

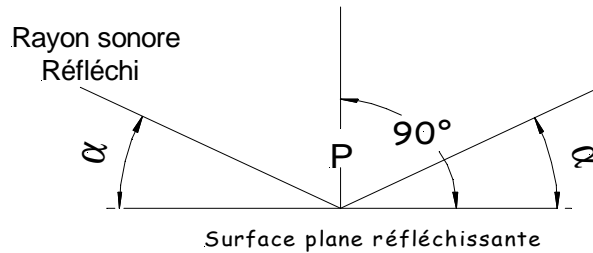
De la puce à l'oreille

- Jean-Claude BODOT -

- La chaîne électro acoustique - annexe - A

♦ La réflexion sonore

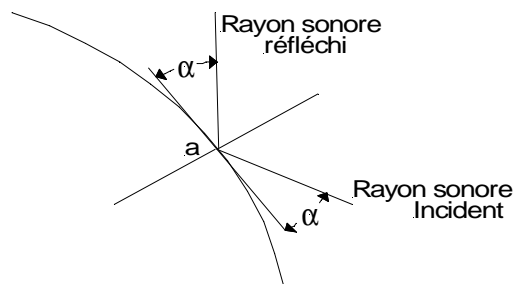
Si la surface de réflexion, est totalement réfléchissante, elle n'absorbe, et ne transmet sur sa face opposée, aucune énergie, elle a pour unique effet une redirection des rayons sonores.



Vis à vis de la surface réfléchissante, conformément aux lois de Snell-Descartes, dans un même milieu, les angles d'incidence et de réflexion α ont même valeur.

Remarque:

Sur une surface courbe convexe



Le rayon sonore est réfléchi au point **a**.

En prenant en compte, la tangente à la courbe au point d'impact **a**. L'angle d'incidence α est défini comme précédemment en prenant la tangente, en cet unique point, comme élément d'un plan réfléchissant.

Appliqué à un microphone **M**, et à une enceinte de retour **W**, tous deux momentanément ponctuels et omnidirectionnels, La **figure a** ci dessous fait apparaître deux parcours de couplages acoustiques.

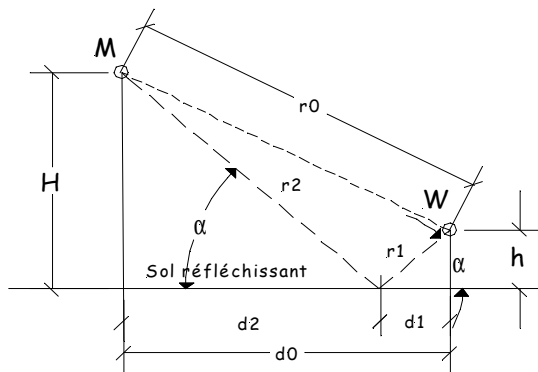


Figure a

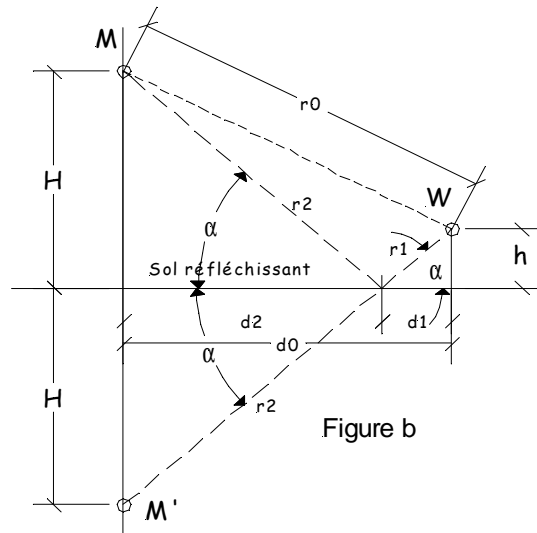


Figure b

Le couplage direct est réalisé par le parcours sonore $d_0 = [(H-h)^2 + d_0^2]^{1/2}$ (Rf-1)

Le couplage par réflexion par la somme des deux parcours $r_r = r_1 + r_2$ (Rf-2)

Afin de définir le point de réflexion on peut poser:

$$H/d_2 = \text{tg}(\alpha) = h/d_1 \quad \Leftrightarrow \quad d_2/d_1 = H/h \quad (\text{Rf-3})$$

$$\text{or} \quad d_0 = d_1 + d_2 \quad (\text{Rf-4})$$

$$\text{qui permet de déterminer } d_1 = d_0 \cdot h / (H+h) \quad (\text{Rf-5})$$

$$\text{et,} \quad d_2 = d_0 \cdot H / (H+h)$$

$$\text{et par substitution} \quad \text{tg}(\alpha) = d_0 / (H+h) \quad (\text{Rf-6})$$

d'où les éléments du parcours de réflexion

$$r_1 = d_1 / \cos(\alpha) = [d_1^2 + h^2]^{1/2} \quad (\text{Rf-7})$$

$$\text{et} \quad r_2 = d_2 / \cos(\alpha) = [d_2^2 + H^2]^{1/2} \quad (\text{Rf-8})$$

Le parcours de la réflexion total $r_r = r_1 + r_2 = [(d_1+d_2) / \cos(\alpha)] = [(H+h)^2 + d_0^2]^{1/2}$

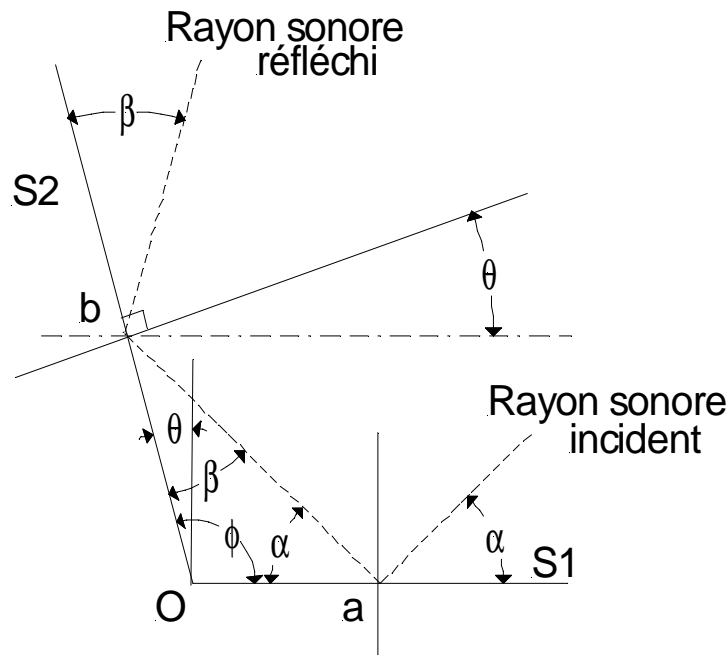
On peut remarquer que le parcours de la réflexion est supérieur au parcours direct $r_r > r_0$ (Rf-9)

Graphiquement ces résultats sont analogue à ceux obtenus à partir de la **figure b** dans laquelle le micro M' est le miroir de M vis à vis du sol réfléchissant.

♦ La rétro réflexion

Le rayon sonore est réfléchi successivement par deux surfaces formant un angle ϕ entre elles.

La figure ci dessous illustre les réflexions.



Le triangle Oab , formé dès la première réflexion, permet d'écrire $\alpha + \beta + \phi = \pi$ (Rf-10)
les angles étant exprimés en radians.

$$\text{qui permet de définir } \beta = \pi - \alpha - \phi \quad (\text{Rf-11})$$

$$\text{ou encore} \quad \beta = ((\pi/2) - \alpha) + ((\pi/2) - \phi) = ((\pi/2) - \alpha) - (\phi - (\pi/2)) \quad (\text{Rf-12})$$

$$\text{dans laquelle on reconnaît l'angle: } \theta = \phi - (\pi/2) \quad (\text{Rf-13})$$

$$\text{ainsi:} \quad \beta = (\pi/2) - \alpha - \theta = (\pi/2) - (\alpha + \theta) \quad (\text{Rf-14})$$

La transposition en degrés amène à poser $\pi = 180^\circ$ et exprimer α , β et ϕ dans la même unité d'angles.
Trois cas se présentent.

♦♦ Les deux surfaces forment entre elles, un angle obtus, $\phi > \pi/2$. C'est ce cas qui vient d'être développé.

Toutefois à la vue de la figure, il apparaît que pour un angle d'incidence α donné, il existe un angle θ à partir duquel la rétro réflexion devient impossible. La première réflexion, au point a , est présente et la seconde, en b ,

est inexistante.

Mathématiquement *la seconde réflexion n'est présente que si β est supérieur à 0*. En développant

(Rf-12), la condition est remplie lorsque $\theta < [(\pi/2) - \alpha]$ (Rf-15)

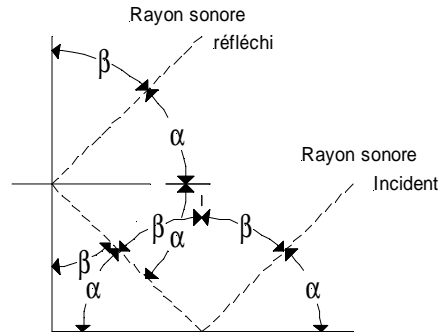
autrement dit, si l'angle $\phi < (\pi - \alpha)$ (Rf-16)

♦♦ Les deux surfaces forment entre elles, un angle droit, $\phi = \pi/2$

rapproché de la précédente figure, l'angle θ est nul

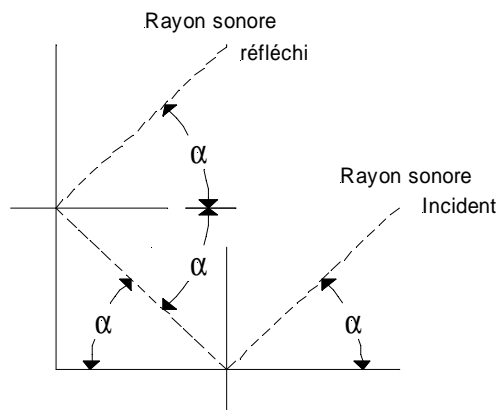
La valeur de l'angle β , tiré de (Rf-14) est $\beta = (\pi/2) - \alpha$ (R2-17)

Le report des deux angles est immédiat.



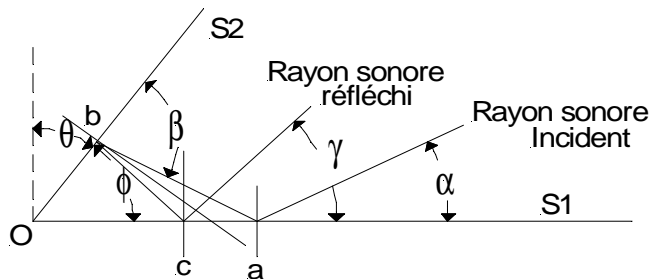
Le parcours angulaire du rayon sonore est $\beta + \beta + \alpha + \alpha = 2.(\pi/2 - \alpha) + 2.\alpha = \pi$ (Rf-18)
ce qui signifie que les deux rayons sont parallèles et de sens opposé.

Ramené au seul angle α de la première réflexion la figure devient:



♦♦ Les deux surfaces forment, entre elles, un angle aigu, $\phi < \pi/2$

Dans la figure suivante le rayon sonore incident est réfléchi une première fois au point **a**, sous un angle α , de la surface réfléchissante S_1 . Il est, une seconde fois réfléchi au point **b** de la seconde surface S_2 sous un angle β . En ce point il est redirigé vers la surface S_1 ou il y est réfléchi une troisième fois sous un angle d'incidence γ .



Comme précédemment on peut écrire $\phi + \theta = \pi/2$ soit $\theta = \pi/2 - \phi$ ou pour être homogène aux précédents développements :

$$\theta = -(\phi - \pi/2) \tag{Rf-19}$$

La somme des angles du triangle Oab est: $\phi + \alpha + (\pi - \beta) = \pi$ (Rf-20)

dans lequel $(\pi - \beta)$ est la valeur de l'angle à son sommet **b**

On en déduit
$$\beta = \phi + \alpha \quad (\text{Rf-21})$$

la somme des angles du triangle Ocb est:
$$\phi + \gamma + \beta = \pi \quad (\text{Rf-22})$$

En lui substituant la valeur de β
$$2. \phi + \alpha + \gamma = \pi$$

d'où l'on déduit
$$\gamma = \pi - (2. \phi + \alpha) \quad (\text{Rf-23})$$

Remarque Si $\gamma = \alpha$ soit $\alpha = (\pi/2) - \phi = \theta$, le rayon sonore réfléchi en b est perpendiculaire à S_2 , et suit le trajet du rayon sonore incident, en sens inverse. Ce parcours peut participer au trajet d'une onde stationnaire.

Exemple:

Le montage de base est représenté sur la figure a.

Il peut montrer la rétro réflexion d'un retour sur un micro de prise de son d'une guitare.

Les réflexions simples,

- de W vers le sol, puis vers M et,
 - de W vers G puis M si elle y est interceptée,
- sont omises.

Afin de faciliter le raisonnement le plan G est normal (perpendiculaire) au sol.

Dans ces conditions, r_1 et r_3 sont parallèles.

M vis à vis de G a pour miroir M' , qui vis à vis du sol a pour miroir M''

La figure b illustre ce déploiement.

Le couplage direct est assuré via la distance $r_0 = [(H-h)^2 + d_0^2]^{1/2}$ (Rf-24)

dans laquelle $d_0 = d_1 + d_2$ (Rf-25)

D'autre part $\text{tg } \alpha = h/d_1 = (H-H_g)/d_3 = H_g/(d_2+d_3)$ (Rf-26)

ce qui implique $d_3/d_1 = (H-H_g)/h$ (Rf-27)

La distance r_r de rétro réflexion est: $r_r = r_1 + r_2 + r_3 = [(H+h)^2 + (d_0 + 2 \cdot d_3)^2]^{1/2}$ (Rf-28)

♦ **Conséquences**

Si les parcours sont définis il faut maintenant définir leurs effets.

Dans la réalité, il faut tenir compte:

- De l'effet de la directivité de la source sonore entre son axe directeur et la direction de la première réflexion,
- De la courbe de réponse de cette même source vis à vis de la première réflexion,
- De la transmittance de l'air entre la source et la première réflexion,
- De l'absorption sous incidence oblique du matériau au point d'impact de la première réflexion, en définissant sa transmittance
- pour chacune des réflexions suivantes si elles existent:
 - De la transmittance de l'air entre la réflexion considérée et la suivante,
 - De l'absorption sous incidence oblique du matériau au point d'impact de la réflexion suivante, en définissant sa transmittance
 - et ainsi de suite, pour arriver enfin à la prise en compte,
- De la transmittance de l'air entre la dernière réflexion et le microphone,
- De l'effet de la directivité du micro entre son axe directeur et la direction de la dernière réflexion,
- De la courbe de réponse du micro vis à vis de cette même direction.

Remarques:

- Si l'un des points est très absorbant, il affaiblit considérablement l'effet de la réflexion. Ce qui signifie que les parcours critiques, sont dotés de matériaux peu absorbants.
 - L'effet final correspond à une cascade d'effets qui permet d'affirmer que chaque réflexion est réceptrice vis à vis de source sonore qui la précède et génératrice vis à vis de celle qui la suit.
 - Chaque réflexion vis à vis de ce qui la suit peut donc être considérée comme une source sonore disposant d'une transmittance et d'un facteur de directivité propres. Un matériau très réfléchissant pourra donc être considéré avoir une transmittance voisine de 1; $T=1$ et un facteur de directivité $D=1$.
 - Chaque point de réflexion pourra être considéré comme un adaptateur d'impédance et de ce fait, sans omettre l'affaiblissement lié au parcours total, La transmittance la plus critique du couplage sera celle qui sépare la dernière réflexion, du micro. (La chaîne électroacoustique - chapitre 1 & éléments d'acoustique)
- Cette dernière remarque explique l'accrochage strident, causé par rétro réflexion d'un retour (wedge) sur une guitare.

