

FR8400124

AP 3629

2

5. International congress on non-destructive control
methods
Bordeaux (France) 30 May - 3 Jun 1983
CEA-CONF--6836

REPARTITION DES ENERGIES ULTRASONORES AUX INTERFACES

M. DELEUZE

M. BOURDARIOS

Mme LEPOUTRE

FR8400124

AP 3629

Z

5. International congress on non-destructive control
methods
Bordeaux (France) 30 May - 3 Jun 1983
CEA-CONF--6836

REPARTITION DES ENERGIES ULTRASONORES AUX INTERFACES

M. DELEUZE

M. BOURDARIOS

Mme LEPOUTRE

RESUME

Cette étude vise à mieux connaître le comportement énergétique des ondes ultrasonores aux interfaces, dans un contrôle en immersion, en fonction de l'incidence du faisceau acoustique. Pour chaque type d'interface, des relations mathématiques permettent de connaître le pourcentage d'énergie, par rapport à l'énergie incidente, de chaque onde réémise par l'interface.

INTRODUCTION

Dans un contrôle ultrasonore en immersion, en incidence oblique, deux phénomènes acoustiques interviennent à l'interface :

- modification de la direction de l'onde (phénomènes de réflexion et de réfraction)
- Répartition de l'énergie incidente entre les diverses ondes réfléchies et réfractées.

Pour le premier, les lois de Snell-Descartes rendent bien compte des directions prises par les ondes après interaction avec l'interface.

Pour le second, il existe des relations mathématiques qui permettent d'évaluer l'énergie de chacune de ces ondes.

Bien que ces phénomènes ne soient pas inconnus des opérateurs, ils sont généralement peu mis à profit lorsqu'une onde incidente atteint un interface sous une incidence oblique. On se contente bien souvent des seules lois de la réfraction, sans s'intéresser aux transferts d'énergies. A notre avis, lorsque le contrôle implique une onde ultra-sonore incidente oblique par rapport à la surface du matériau à examiner, les lois de Snell-Descartes ne suffisent pas pour avoir une connaissance approfondie des phénomènes acoustiques mis en jeu. Dans ce cas de contrôle, les deux facteurs (direction, énergie) doivent prendre toute leur importance.

.../...

I - EXPRESSIONS MATHÉMATIQUES DES TRANSFERTS D'ÉNERGIE AUX INTERFACES

Dans un contrôle ultrasonore en immersion, l'onde acoustique émise par le transducteur, rencontre successivement les interfaces suivants : (figure 1)

- liquide-solide, à son entrée dans le matériau
- solide-liquide, ou solide-air, cause de l'apparition de l'écho de fond
- solide-liquide, à sa sortie du matériau vers le retour au transducteur

Les expressions mathématiques relatives à chaque type d'interface ont d'abord été formulées pour résoudre des problèmes de sismologie. [1] On les a ensuite transposées au contrôle par ultrasons. Elles expriment le pourcentage de l'énergie réfléchie ou réfractée à l'interface par rapport à l'énergie de l'onde incidente, pour toute valeur de l'angle d'incidence.

Pour les calculs des transferts d'énergie, nous convenons des simplifications suivantes :

- caractéristiques du matériau :
 - . à température ambiante,
 - . d'épaisseur indéterminée,
 - . sain et isotrope.
- énergie acoustique :
 - . atténuation nulle sur tout le parcours,
 - . figurée par la ligne représentative de la direction des ondes.

.../...

Les notations utilisées sont les suivantes :

- α Angle d'incidence de l'onde longitudinale.
- β Angle d'incidence de l'onde transversale.
- α Angle de réflexion de l'onde longitudinale.
- β Angle de réflexion de l'onde transversale.
- η Angle de réfraction de l'onde longitudinale.
- ϵ Angle de réfraction de l'onde transversale.
- ρ_1 Densité du milieu incident.
- ρ_2 Densité du milieu de réfraction.

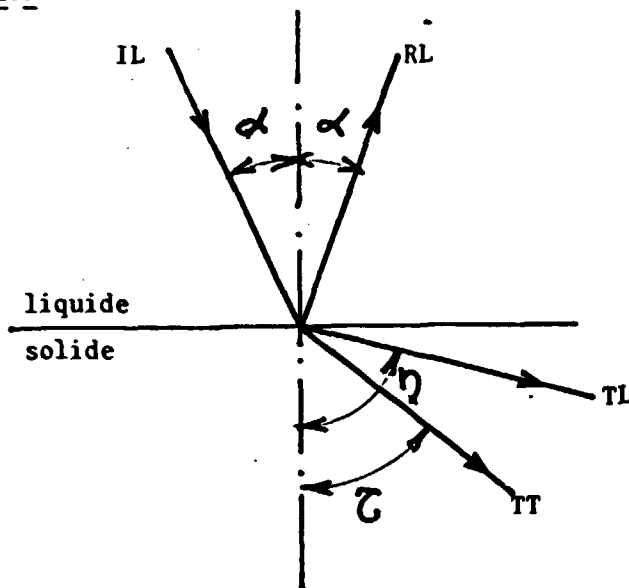
- V1L Vitesse longitudinale dans le milieu incident.
- V1T Vitesse transversale dans le milieu incident.
- V2L Vitesse longitudinale dans le milieu de réfraction.
- V2T Vitesse transversale dans le milieu de réfraction.

- $(RL/IL)^2$ Rapport de l'énergie longitudinale réfléchie à l'énergie incidente.
- $(RT/IL)^2$ Rapport de l'énergie transversale réfléchie à l'énergie incidente.
- $(TL/IL)^2$ Rapport de l'énergie longitudinale transmise (ou réfractée) à l'énergie incidente.
- $(TT/IL)^2$ Rapport de l'énergie transversale transmise (ou réfractée) à l'énergie incidente.

$$z = \rho_2 / \rho_1$$

$$m = V1L/V1T$$

$$n = V2L/V1L$$



$$(RL/IL)^2 = \frac{\left[\cos \eta - n_2 \cos \alpha \left[1 - 2 \sin \tau \sin 2\tau \left(\cos \tau - \frac{1}{m_2} \cos \eta \right) \right] \right]^2}{\left[\cos \eta + n_2 \cos \alpha \left[1 - 2 \sin \tau \sin 2\tau \left(\cos \tau - \frac{1}{m_2} \cos \eta \right) \right] \right]^2} = f(\alpha)$$

$$(TL/IL)^2 = \frac{\left[2 \sqrt{n_2 \cos \alpha \cos \eta} \cos 2\tau \right]^2}{\left[\cos \eta + n_2 \cos \alpha \left[1 - 2 \sin \tau \sin 2\tau \left(\cos \tau - \frac{1}{m_2} \cos \eta \right) \right] \right]^2} = f(\alpha)$$

$$(TT/IL)^2 = \frac{\left[\frac{2n}{m_2} \cos \eta \sqrt{2 \sin 2\alpha \sin 2\tau} \right]^2}{\left[\cos \eta + n_2 \cos \alpha \left[1 - 2 \sin \tau \sin 2\tau \left(\cos \tau - \frac{1}{m_2} \cos \eta \right) \right] \right]^2} = f(\alpha)$$

$$(RL/IL)^2 + (TL/IL)^2 + (TT/IL)^2 = 1$$

- 1er angle critique : α_{C1} pour $\eta = 90^\circ$

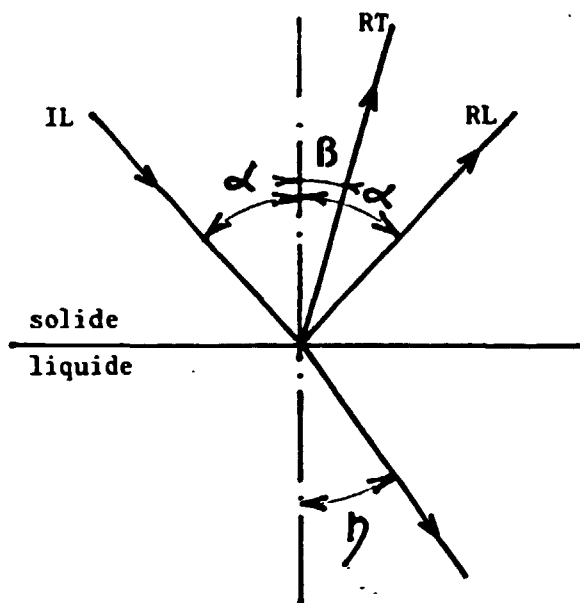
$$\text{tel que : } \sin \alpha_{C1} = \frac{V_{IL}}{V_{2L}}$$

- 2eme angle critique : α_{C2} pour $\tau = 90^\circ$

$$\text{tel que : } \sin \alpha_{C2} = \frac{V_{IL}}{V_{2T}}$$

Pour des angles d'incidence compris entre α_{C1} et α_{C2} , $(TL/IL)^2$ s'annule : l'angle η devient imaginaire, $(RL/IL)^2$ et $(TT/IL)^2$ doivent être calculées en écrivant $\cos \eta$ sous la forme imaginaire :

$$\cos \eta = j \sqrt{\left(\frac{V_{2L}}{V_{IL}} \sin \alpha \right)^2 - 1}$$



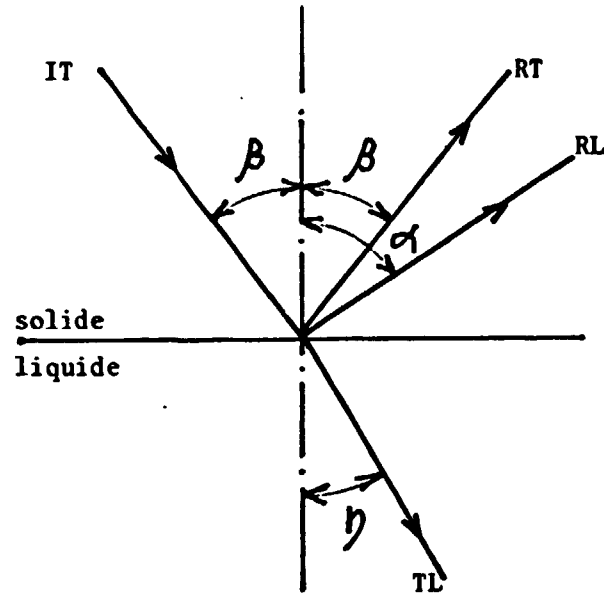
$$(RL/IL)^2 = \left[\frac{\cos \eta \left(m_1 \cos^2 2\beta - \frac{1}{m_1} \sin 2\alpha \sin 2\beta \right) - m_1 n_2 \cos \alpha}{\cos \eta \left(m_1 \cos^2 2\beta + \frac{1}{m_1} \sin 2\alpha \sin 2\beta \right) + m_1 n_2 \cos \alpha} \right]^2 = f(\alpha)$$

$$(RT/IL)^2 = \left[\frac{2 \cos 2\beta \cos \eta \sqrt{\sin 2\alpha \sin 2\beta}}{\cos \eta \left(m_1 \cos^2 2\beta + \frac{1}{m_1} \sin 2\alpha \sin 2\beta \right) + m_1 n_2 \cos \alpha} \right]^2 = f(\alpha)$$

$$(TL/IL)^2 = \left[\frac{2 m_1 \cos 2\beta \sqrt{n_2 \cos \alpha \cos \eta}}{\cos \eta \left(m_1 \cos^2 2\beta + \frac{1}{m_1} \sin 2\alpha \sin 2\beta \right) + m_1 n_2 \cos \alpha} \right]^2 = f(\alpha)$$

avec $(RL/IL)^2 + (RT/IL)^2 + (TL/IL)^2 = 1$

1-3 INTERFACE SOLIDE-LIQUIDE : INCIDENCE TRANSVERSALE



$$(RT/IT)^2 = \left[\frac{\cos \eta (m_1 \cos^2 2\beta - \frac{1}{m_1} \sin 2\alpha \sin 2\beta) + m_1 n_2 \cos \alpha}{\cos \eta (m_1 \cos^2 2\beta + \frac{1}{m_1} \sin 2\alpha \sin 2\beta) + m_1 n_2 \cos \alpha} \right]^2 = f(\beta)$$

$$(RL/IT)^2 = \left[\frac{2 \cos 2\beta \cos \eta \sqrt{\sin 2\alpha \sin 2\beta}}{\cos \eta (m_1 \cos^2 2\beta + \frac{1}{m_1} \sin 2\alpha \sin 2\beta) + m_1 n_2 \cos \alpha} \right]^2 = f(\beta)$$

$$(TL/IT)^2 = \left[\frac{2 \cos \alpha \sqrt{n_2 \sin 2\beta \sin 2\eta}}{\cos \eta (m_1 \cos^2 2\beta + \frac{1}{m_1} \sin 2\alpha \sin 2\beta) + m_1 n_2 \cos \alpha} \right]^2 = f(\beta)$$

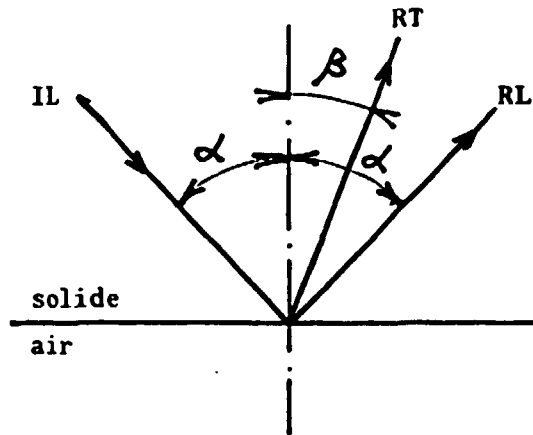
avec $(RT/IT)^2 + (RL/IT)^2 + (TL/IT)^2 = 1$

Au delà de l'angle critique β_c pour lequel $\alpha = 90^\circ$, on doit exprimer cette relation en écrivant l'angle α en imaginaire :

$$\cos \alpha = j \sqrt{(m_1 \sin \beta)^2 - 1}$$

$$\sin \alpha = m_1 \sin \beta$$

1-4 INTERFACE SOLIDE-AIR : INCIDENCE LONGITUDINALE



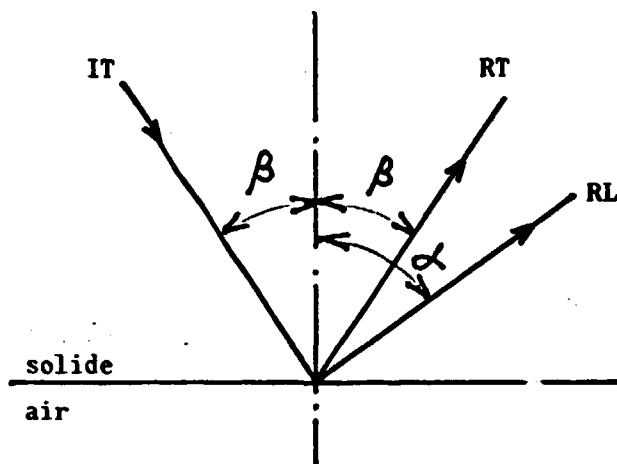
$$(RL/IL)^2 = \left[\frac{m \cos^2 2\beta - \frac{1}{m} \sin 2\alpha \sin 2\beta}{m \cos^2 2\beta + \frac{1}{m} \sin 2\alpha \sin 2\beta} \right]^2 = f(\alpha)$$

$$(RT/IL)^2 = \left[\frac{2 \cos 2\beta \sqrt{\sin 2\alpha \sin 2\beta}}{m \cos^2 2\beta + \frac{1}{m} \sin 2\alpha \sin 2\beta} \right]^2 = f(\alpha)$$

avec $(RL/IL)^2 + (RT/IL)^2 = 1$

INTERFACE SOLIDE-AIR : INCIDENCE LONGITUDINALE

I-5 INTERFACE SOLIDE-AIR : INCIDENCE TRANSVERSALE



$$(RT/IT)^2 = \left[\frac{m_1 \cos^2 2\beta - \frac{1}{m_1} \sin 2\alpha \sin 2\beta}{m_1 \cos^2 2\beta + \frac{1}{m_1} \sin 2\alpha \sin 2\beta} \right]^2 = f(\beta)$$

$$(RL/IT)^2 = \left[\frac{2 \cos 2\beta \sqrt{\sin 2\alpha \sin 2\beta}}{m_1 \cos^2 2\beta + \frac{1}{m_1} \sin 2\alpha \sin 2\beta} \right]^2 = f(\beta)$$

avec $(RT/IT)^2 + (RL/IT)^2 = 1$

INTERFACE SOLIDE-AIR : INCIDENCE TRANSVERSALE

II - RESULTATS OBTENUS

Les courbes ont été tracées pour un certain nombre d'alliages. Les résultats ont été vérifiés expérimentalement par la méthode de visualisation Schlieren. On donne à titre d'exemple les courbes pour les interfaces eau-uranium-vanadium 0,2% (figures 2, 3 et 4).

Cette étude a permis de dégager les enseignements suivants.

En échographie, la recherche du maximum d'énergie acoustique captée par le traducteur doit satisfaire à 3 critères :

1. la recherche du maximum d'énergie introduite dans le matériau:
 - condition satisfaite par une incidence oblique peu supérieure au 1er angle critique.
2. la recherche de la déperdition minimale d'énergie à l'interface d'écho :
 - condition satisfaite, pour une onde de type transversal:
 - en présence d'un interface avec l'air :
 - . pour une incidence supérieure à l'angle critique ou normale à l'interface.
 - en présence d'un interface avec l'eau :
 - . pour une incidence égale à l'angle critique ou normale à l'interface.
3. la recherche du maximum d'énergie en retour au traducteur :
 - condition satisfaite pour une onde de type transversal d'incidence peu supérieure à l'angle critique.

.../...

CONCLUSION

Dans un contrôle par ultrasons en incidence oblique, il est impératif de connaître la répartition des énergies acoustiques aux différents interfaces rencontrés par l'onde acoustique.

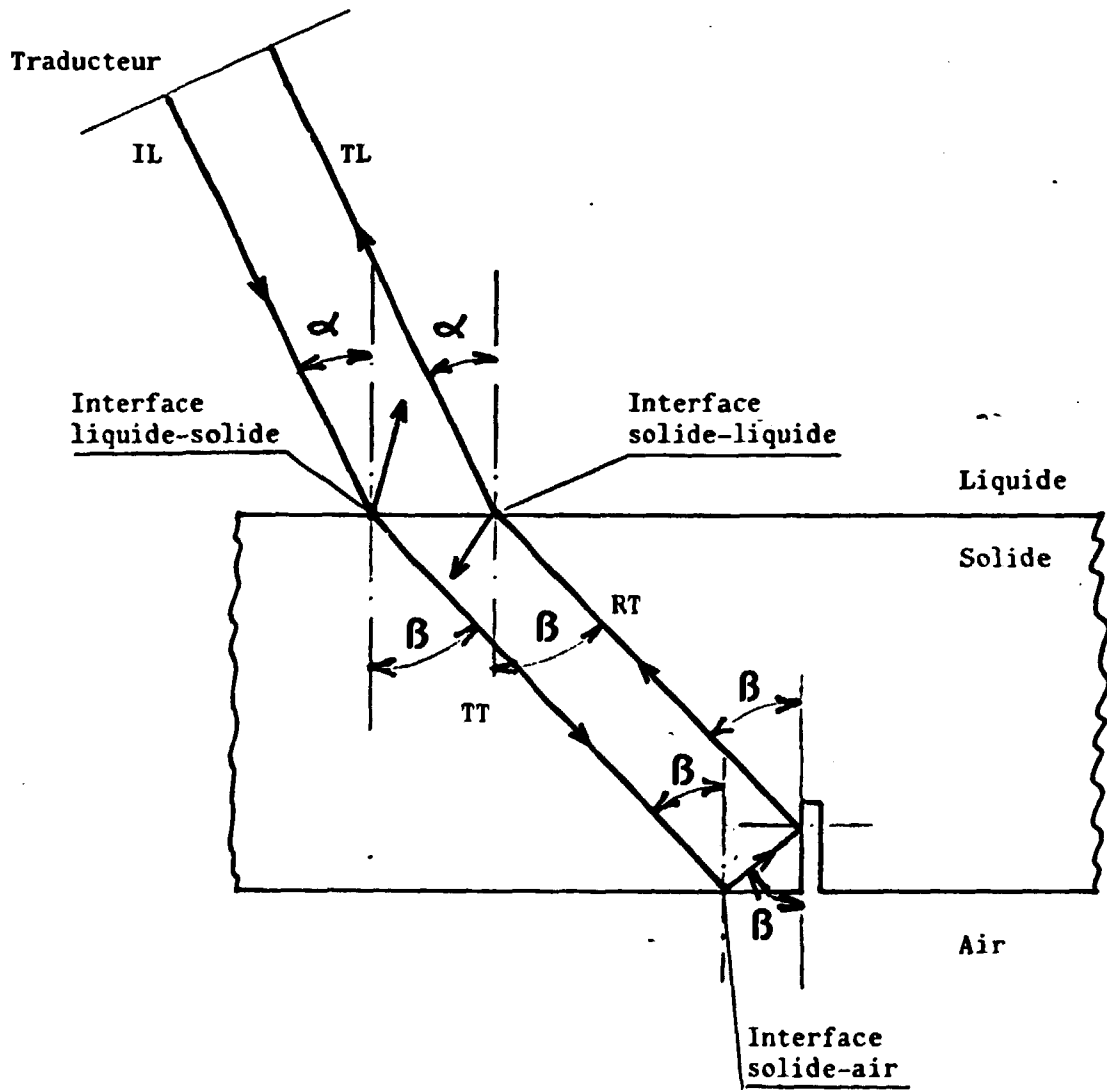
Parce qu'ils ont leur propre impédance acoustique, les matériaux ne se comportent pas de façon identique vis à vis des ultrasons.

On préconise donc, lors de la définition d'un mode opératoire d'examen non destructif, de successivement :

- effectuer les calculs de répartition d'énergie,
- en déduire les incidences optimales pour obtenir le maximum d'énergie en retour au traducteur.

Référence :

- [1] Bulletin of the Seismological Society of America
Vol. 42 (1952)
"Energy ratio of the seismic waves reflected and refracted at a
rock-water boundary" by Kazim Ergin



INTERFACES HABITUELS EN ECHOGRAPHIE ULTRASONORE

Figure 1

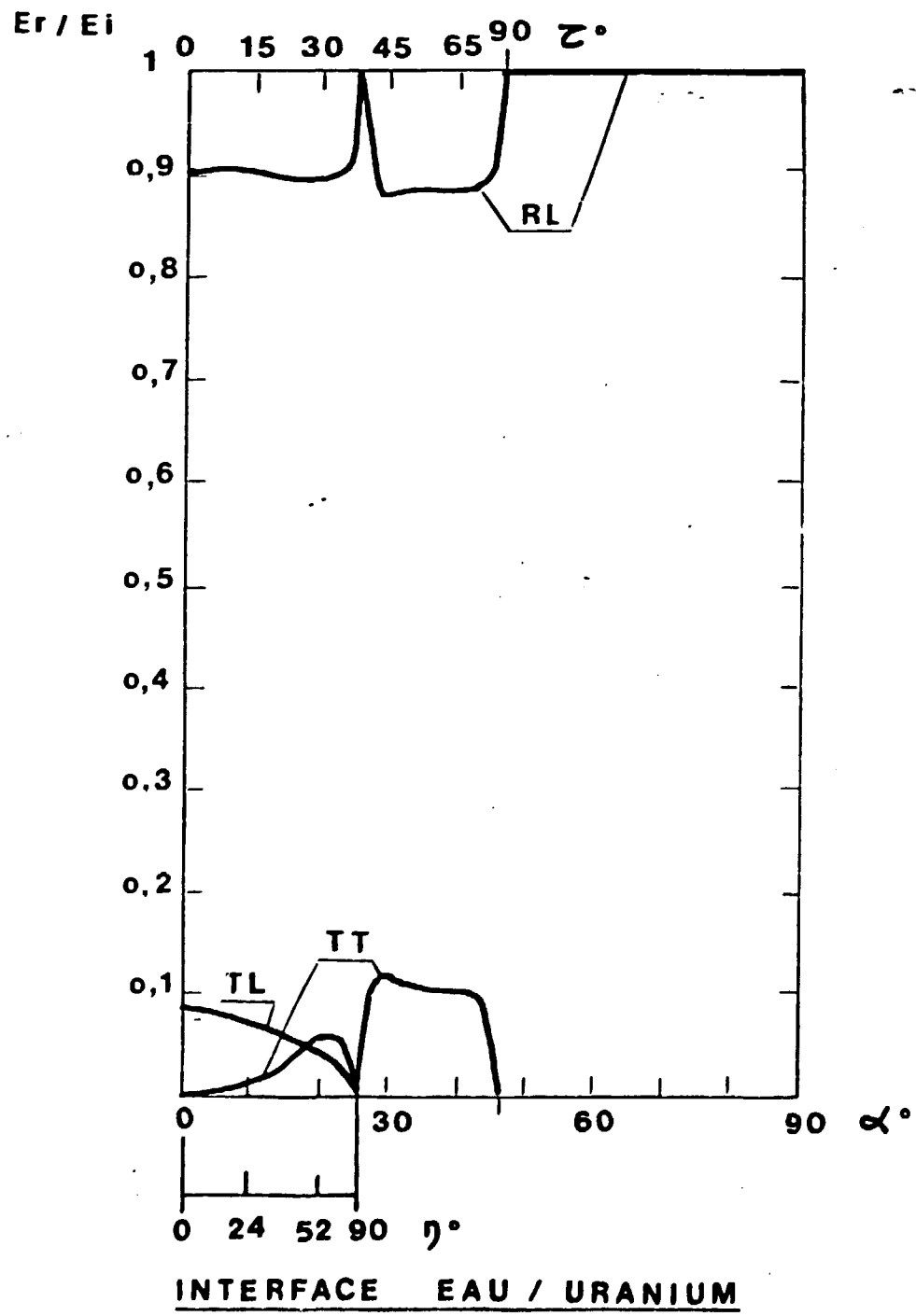
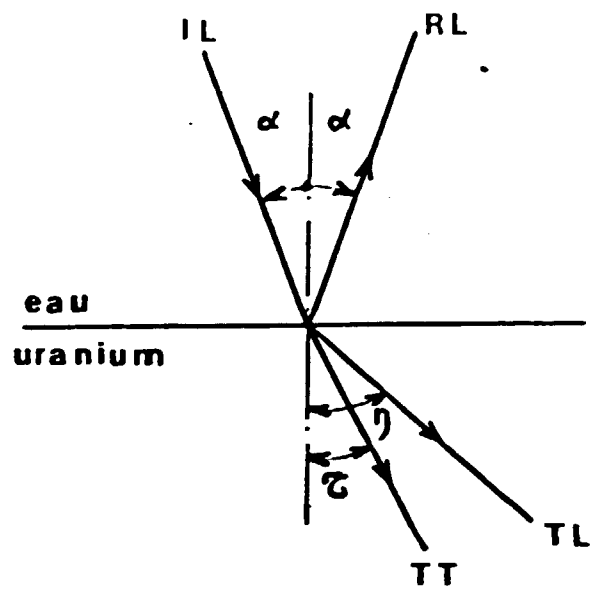
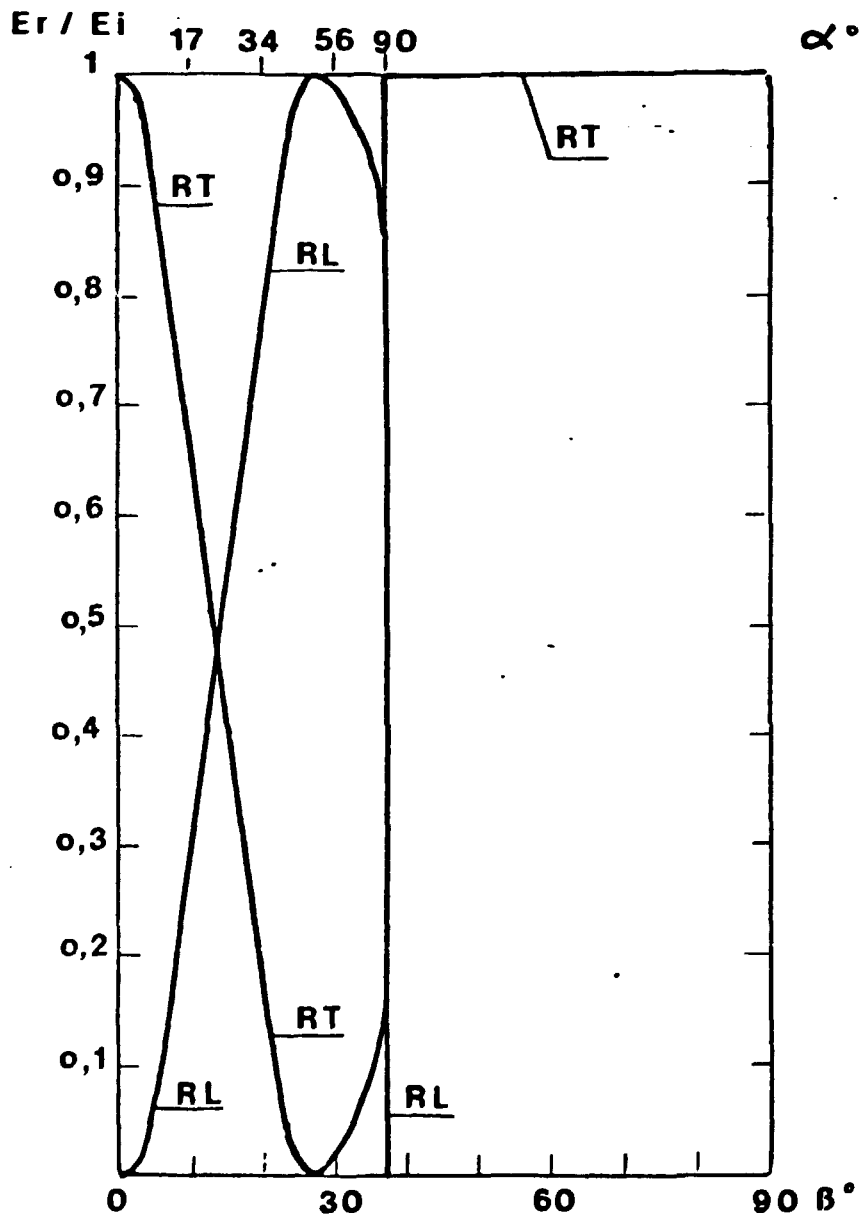
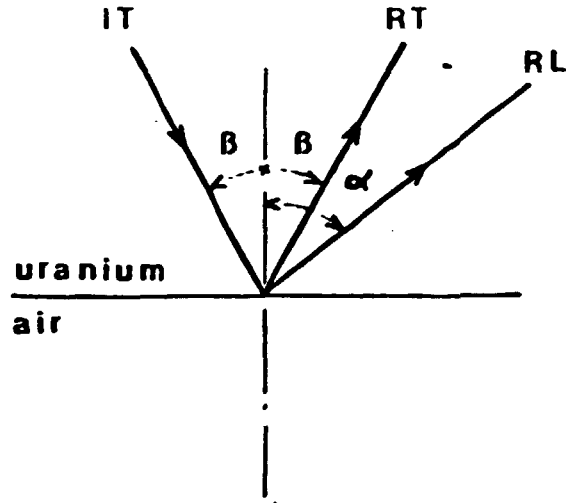


figure 2



INTERFACE URANIUM / AIR

INCIDENCE TRANSVERSALE

figure 3

