Mesure de la longueur d'onde d'une onde sonore Nature générale d'une onde

Les méthodes expérimentales les plus employées pour déterminer une longueur d'onde sont basées, soit sur les interférences, soit sur les ondes stationnaires, soit, quand cela est possible, sur l'étude de l'onde progressive ; ces deux dernières méthodes étant utilisées dans des cas où elles s'excluent mutuellement. En fait, il y a souvent superposition de phénomènes. Lors de l'étude des ondes sonores, en utilisant le même dispositif, on peut déterminer la longueur d'onde soit en étudiant les ondes stationnaires, soit en étudiant l'onde sonore progressive.

1. EXPERIENCES.

Le matériel nécessaire est le suivant : un générateur BF, un haut-parleur, un oscilloscope bicourbe, un microphone, une règle graduée.

PREMIÈRE EXPÉRIENCE.

Le haut-parleur est branché sur la sortie du générateur BF ; on relie le microphone à l'oscilloscope et on étudie le signal sur l'écran. On déplace (fig. 1) le microphone (détecteur D) par rapport au haut-parleur (émetteur E) sur un axe contenu dans le plan de symétrie de l'émetteur.

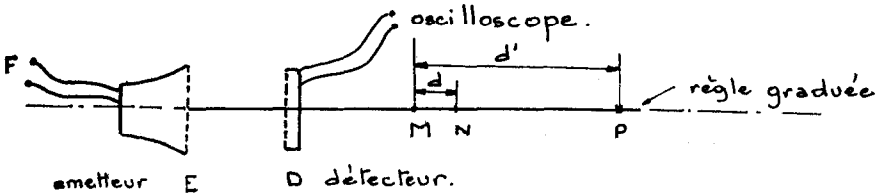

Fig. 1

Sur l'écran, on observe une variation de l'amplitude du signal et on peut déterminer la distance d qui sépare deux points M et N correspondants à deux positions d'amplitude extrême (maximale ou minimale) consécutives. Pour améliorer les résultats, on

peut considérer les points M et P tels qu'on ait observé k fois le passage par cet extrémum.

On a, par application de la théorie des ondes stationnaires (qui s'établissent ici entre E et D) :

$$d = MN = \frac{\lambda}{2}$$

ou : $$d' = MP = k\lambda/2.$$

DEUXIÈME EXPÉRIENCE.

Le dispositif est le même, on relie simplement en plus, la sortie du générateur BF à l'oscilloscope afin d'avoir simultanément sur l'écran le graphe de l'émetteur et du détecteur. On constate qu'un graphe ne varie pas, c'est celui de l'émetteur E ; l'autre varie lorsque l'on déplace le détecteur D (fig. 2).

E étant fixe, on place D de telle sorte que les deux courbes soient en phase sur l'écran ; on déplace alors D de telle sorte que les deux courbes soient de nouveau en phase sur l'écran. La longueur du déplacement du détecteur D est égale à la longueur d'onde λ.

On peut, là aussi, améliorer les résultats en repérant la distance d'' qui sépare deux positions de D entre lesquelles on a observé n fois le phénomène sur l'écran : $d'' = n\lambda$.

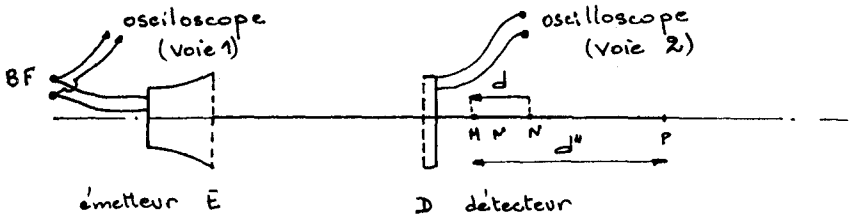

Fig. 2

2. INTERPRETATION.

La manipulation étant la même, ces deux résultats semblent en contradiction ; cette dualité provient en fait de la double nature du signal reçu par l'oscilloscope.

2.1. Nature générale d'une onde sinusoïdale (fig. 3).

Soit Y_i la vibration incidente émise par E vers D, Y_r la vibration réfléchie par D vers E, Y_t la vibration transmise au détecteur.

En D, prenons comme équations :

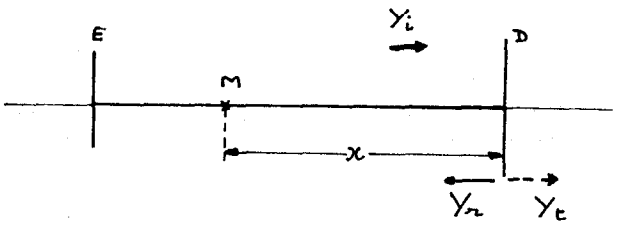

Fig. 3

$Y_i = a \cos \omega t = a\, e^{j\omega t}$

$(j^2 = -1)$

$Y_r = r\, a \cos \omega t = r\, a\, e^{j\omega t}$

r facteur de réflexion

$-1 \leqslant r \leqslant 1$

$Y_t = t\, a \cos \omega t = t\, a\, e^{j\omega t}$

t facteur de transmission

$-1 \leqslant t \leqslant 1.$

Nous ne considérons qu'une seule réflexion, les autres étant supposées faibles.

Soit x l'abscisse de M par rapport à D, étudions, en un point M recevant l'onde Y_{i_M} et l'onde Y_{r_M}, l'onde totale Y_M :

$$Y_{i_M} = a \cdot e^{j\omega t} \cdot e^{jkx}$$

$$Y_{r_M} = r \cdot a \cdot e^{j\omega t}\, e^{-jkx}$$

$$Y_M = Y_{i_M} + Y_{r_M} = a\, e^{j\omega t}\, (e^{jkx} + r\, e^{-jkx})$$

$$= a\, e^{j\omega t}\, (e^{jkx} + e^{-jkx}) + a\, e^{j\omega t}\, (r\, e^{-jkx} - e^{-jkx})$$

$$Y_M = a\, e^{j\omega t}\, (e^{jkx} + e^{-jkx}) + a\, e^{j\omega t}\, e^{-jkx}\, (r - 1)$$

d'où : $Y_M = 2\, a \cos \omega t \cos kx + (r-1)\, a \cos (\omega t - kx)$ (1)

$= \quad A \quad + \quad B$

$A = 2\, a \cos \omega t \cos kx$: terme d'onde stationnaire,

$B = (r - 1)\, a \cos (\omega t - kx)$: terme d'onde progressive : à un instant t donné, les points en phase sont éloignés de $k\lambda$.

D'une façon générale, une onde sinusoïdale de fréquence donnée peut être écrite comme une superposition d'ondes stationnaires, ou comme une superposition d'ondes progressives ou, comme dans le cas présent, une combinaison des deux.

Des cas particuliers sont intéressants :

$r = 0$ alors $Y_{M_i} = Y_M$, on a alors une onde progressive pure transmise intégralement ($t = 1$),

$r = +1$ alors $Y_M = 2\,a \cos \omega t \cos kx$, on a alors un phénomène d'ondes stationnaires pures ($t = 0$) avec extrémité libre,

$r = -1$ alors :

$$Y_M = a\, e^{j\omega t}\,(e^{jkx} - e^{-jkx}) = 2\,a \sin kx \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

on a alors un phénomène d'ondes stationnaires pures ($t = 0$) avec extrémité fixe.

2.2. Retour sur les mesures proposées.

La première expérience s'intéresse au terme A de l'équation (1) ci-dessus ; les maximums d'amplitude se trouvant tous les $\lambda/2$.

La deuxième expérience s'intéresse, elle, au terme B de l'équation (1) ci-dessus.

Les points en phase sont distants de λ ; la courbe de l'émetteur E servant de référence.

Remarques.

* L'équation de Y_M suppose que l'amplitude a est constante, c'est-à-dire qu'elle néglige les phénomènes d'amortissement quand x varie ; or, expérimentalement, le signal diminue quand D s'éloigne de E (diminution de l'angle solide).

* Les résultats sont particulièrement satisfaisants quand on utilise une onde sonore du domaine des ultrasons (ce qui a également l'avantage de ne pas être pénible à l'ouïe). Personnellement nous avons trouvé, en utilisant des transducteurs au titanate de baryum pour une fréquence de 40 kHz $\lambda = 8{,}8$ mm ; ce qui conduit à $V_{son} = 352$ m/s.

Les transducteurs étant très directifs, la longueur d'onde étant courte, l'amortissement est faible, ce qui permet de compter un grand nombre d'extrémums, ce qui améliore la précision de l'expérience.

Michèle CLEMENTE,
(*Lycée Marseilleveyre - Marseille*)
André DURUPTHY,
(*Lycée Joliot-Curie - Aubagne*)
Nicole GEIGER,
(*Lycée Tarascon - Tarascon*)
I.R.E.S.P. de Luminy (*Marseille*).

BIBLIOGRAPHIE

BERKELEY. — *Ondes*. Collection U. Armand Colin. Paris 1972.