Etude graphique de la réflexion des ondes planes et de la réfraction des ondes planes et circulaires au niveau de première

par Daniel BIBOUD
38100 Grenoble

Distribuer aux élèves les figures 1, 2, 3, 4, 5 qui représentent la propagation des fronts d'ondes incidentes, qu'il est possible d'observer sur une cuve à ondes en stroboscopant.

Pour les tracés des fronts des ondes réfléchies ou transmises, il faut utiliser le même graphisme que celui du front d'ondes incidentes (lignes tiretées, pointillées...)

T est la période des ondes.

1. ONDES PLANES

Sur le coté des figures 1, 2 les points sont espacés respectivement de 1,5 cm, 1,25 cm pour aider aux tracés des différents cercles.

Les expériences faites avec la cuve à ondes montrent que les fronts des ondes réfléchies ou des ondes transmises sont planes. Il faut donc rechercher la position et l'orientation de ces plans.

1.1 Réflexion des ondes planes sur un obstacle plan

On utilise la figure 1.

a) Au temps $T_2 = 2\,T$

Le front de l'onde arrive en I_2

Celui qui est arrivé en I_1 à l'instant $T_1 = T$ a été réfléchi, pendant la durée $T_2 - T_1 = T$

Il a parcouru une distance $d_1 = C_1T = \lambda_1 = 1,5$ cm.

Ne connaissant pas la direction de propagation, on trace un cercle de centre I_1 et de rayon d_1

Le plan à trouver doit passer par I_2 et être tangent au cercle tracé.

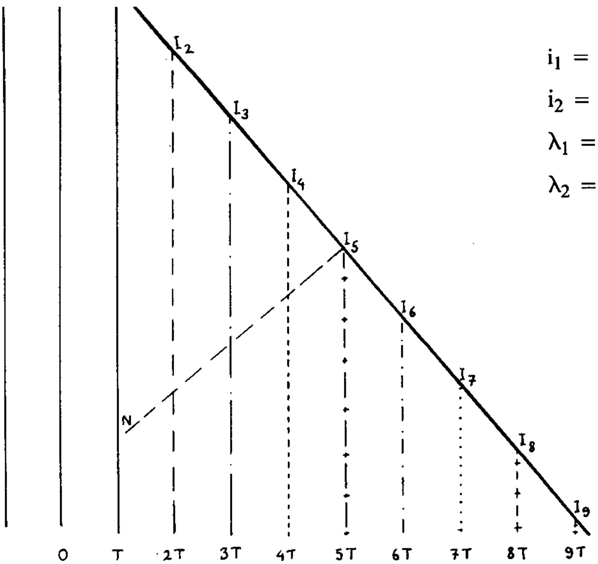


Figure 1 (Ech. 0,5)

b) Au temps $T_3 = 3\,T$

Le front de l'onde arrive en I_3

Celui qui est arrivé en I_1 à l'instant $T_1 = T$ a été réfléchi, pendant la durée $T_3 - T_1 = 2\,T$

Il a parcouru une distance $d_1 = 2\,C_1T = 2\,\lambda_1 = 3$ cm.

Ne connaissant pas la direction de propagation, on trace un cercle de centre I_1 et de rayon d_1

Celui qui est arrivé en I_2 au temps $T_2 = 2\,T$ a été réfléchi, pendant la durée $T_3 - T_2 = T$

Il a parcouru une distance $d_2 = C_1T = \lambda_1 = 1{,}5$ cm.

Ne connaissant pas la direction de propagation, on trace un cercle de centre I_2 et de rayon d_2

Le plan à trouver doit passer par I_3 et être tangent aux deux cercles tracés de centre et de rayon respectifs I_1, I_2, d_1, d_2.

Il suffit de réitérer ce raisonnement jusqu'au temps $T_9 = 10\ T$.

On obtient la Figure I.

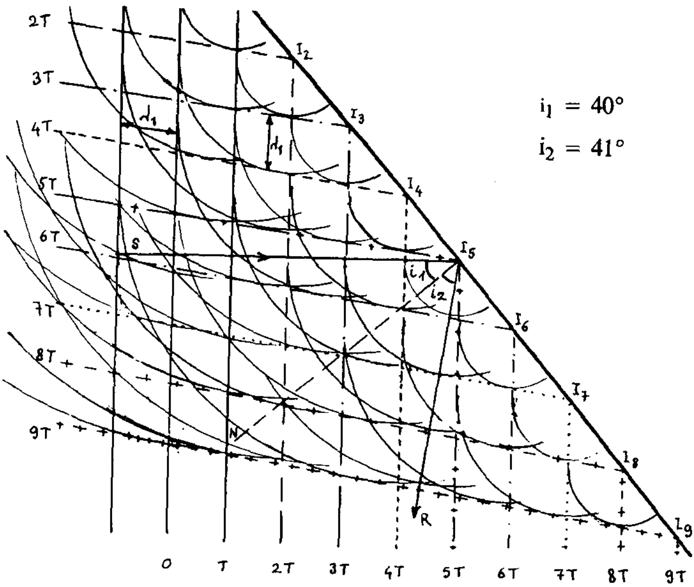


Figure I (Ech. 0,5)

c) Conclusion

En I_5 :

— Tracer : la direction de propagation orthogonale aux fronts des ondes incidentes SI_5

la direction de propagation orthogonale aux fronts des ondes réfléchies I_5R.

— Mesurer i_1 et i_2 au rapporteur et conclure.

1.2 Transmission des ondes planes par un dioptre plan

On utilise la figure 2.

Afin de ne pas alourdir la construction on ne trace pas les ondes réfléchies.

$i_1 =$

$i_2 =$

$\sin i_1 =$

$\sin i_2 =$

$\lambda_1 = 1$ cm

$\lambda_1 = 1{,}25$ cm

$\dfrac{\sin i_2}{\sin i_1} =$

$\dfrac{\lambda_2}{\lambda_1} =$

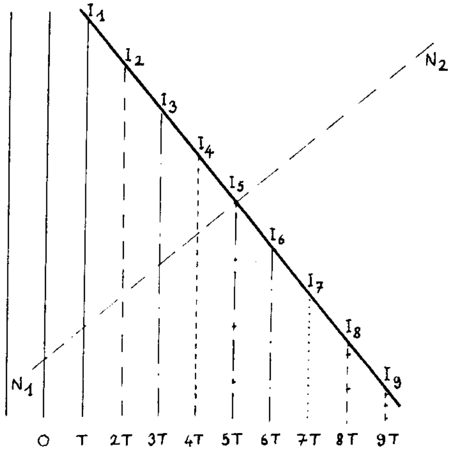


Figure 2 (Ech. 0,5)

a) Au temps $T_2 = 2$ T

Le front de l'onde arrive en I_2

Celui qui est arrivé en I_1 à l'instant $T_1 = T$ a franchi le dioptre et pendant la durée $T_2 - T_1 = T$

Il a parcouru une distance $d'_1 = C_2T = \lambda_2 = 1{,}25$ cm.

Ne connaissant pas la direction de propagation, on trace un cercle de centre I_1 et de rayon d'_1

Le plan à trouver doit passer par I_2 et être tangent au cercle tracé.

b) Au temps $T_3 = 3$ T

Le front de l'onde arrive en I_3

Celui qui est arrivé en I_1 à l'instant $T_1 = T$ a franchi le dioptre et pendant la durée $T_3 - T_1 = 2$ T

Il a parcouru une distance $d'_1 = 2\,C_2T = 2\,\lambda_2 = 2{,}5$ cm.

Ne connaissant pas la direction de propagation, on trace un cercle de centre I_1 et de rayon d'_1

$i_1 = 40\,°$

$i_2 = 54°$

$\sin i_1 = 0{,}643$

$\sin i_2 = 0{,}809$

$\lambda_1 = 1$ cm

$\lambda_1 = 1{,}25$ cm

$$\frac{\sin i_2}{\sin i_1} = 1{,}26$$

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = 1{,}25$$

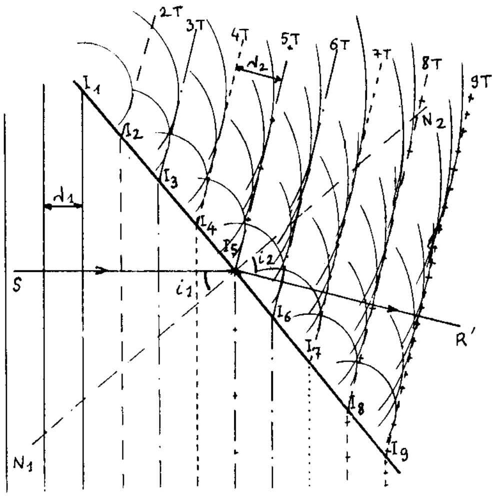


Figure II (Ech. 0,5)

Celui qui est arrivé en I_2 au temps T_2 a franchi le dioptre et pendant la durée $T_3 - T_2 = T$

Il a parcouru une distance $d'_2 = C_2T = \lambda_2 = 1{,}25$ cm.

Ne connaissant pas la direction de propagation, on trace un cercle de centre I_2 et de rayon d'_2

Il suffit de réitérer ce raisonnement jusqu'au temps $T_9 = 9\,T$.

On obtient la Figure II.

c) Conclusion

En I_5 :

— Tracer : la direction de propagation orthogonale aux plans des ondes incidentes SI_5

la direction de propagation orthogonale aux plans des ondes transmises I_5R'.

— Mesurer i_1 et i_2 au rapporteur

— Mesurer λ_1, λ_2

— Calculer $\dfrac{\lambda_2}{\lambda_1}$ et $\dfrac{\sin i_2}{\sin_1}$ et conclure.

2. ONDES CIRCULAIRES

Les expériences faites avec la cuve à ondes montrent que les fronts d'ondes réfléchies ou des ondes transmises sont circulaires. Il faut donc rechercher la position des fronts des ondes.

2.1 Réflexion des ondes circulaires sur un obstacle plan

On utilise la figure 3.

Le point source A émet des ondes circulaires à partir d'un temps $T_o = 0$.

Au temps $T_1 = T$ l'onde a parcouru une distance $d_1 = C_1T = \lambda_1 = 1$ cm

Au temps $T_3 = 3T$ l'onde incidente atteint la frontière du milieu en I_0 après avoir parcouru une distance $d_3 = 3\ d_1 = 3$ cm.

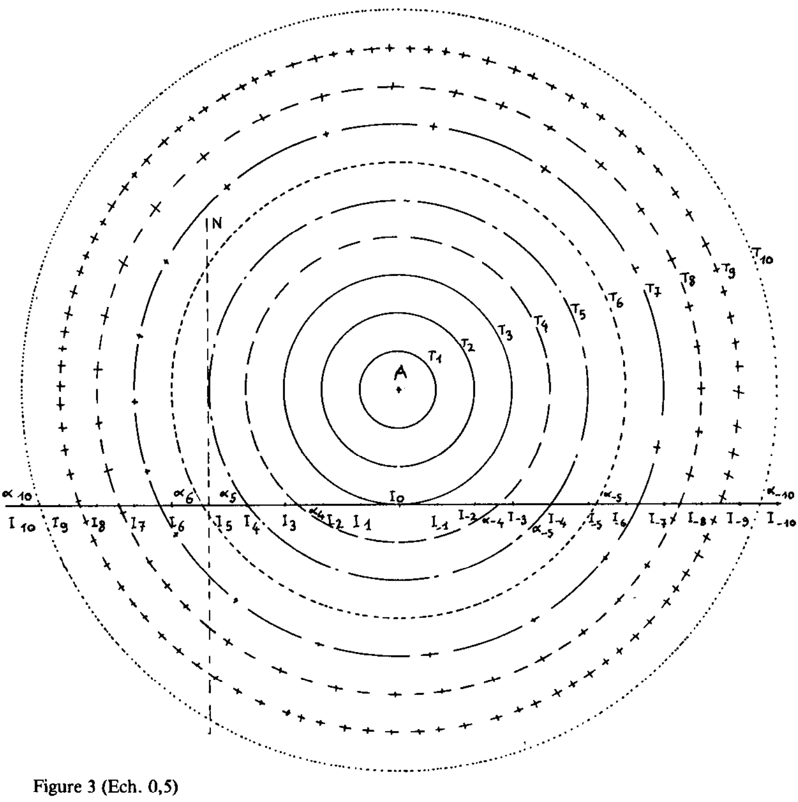


Figure 3 (Ech. 0,5)

a) Au temps $T_4 = 4\,T$

L'onde circulaire a été réfléchie.

L'onde, qui a été réfléchie à partir de I_0, a parcouru une distance $d_0 = C_1T = d_1$.

Ne connaissant pas la direction de propagation, on trace un cercle de centre I_0 et de rayon d_0.

L'onde, qui a été réfléchie à partir de I_1, a parcouru une distance $d_1 = I_1\ A_4$.

Ne connaissant pas la direction de propagation, on trace un cercle de centre I_1 et de rayon d_1.

L'onde, qui a été réfléchie à partir de I_2, a parcouru une distance $d_2 = I_2\,B_4$.

Ne connaissant pas la direction de propagation, on trace un cercle de centre I_2 et de rayon d_2.

On complète par raison de symétrie en I_1 et I_{-2}.

La surface cherchée passe par α_4, α_{-4} (points d'intersection du front de l'onde incidente au temps T_4 et du plan) et doit être tangente aux cercles tracés.

On obtient un arc de cercle.

b) Au temps $T_5 = 5\,T$

Avec le même raisonnement on obtient les cercles suivants :

Centre I_0 de rayon $d_0 = 2\,\lambda_1$

Centre I_1 de rayon $d_1 = I_1\,A_5$

Centre I_2 de rayon $d_2 = I_2\,B_5$

Centre I_3 de rayon $d_3 = I_3\,C_5$

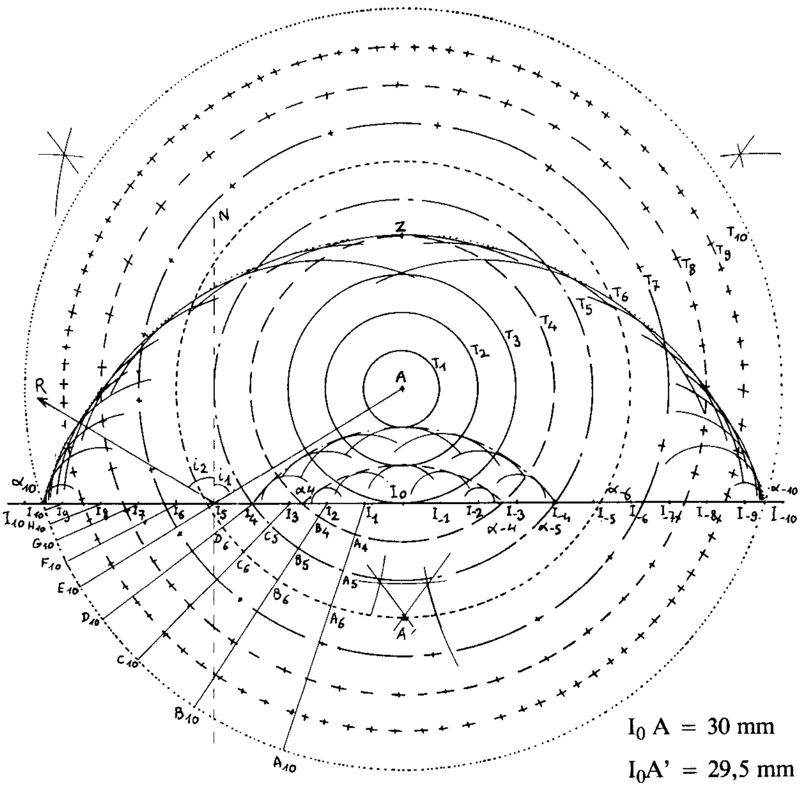
On complète par symétrie en I_{-1}, I_{-2}, I_{-3}

La surface cherchée passe par α_5, α_{-5} et doit être tangente aux cercles tracés.

On obtient un arc de cercle

Il suffit de réitérer ce raisonnement jusqu'au temps $T_{10} = 10\,T$.

Pour déterminer la position du point d'où semble provenir les ondes réfléchies, on utilise les points α_{10}, Z, α_{-10}.



$I_0 A = 30$ mm

$I_0 A' = 29{,}5$ mm

$i_1 = 61°$

$i_2 = 60{,}5°$

Figure III (Ech. 0,5)

α_{10} Z et Z α_{-10} sont des cordes du cercle dont on cherche le centre.

En traçant les médiatrices de ces cordes on obtient A'.

On obtient la Figure III.

c) Conclusion

— Comparer les positions des points A et A'

— En I_5 :

Tracer : la direction de propagation orthogonale aux fronts des ondes incidentes AI_5

la direction de propagation orthogonale aux fronts des ondes réfléchies I_5A' et la prolonger I_5R'.

— Mesurer i_1 et i_2 au rapporteur et conclure.

— Mesurer la longueur d'onde de l'onde réfléchie λ et la comparer à λ_1

2.2 Transmission des ondes circulaires sur un dioptre plan

Afin de ne pas alourdir la construction on ne trace pas les ondes réfléchies.

α > *Passage d'un milieu (1) à un milieu (2) plus réfringent*

On utilise la figure 4.

$$C_2 = \frac{2}{3} C_1$$

Dans ce cas selon la loi de Descartes : $\dfrac{\sin i_1}{c_1} = \dfrac{\sin i_2}{c_2}$

$i_2 < i_1$ il n'y a pas d'angle limite.

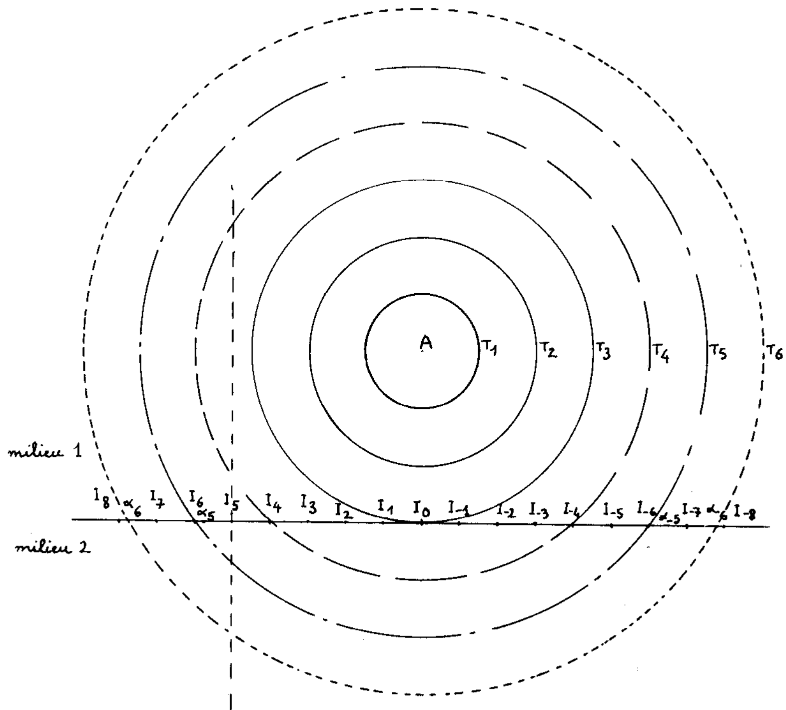


Figure 4 (échelle 0,5)

Le point source A émet des ondes circulaires à partir du temps $T_0 = 0$

Au temps $T_1 = T$ l'onde a parcouru une distance $d_1 = C_1 T = \lambda_1 = 1{,}5$ cm

Au temps $T_3 = 3T$ l'onde incidente a parcouru une distance $d_3 = 3\, C_1 T = 3\, \lambda_1 = 4{,}5$ cm.
et atteint la surface de séparation des deux milieux.

a) Au temps $T_4 = 4\,T$

L'onde circulaire a franchi le dioptre

L'onde transmise à partir de I_0, a parcouru la distance

$$d'_0 = (4-3)\, C_2 T = \frac{2}{3} C_1 T = \frac{2}{3}\lambda, = \frac{2}{3}.\ 1{,}5 = 1 \text{ cm}$$

Ne connaissant pas la direction de propagation, on trace un cercle de centre I_0 et de rayon d'_0.

L'onde transmise à partir de I_1, a parcouru la distance

$$d'_1 = C_2\, t_1 = C_2 \,.\, \frac{I_1 A_4}{C_1} = \frac{2}{3} I_1 A_4$$

Ne connaissant pas la direction de propagation, on trace un cercle de centre I_1 et de rayon d'_1.

L'onde transmise à partir de I_2, a parcouru la distance

$$d'_2 = C_2\, t_2 = C_2 \,.\, \frac{I_2 B_4}{C_1} = \frac{2}{3} I_2 B_4$$

Pour les mêmes raisons que précédemment, on trace un cercle de centre I_2 et de rayon d'_2.

L'onde transmise à partir de I_3, a parcouru la distance

$$d'_3 = C_2\, t_3 = C_2 \,.\, \frac{I_3 c_4}{C_1} = \frac{2}{3} I_3 c_4$$

Pour les mêmes raisons que précédemment on trace un cercle de centre I_3 de rayon d'_3,

On complète par symétrie en I_{-1}, I_{-2}, I_{-3}

La surface cherchée passe par les points α_4, α_{-4} et doit être tangente aux cercles tracés.

On obtient un arc de cercle.

b) Au temps $T_6 = 6\ T$

Avec le même raisonnement on obtient les cercles suivants :

Centre I_0 de rayon $d_0 = 2\ d_1$

Centre I_1 de rayon $d_1 = \frac{2}{3} I_1 A_6$

Centre I_2 de rayon $d_2 = \frac{2}{3} I_2 B_6$

Centre I_7 de rayon $d_7 = \frac{2}{3} I_7 G_6$

On complète par symétrie en I_{-1}, I_{-7}

La surface cherchée passe par α_8, α_{-8} et doit être tangente aux cercles tracés.

On obtient un arc de cercle

Pour la détermination du point d'où semblent provenir les ondes transmises, on utilise les points α_6, Z, α_{-6}.

α_6 Z et Z α_{-6} sont des cordes du cercle dont on cherche le centre.

En traçant les médiatrices de ces cordes on obtient A'.

On obtient la Figure IV.

c) Conclusion

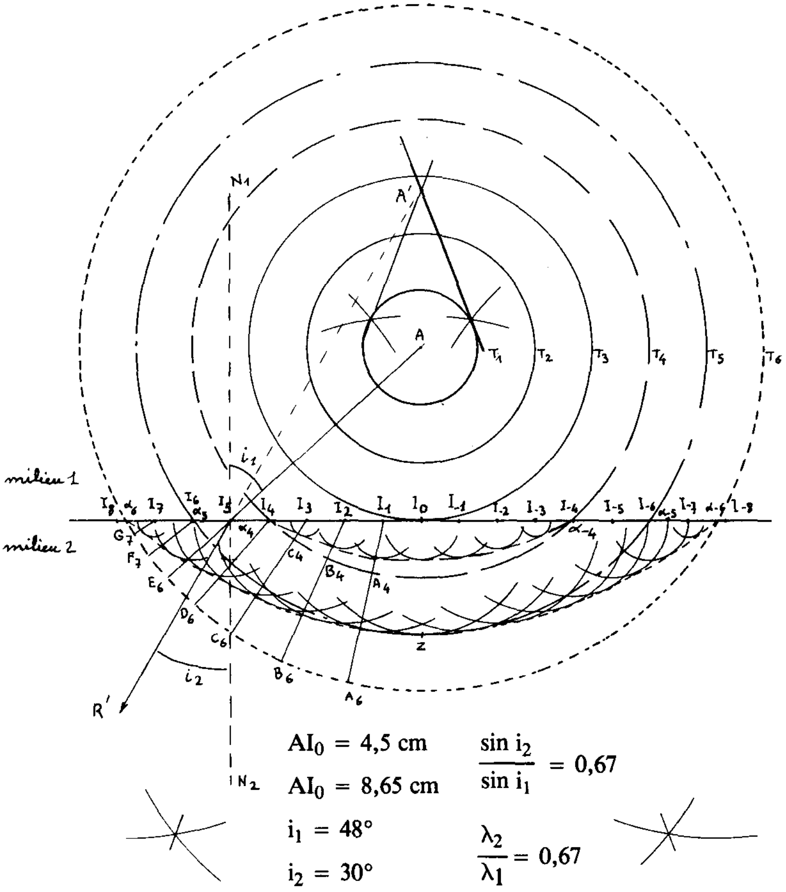
Mêmes questions qu'au 2.1 c

avec en plus :

Déterminer λ_2

Comparer $\frac{\sin i_2}{\sin i_1}$ et $\frac{\lambda_2}{\lambda_1}$

β) passe d'un milieu (1) à un milieu (2) moins réfringent



$AI_0 = 4{,}5$ cm

$AI_0 = 8{,}65$ cm

$i_1 = 48°$

$i_2 = 30°$

$\lambda_1 = 1{,}5$ cm

$\lambda_1 = 1$ cm

$$\frac{\sin i_2}{\sin i_1} = 0{,}67$$

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = 0{,}67$$

Figure IV (Ech. 0,5)

On utilise la figure 5.

$C_2 = \frac{4}{3} C, \qquad \lambda_1 = 1{,}5$ cm

Cette fois $i_2 > i_1$ il existe donc un angle limite.

Il faut suivre la même méthode qu'au 2.1

Le facteur de proportion est cette fois de 4/3 au lieu de 2/3

Au temps $T_7 = 7\,T$ il n'est plus possible de trouver un arc de cercle tangent aux cercles tracés et passant par α_7 et α_{-7}. Cette surface ne peut pas exister en totalité.

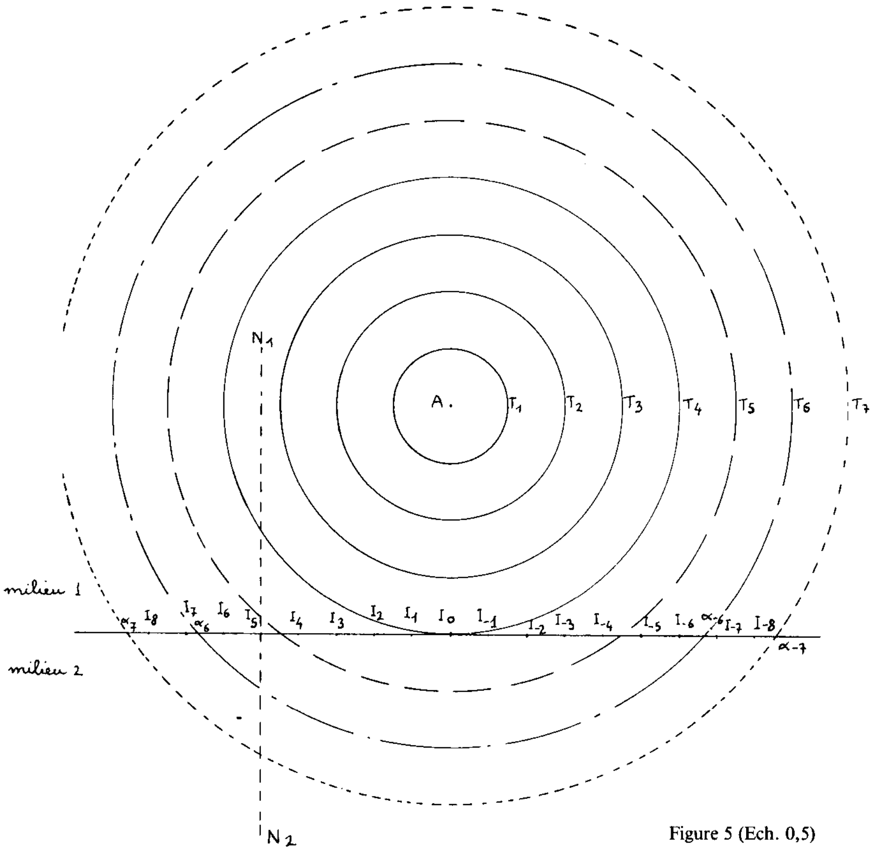


Figure 5 (Ech. 0,5)

On obtient la Figure V.

La conclusion est la même qu'au 2.1.

Remarques :

— Dans le cas de la transmission des ondes planes seul le cas du passage du milieu (1) au milieu (2) plus réfringent a été envisagé.

— Une animation, réalisée à l'ordinateur, de ces constructions complèterait cette étude.

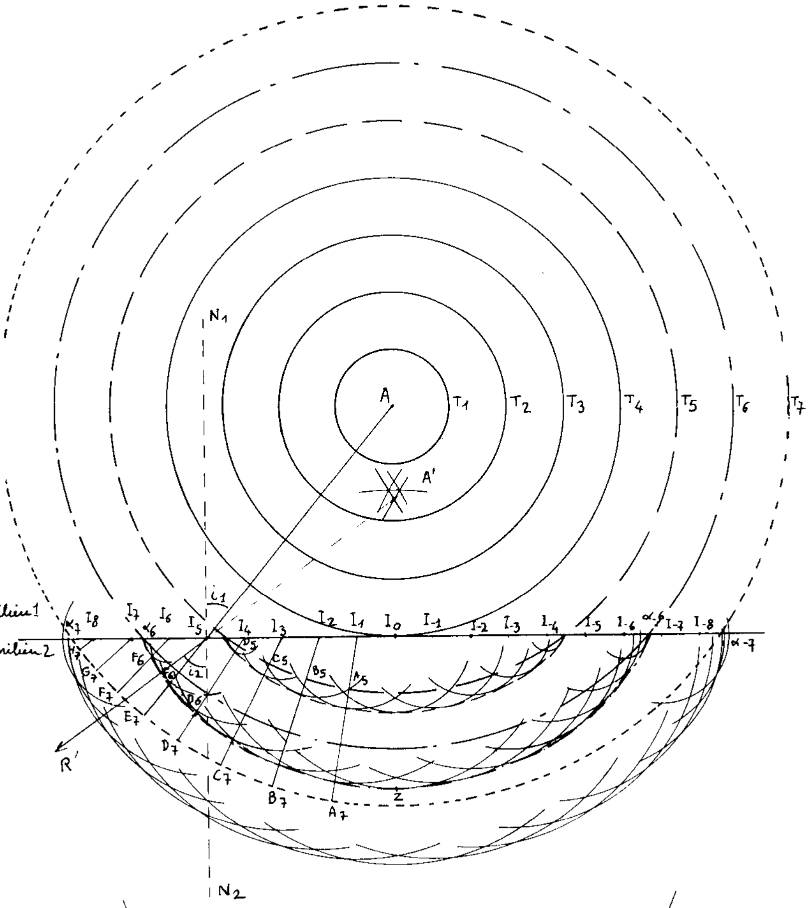


Figure V (Ech. 0,5)

$AI_0 = 6$ cm

$A'I_0 = 3{,}6$ cm

$i_1 = 39{,}5°$

$i_2 = 54{,}5°$

$\lambda_1 = 1{,}5$ cm

$\lambda_1 = 2$ cm

$$\frac{\sin i_2}{\sin i_1} = 1{,}28$$

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = 1{,}33$$