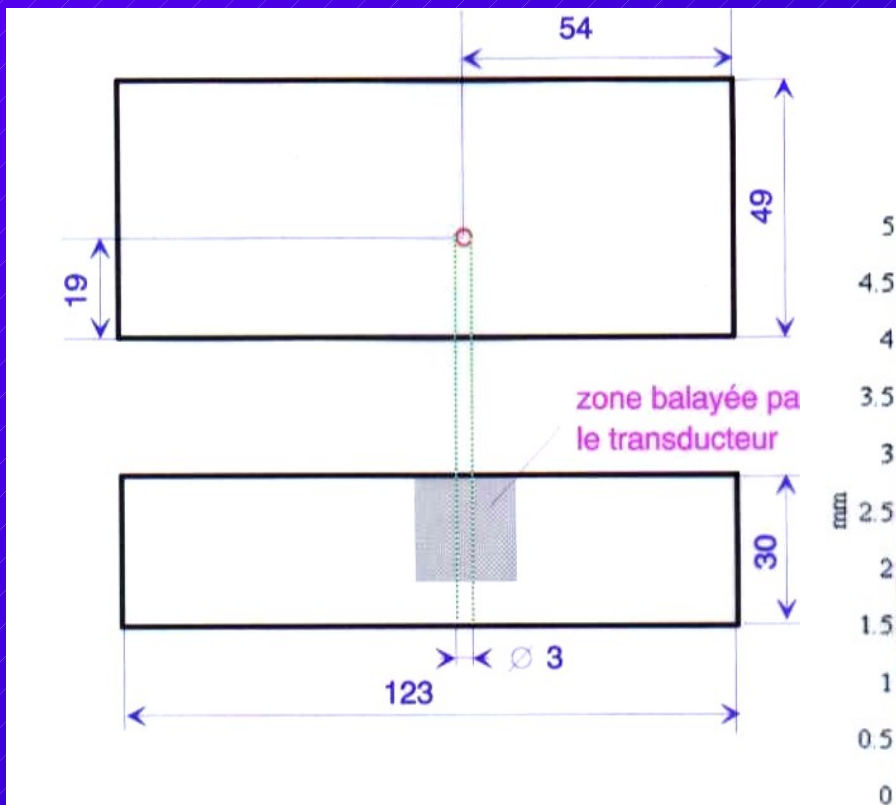


Correspond à une **représentation d'une tranche de matériau.**

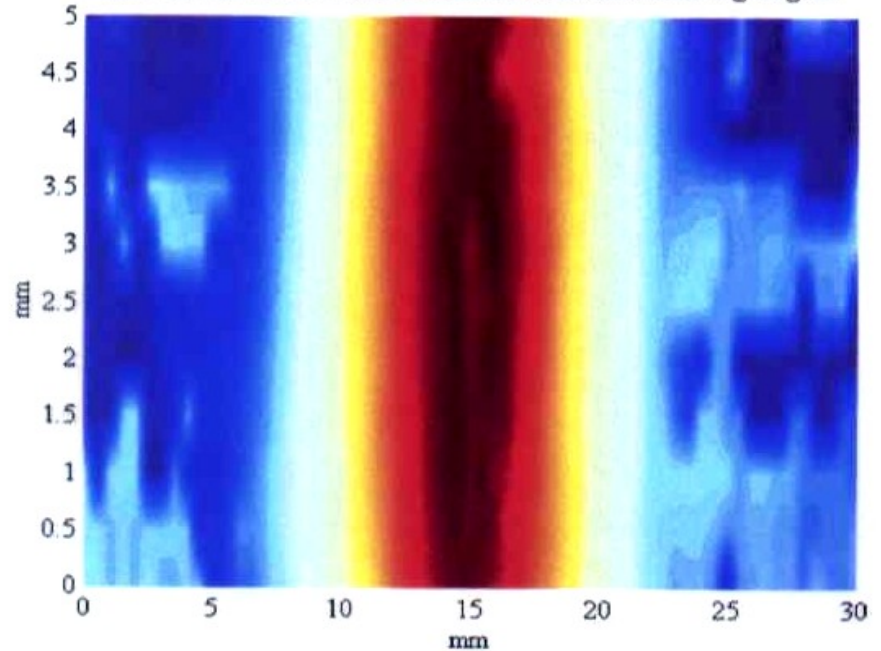
- Transducteur déplacé sur toute la surface
- Fenêtrage ==> on ne garde qu'une certaine épaisseur
- Maximum du signal <==> intensité lumineuse

IV – Les méthodes d'échographie 3) C-scan

Représentation **cartographique** : on choisit la **profondeur** d'analyse



Trou débouchant de 3 mm de diamètre dans Cible Acier à gros grain



IV – Les méthodes d'échographie 3) C-scan

Représentation **cartographique** : on choisit la **profondeur** d'analyse



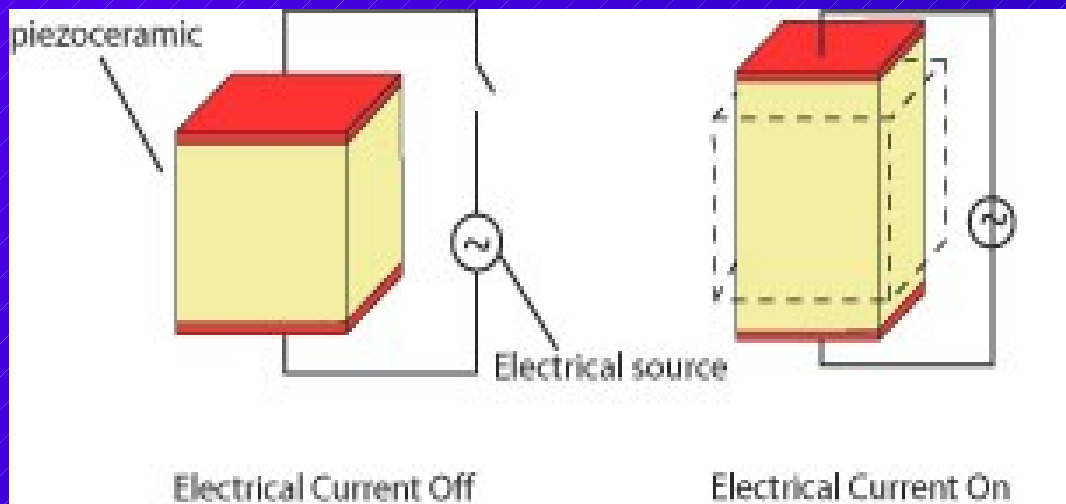
V – Champ de transducteurs US 1) le Transd.

Transducteur, traducteur, sonde, palpeur....



V – Champ de transducteurs US 1) le Transd.

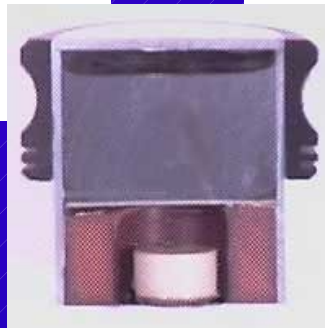
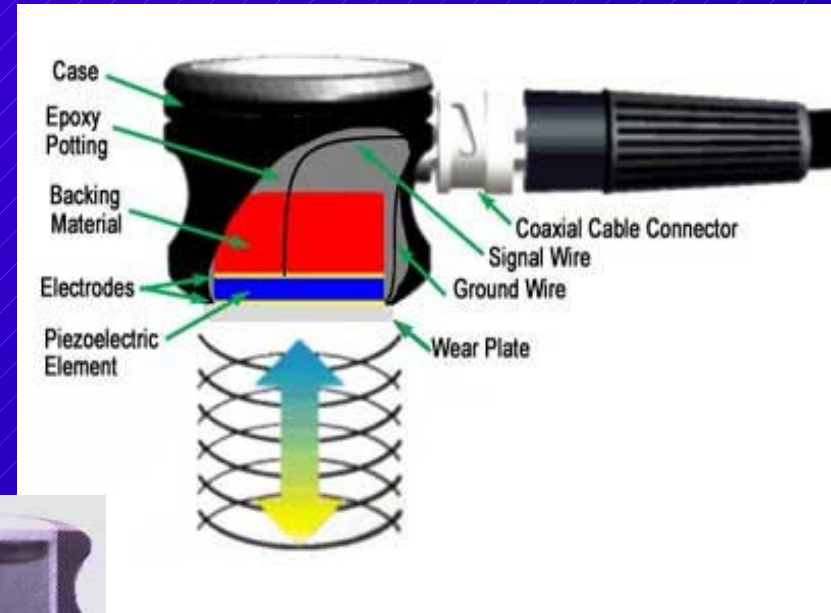
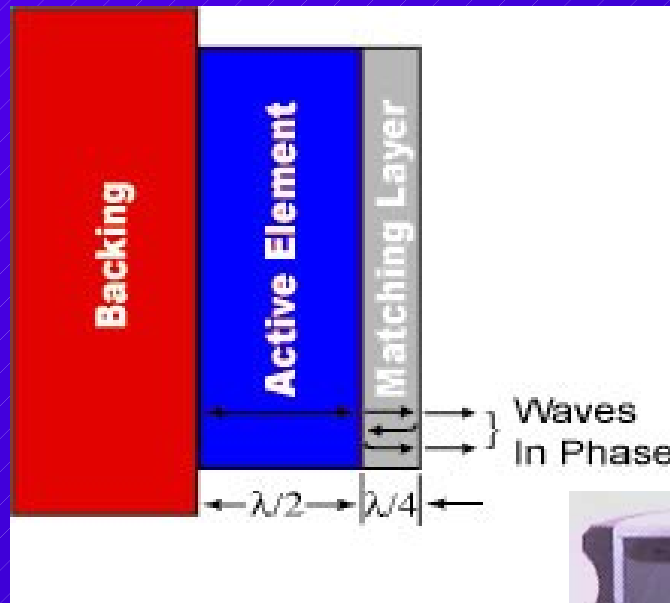
Une technologie très utilisée : la piézoélectricité



Mode de vibration :
résonateur 1D
vibration en
 $e = (2n+1) \lambda/2$

V – Champ de transducteurs US 1) le Transd.

Une technologie très utilisée : la piézoélectricité



V – Champ de transducteurs US 1) le Transd.

Matériaux	ρ	v	Z_c	k
Quartz	2.65	5760	15	0.1
Titanate de Barium	5.7	4400	25	0.5
PZT	7.5	4400	33	0.5
Méta. Pb	5.8	2800	16	0.4

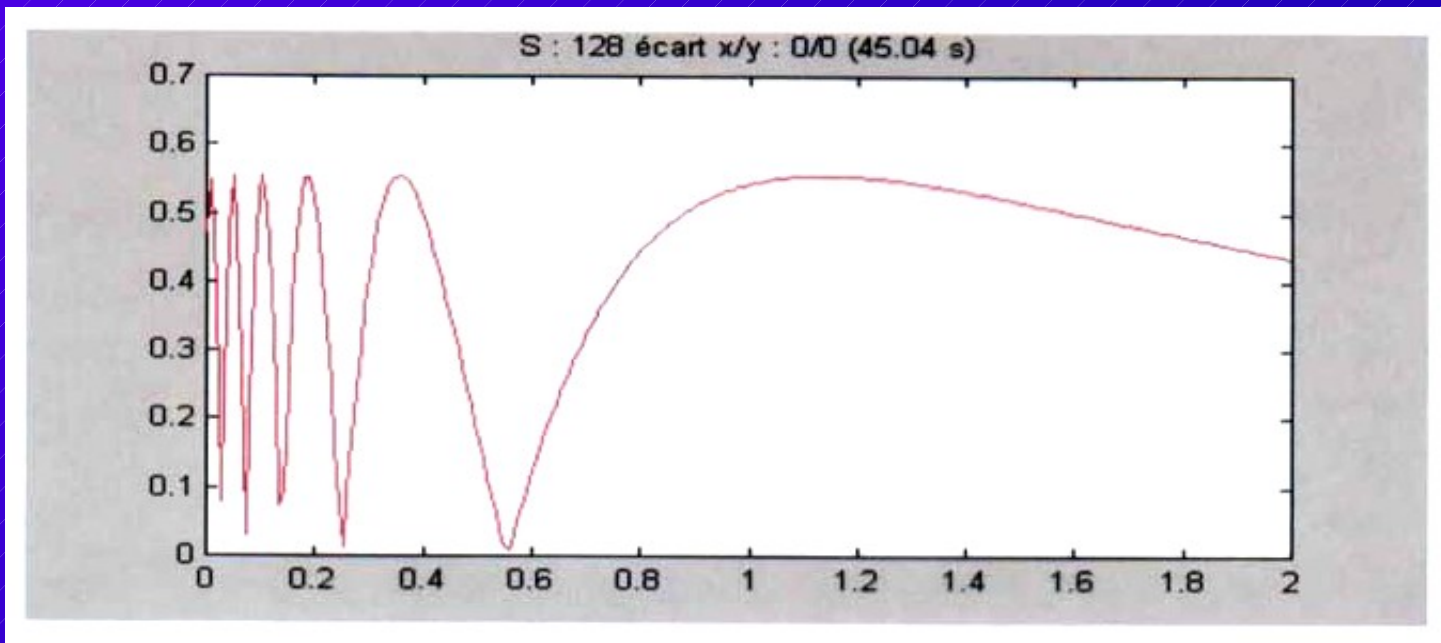
V – Champ de transd. 2) Focalisation

Lors d'un contrôle, on peut être amené à chercher le **maximum** d'énergie
==> on va utiliser les **rebonds** du champ **proche** pour
augmenter la dynamique.

C'est la zone de **FRESNEL**.

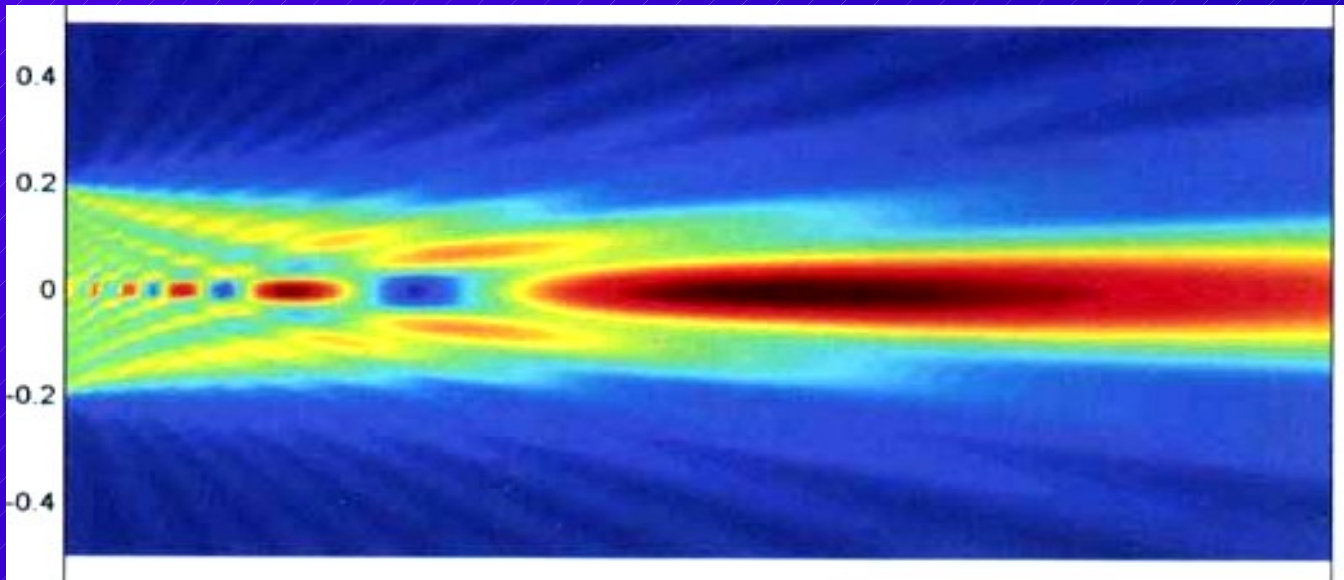
V – Champ de transd. 2) Focalisation

Le champ proche d'un disque présente une succession de maxi et mini.



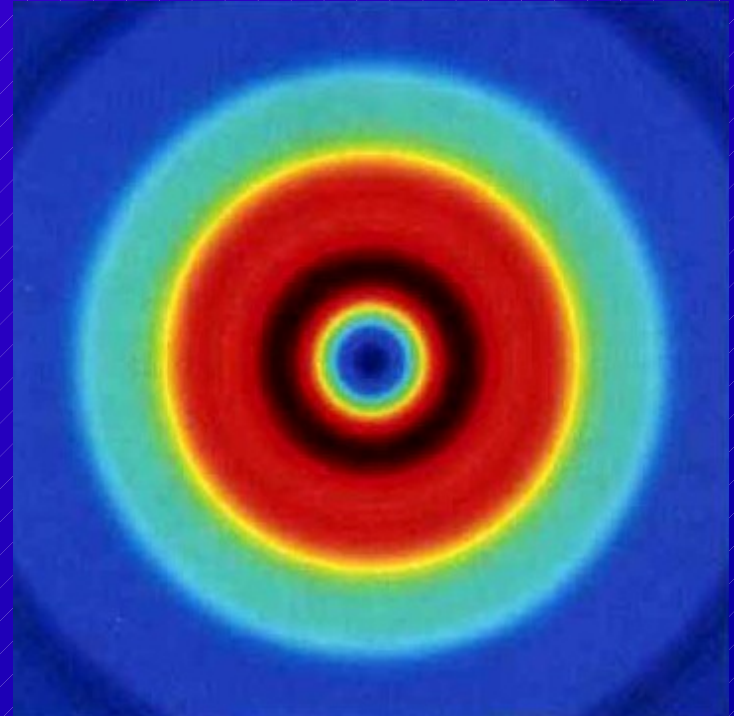
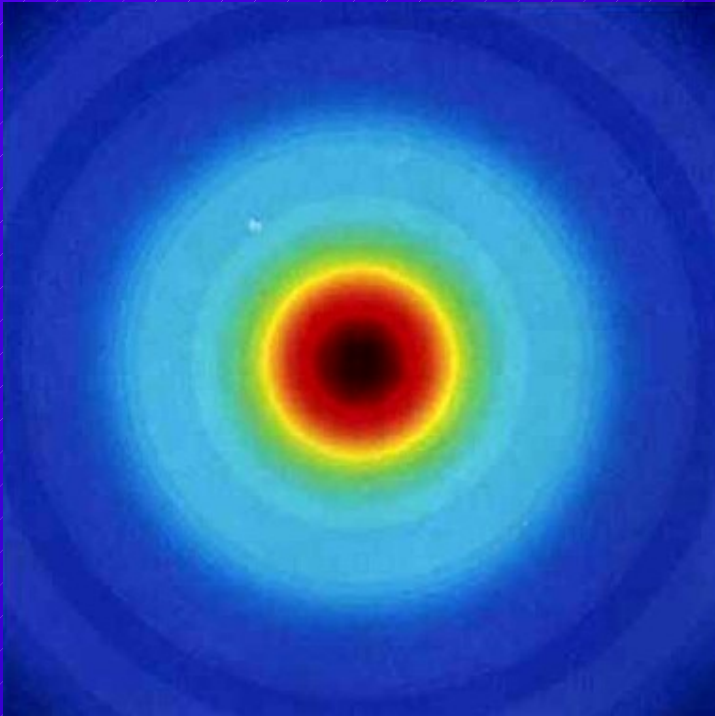
V – Champ de transd. 2) Focalisation

Le champ proche d'un disque présente une succession de maxi et mini.



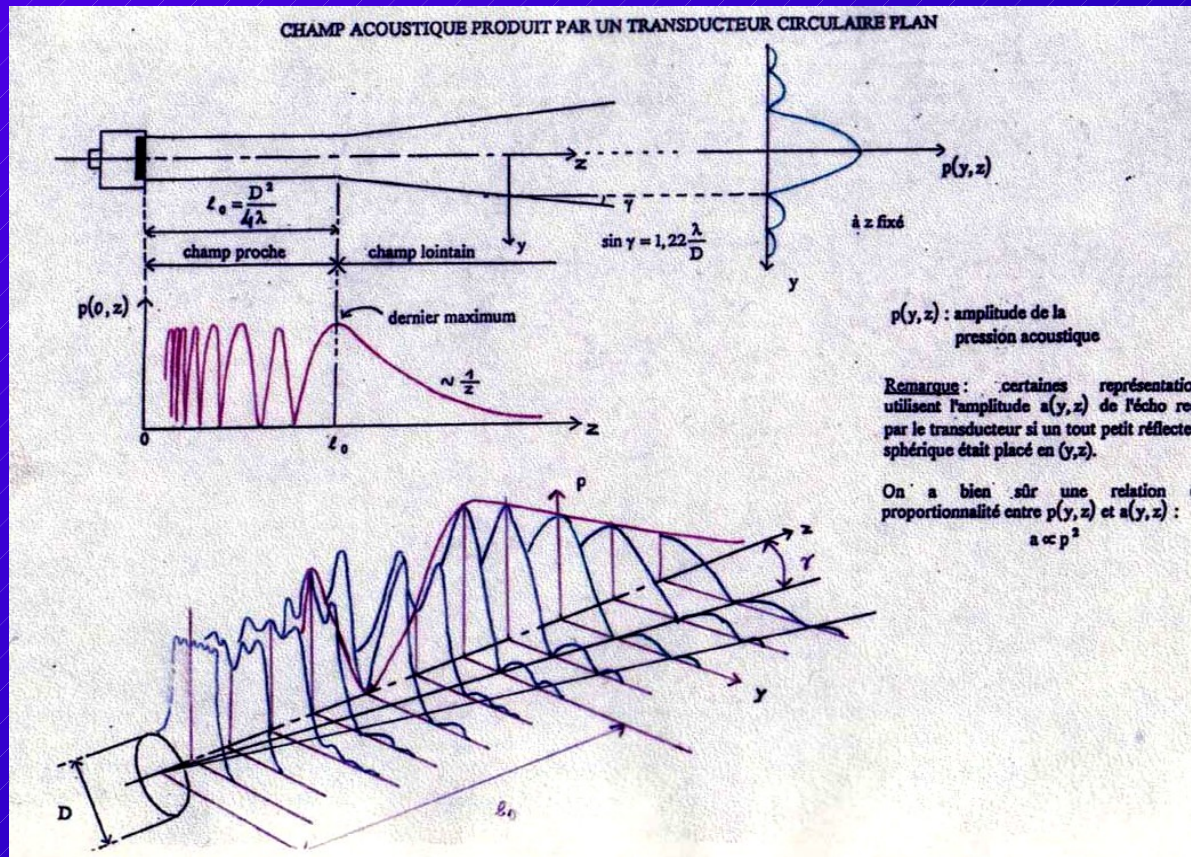
V – Champ de transd. 2) Focalisation

Le champ proche d'un disque présente une succession de maxi et mini.



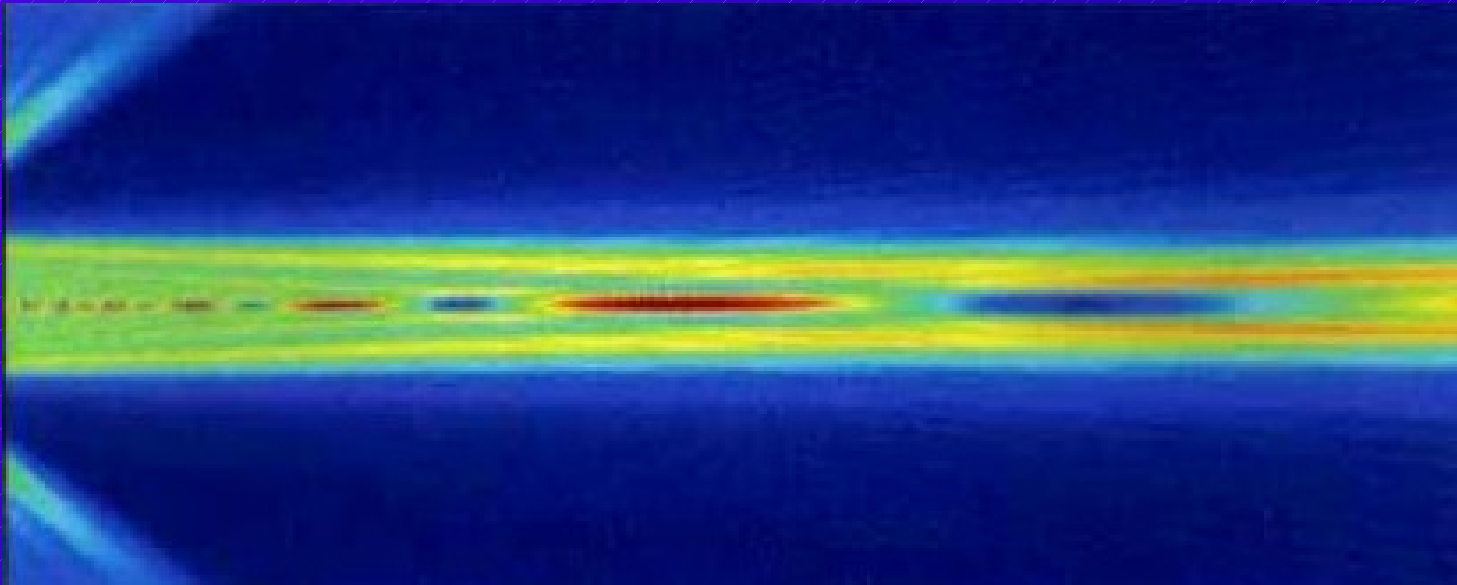
V – Champ de transd. 2) Focalisation

Transducteur Plan



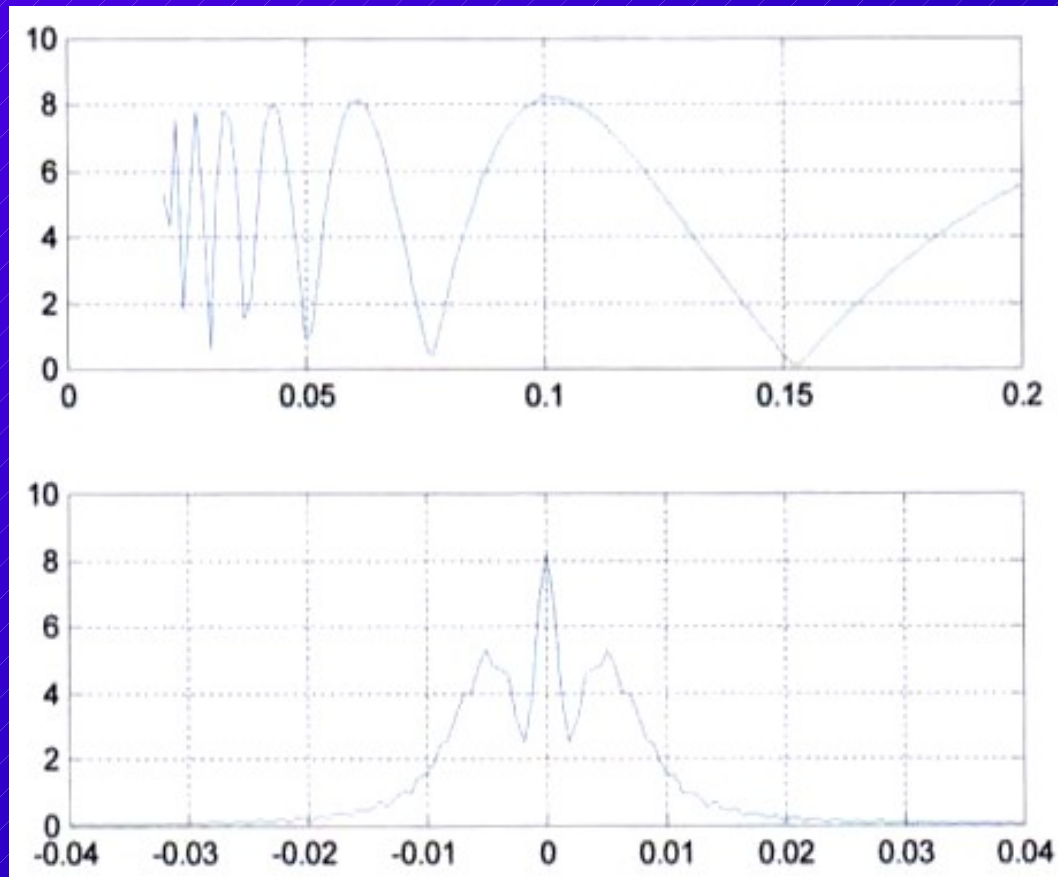
V – Champ de transd. 2) Focalisation

Transducteur D=3/8" f=5MHz Plan



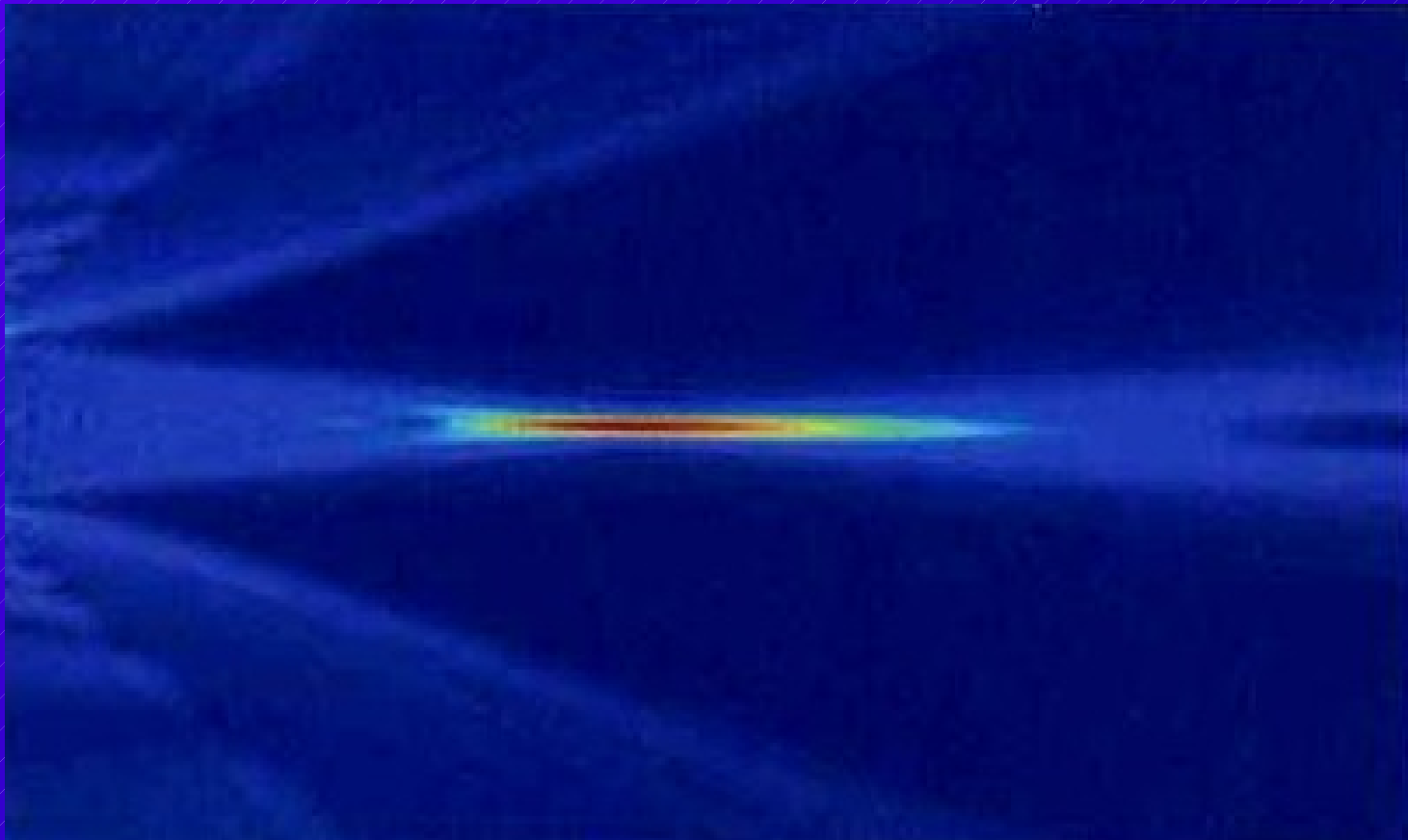
V – Champ de transd. 2) Focalisation

Transducteur D=3/8" f=5MHz Plan



V – Champ de transd. 2) Focalisation

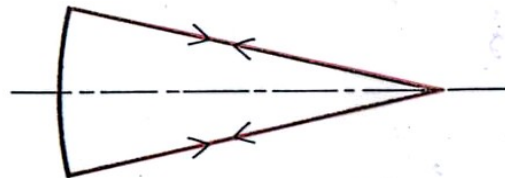
Transducteur D=3/8" f=5MHz focalisé (70mm)



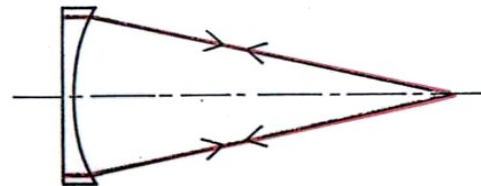
V – Champ de transd. 2) Focalisation

Différents procédés de focalisation

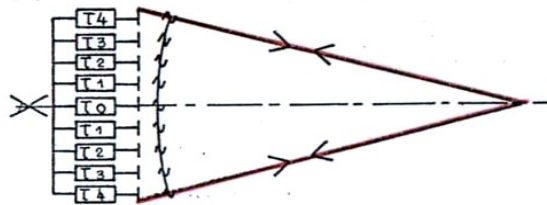
FOCALISATION



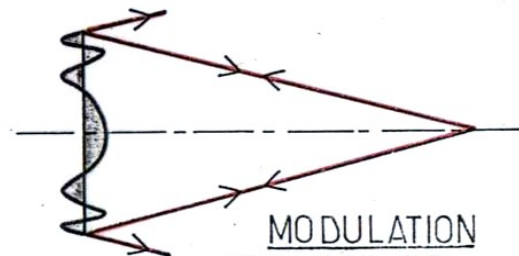
ÉMETTEUR SPHÉRIQUE



LENTILLE ACOUSTIQUE



LIGNES A RETARD



MODULATION
D'AMPLITUDE
(HOLOGRAPHIE)

V – Champ de transd. 2) Focalisation

Grandeurs à prendre en compte :

• focale (lentille) $f = \frac{R}{1 - \frac{V_{\text{eau}}}{V_{\text{lentille}}}}$

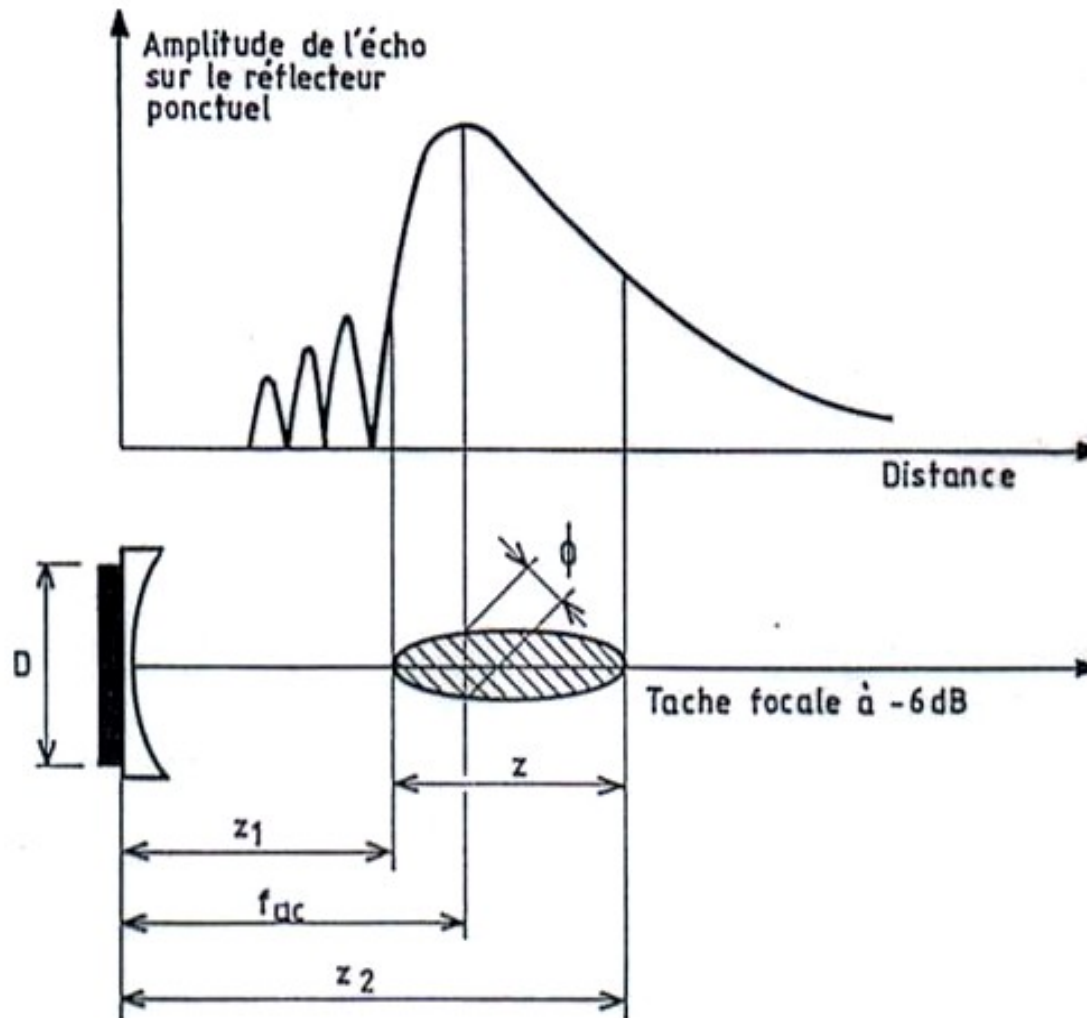
• distance du champ proche $L_0 = \frac{D^2}{4\lambda}$

• diamètre tache focale $\Phi = \frac{f\lambda}{D}$

• longueur de la tache focale $z = 7\lambda \frac{f^2}{D^2}$

• degré de focalisation $g = \frac{f}{L_0}$

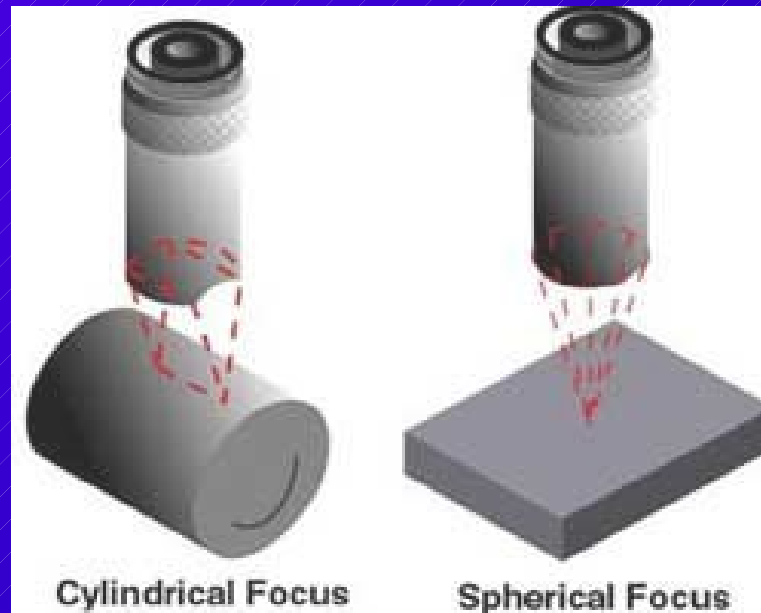
V – Champ de transd. 2) Focalisation



V – Champ de transd. 2) Focalisation

- Degré de focalisation : $g = f_{ac}/l_o$
(l_o : champ proche = $D^2/4\lambda$)
- Diamètre de la tache focale : $\phi = g \cdot \frac{D}{4} = \frac{f_{ac} \lambda}{D}$
- Position du début et de la fin de la tache focale :
 $z_1/l_o = \frac{\sqrt{1+4g} - 1}{2}$
 $z_2/l_o = g + g^2$
- Longueur de la tache focale :
 $z/l_o = 1,75 g^2$ (pour $g < 0,6$)
 $z = 4/3 l_o$ (pour $g = 1$)

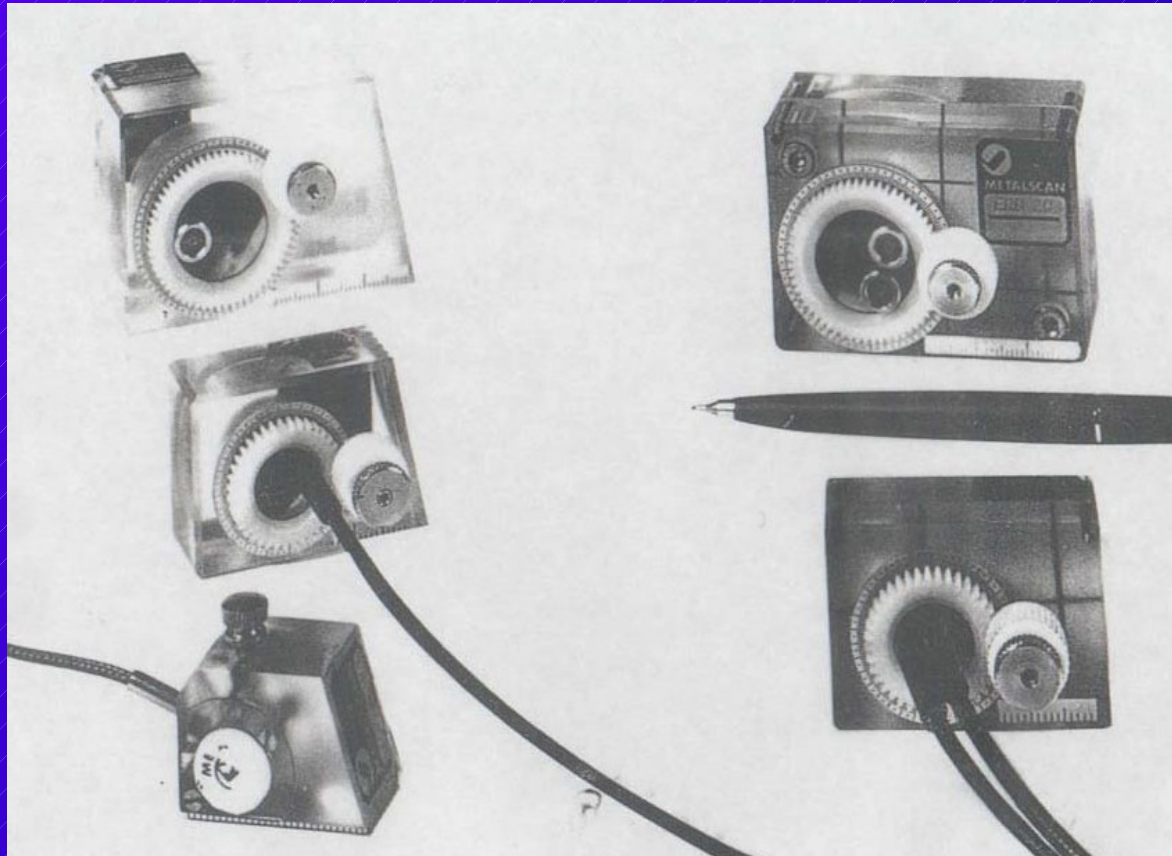
V – Champ de transd. 2) Focalisation



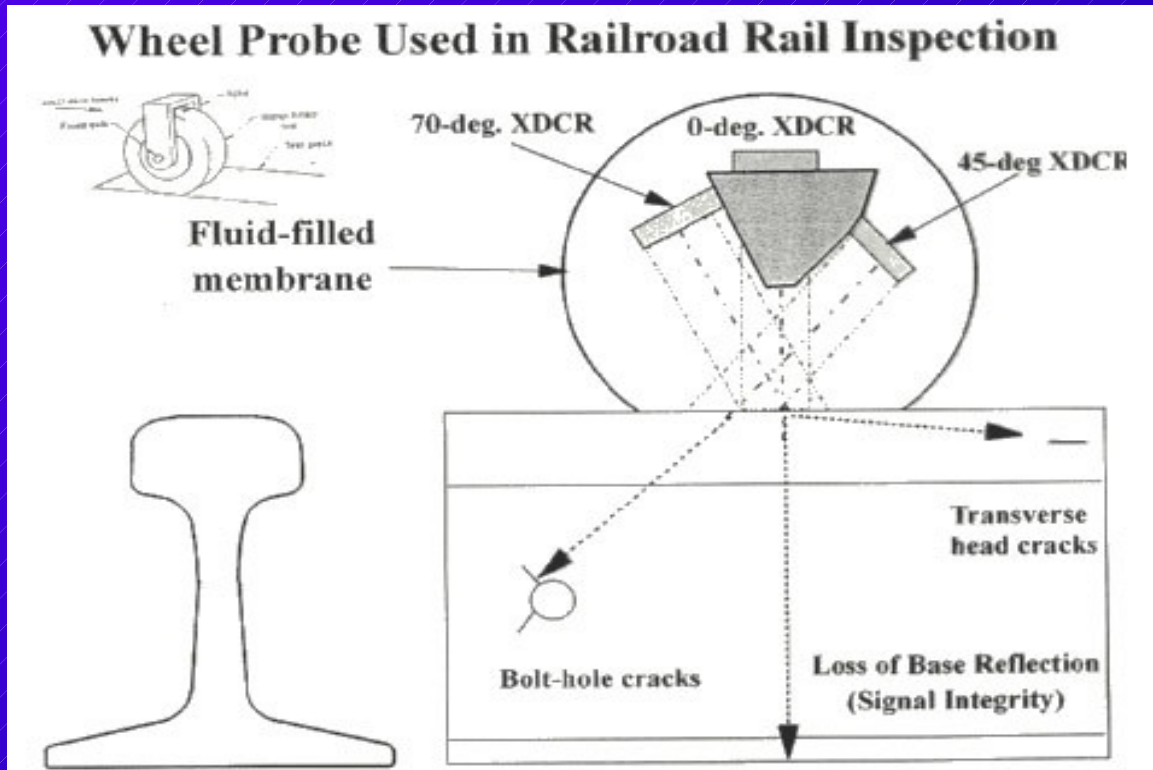
VI – Différents transducteurs



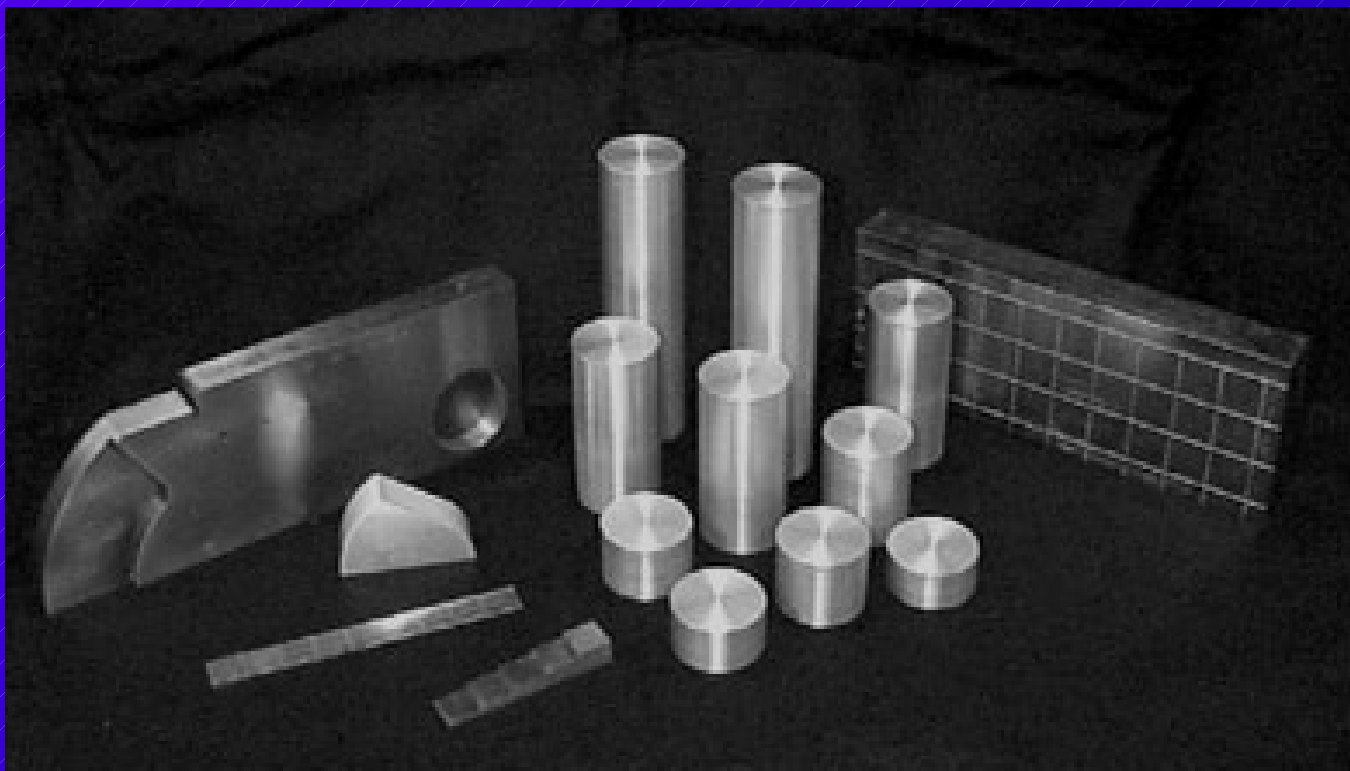
VI – Différents transducteurs



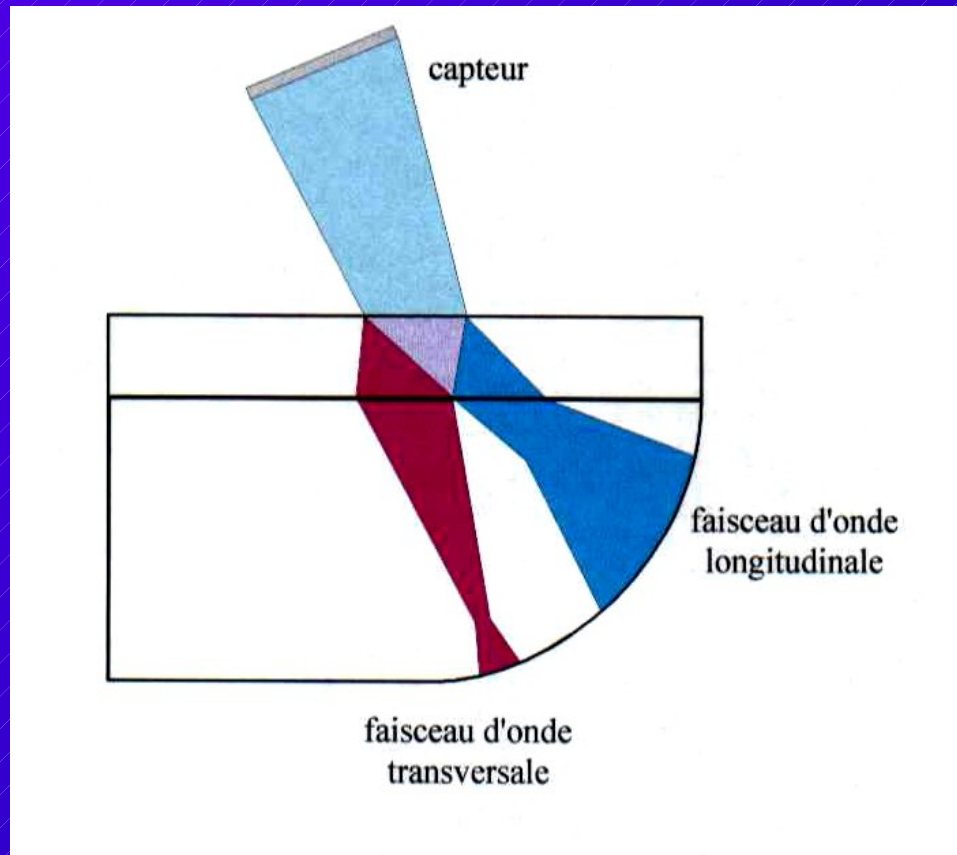
VI – Différents transducteurs



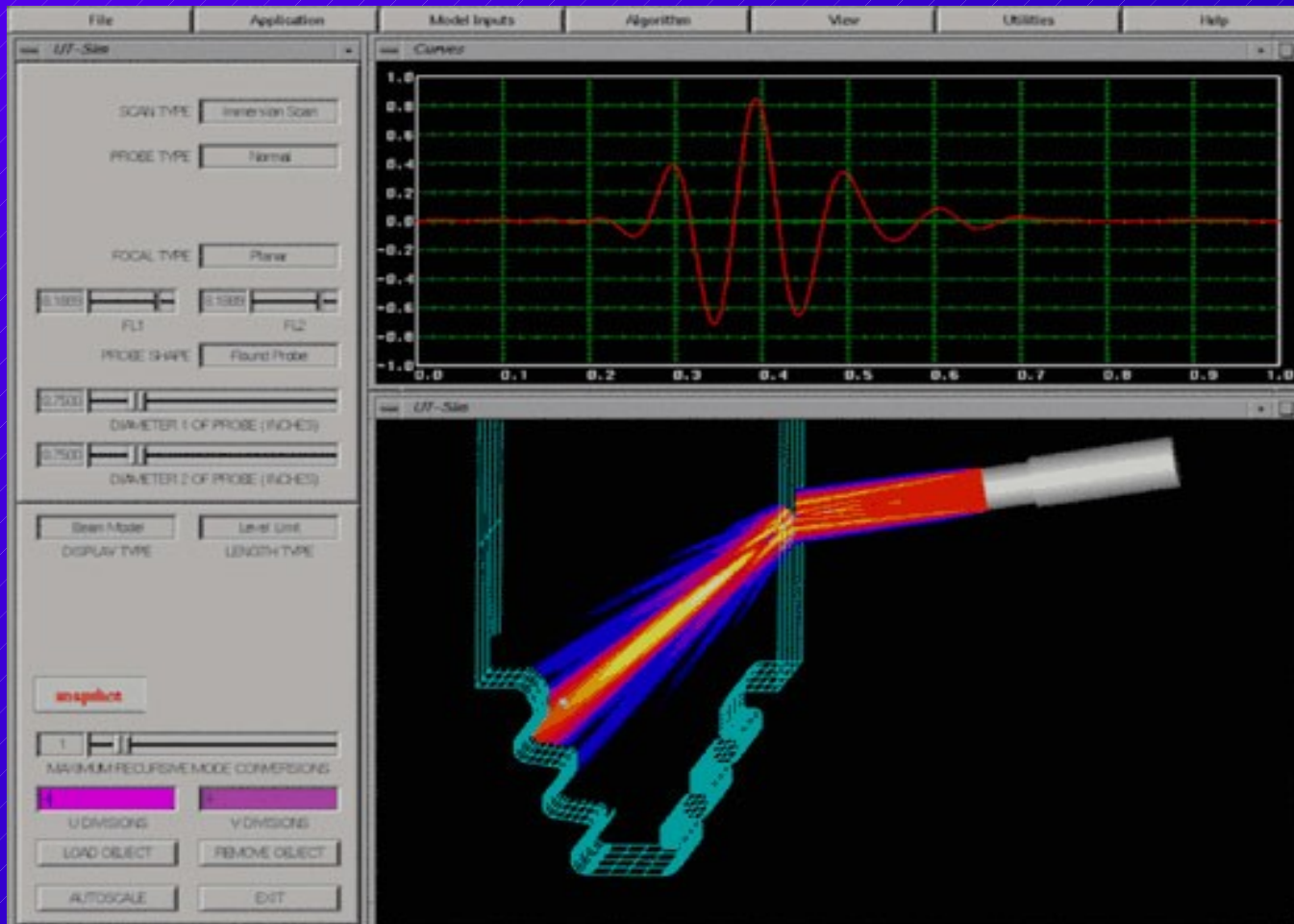
VI – Différents transducteurs : étalonnage



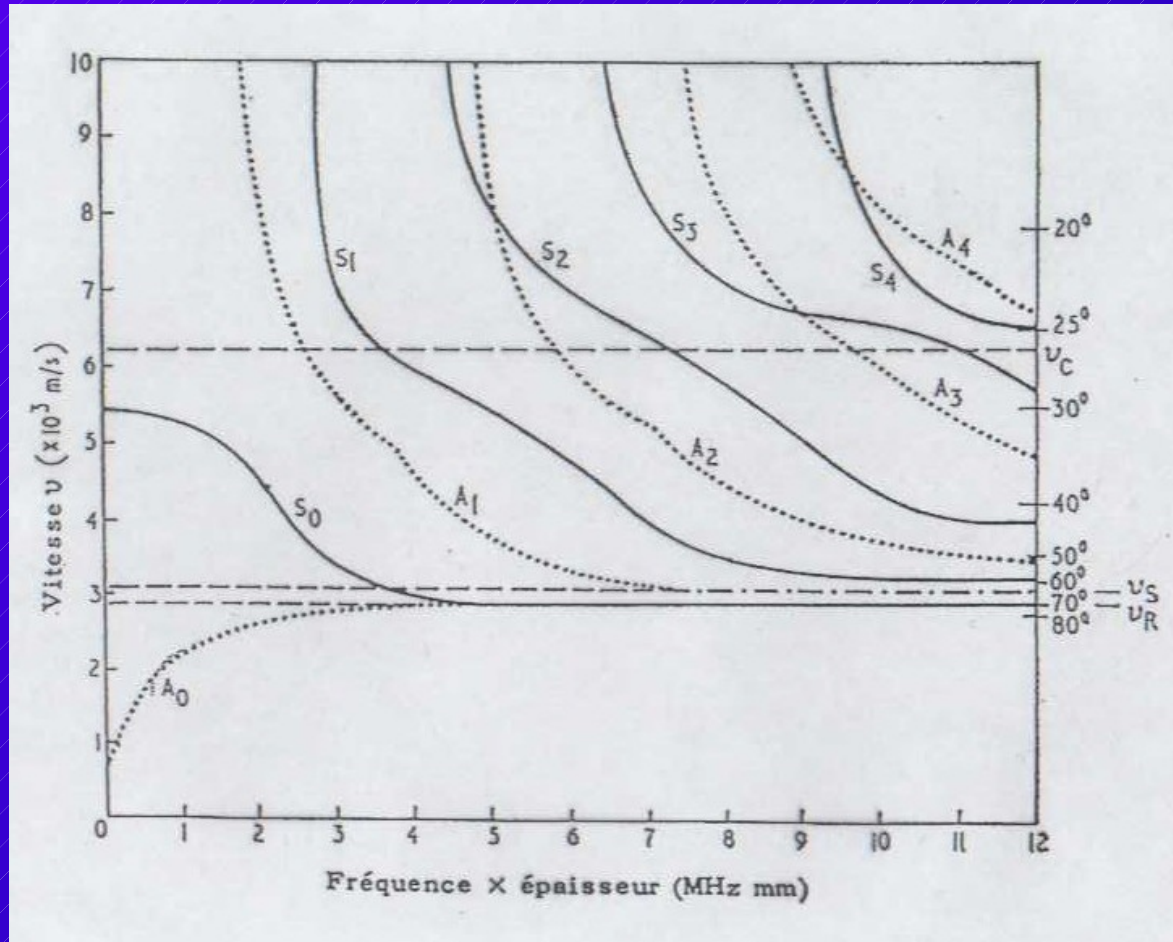
VII – Difficultés : anisotropie



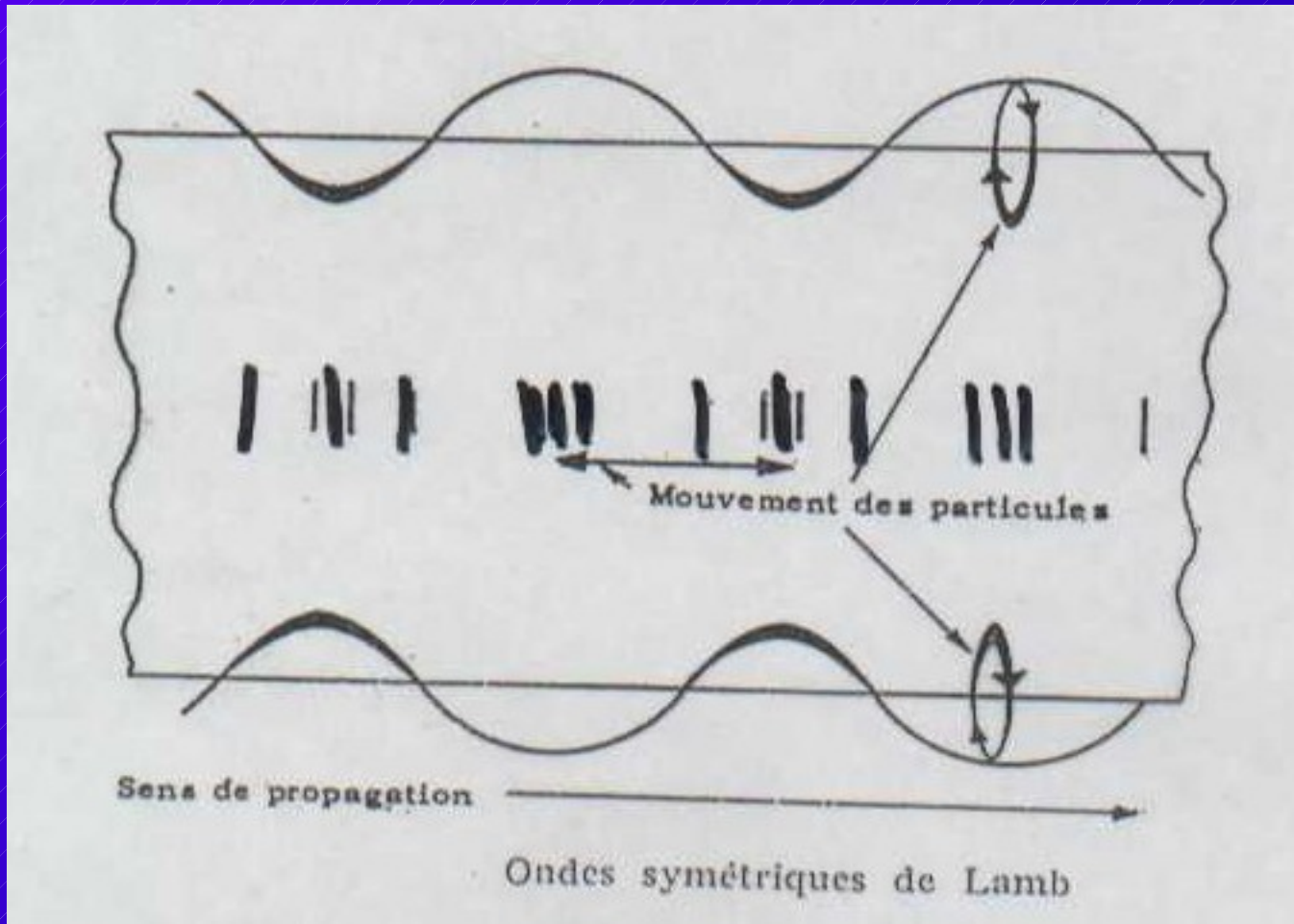
VIII – Etudes : simulation



VIII – Etudes : simulation : ondes de Lamb



VIII – Etudes : simulation : ondes de Lamb



VIII – Etudes : simulation : ondes de Lamb

