

Pour un emploi rationnel de la cuve à ondes

par Jacques GATECEL,
Lycée Charlemagne, Paris.

I. INTRODUCTION.

Dans un article du B.U.P. (N° 649 de décembre 1982), B. LAHAYE rappelait la théorie des ondes se propageant à la surface libre d'un liquide, théorie établie en supposant :

- le liquide incompressible,
- la surface libre illimitée,
- la couche liquide de profondeur constante,
- l'amortissement négligeable,
- l'amplitude petite devant la longueur d'onde et nettement inférieure à la profondeur.

Ce qui conduit à la relation de Lord KELVIN :

$$\omega = k \sqrt{(g/k + A \cdot k/q) \cdot \text{th}(k \cdot h)}$$

avec :

ω pulsation ,

k norme du vecteur d'onde,

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}, \quad \lambda \text{ longueur d'onde,}$$

g accélération de la pesanteur,

A tension superficielle du liquide,

q masse volumique du liquide,

h profondeur.

Or, lorsque nous utilisons une cuve à ondes :

- l'amortissement n'est pas tout à fait négligeable,
- la profondeur est très faible,
- la surface libre ne peut être considérée comme un milieu illimité que si les phénomènes de réflexion sont éliminés, c'est-à-dire si le dispositif d'amortissement placé en bordure de la cuve est parfaitement efficace.

Il convient donc de se demander si, dans les conditions d'utilisation d'une cuve à ondes, la relation de Lord KELVIN est encore valable. D'autre part, si cette relation est effectivement vérifiée, la vitesse de propagation de la phase, ω/k , dépend de k , donc de la fréquence N ; le milieu est *dispersif*. On montre que, dans ce cas, l'énergie transportée par l'onde se propage à la vitesse $d\omega/dk$, dite *vitesse de groupe*, différente de la *vitesse de phase*. Ceci risque de soulever des difficultés pédagogiques, si nous utilisons, sans précautions, la cuve à ondes en classe de première.

Ces considérations m'ont conduit à mener une étude expérimentale de la propagation des ondes à la surface des cuves utilisées dans nos Lycées, en me fixant les objectifs suivants :

- vérifier expérimentalement la relation de Lord KELVIN,
- rechercher si, dans certaines conditions, la dispersion est assez faible pour qu'il ne soit pas nécessaire d'en tenir compte, même dans une étude quantitative, et préciser les domaines où cela serait possible,
- définir les conditions les plus favorables pour mettre en évidence les phénomènes de réflexion, de réfraction, de diffraction, d'interférences.

En fait, j'ai été fortement incité à entreprendre cette étude, puis encouragé à la poursuivre par M. G. GUINIER. Je le remercie vivement pour l'aide précieuse qu'il m'a apportée par ses conseils et ses suggestions.

Avant de décrire les expériences faites et d'exposer les résultats obtenus, précisons que désormais, et conformément à l'esprit du programme de première, pour exprimer la vitesse de propagation d'une onde, nous n'utiliserons que le terme de *célérité*, celle-ci devant être identifiée, du point de vue scientifique, à la vitesse de phase.

Ajoutons que s'il n'est pas pensable d'aborder l'étude de la dispersion des ondes en classe de première, il n'est toutefois pas interdit de signaler aux élèves deux cas distincts. Dans le premier, la célérité des ondes ne dépend que des propriétés élastiques du milieu et est une caractéristique de ce dernier : c'est le cas des ondes transversales se propageant le long d'une corde et des ondes sonores dans l'air. Dans le cas de la cuve à ondes, au contraire, la célérité dépend, en général, non seulement des propriétés de la surface de l'eau, mais encore de la fréquence de l'onde.

Ultérieurement, pour les ondes lumineuses, il pourra être avantageux d'opposer le cas du vide, où la célérité est une

constante universelle, au cas d'un milieu réfringent, comme l'eau ou le verre, pour lequel la célérité dépend de la couleur, donc de la fréquence, de la radiation.

II. ETUDE EXPERIMENTALE.

1) Le matériel.

a) J'ai utilisé la cuve Matlabo qui a pour dimensions :

- longueur : 600 mm,
- largeur : 500 mm,
- profondeur : 18 mm.

Elle est équipée d'un dispositif de projection permettant d'obtenir, sur un verre dépoli vertical, la figure formée par les ondes de surface. Un disque stroboscopique peut intercepter le faisceau lumineux émis par la source placée au-dessus de la cuve. Une prise de mesure a été prévue pour déterminer, après étalonnage, la fréquence du stroboscope.

b) Deux sources de vibrations furent utilisées :

- Un vibreur mécanique LEYBOLD.

Les vibrations sont engendrées par un excentrique placé sur l'axe d'un moteur électrique. La vitesse du moteur détermine la fréquence des vibrations, la position de l'excentrique leur amplitude. L'avantage du dispositif est de pouvoir régler facilement l'amplitude, quelle que soit la fréquence, dans un domaine s'étendant de 0 à 2 mm. Il présente par contre l'inconvénient d'engendrer des vibrations non sinusoïdales ; le taux d'harmonique 2 est de 12 %. Sa fréquence est ajustable entre 2 et 16 Hz.

- Un pulseur d'air MATLABO.

La surface de l'eau est excitée par de l'air pulsé ; les pulsations sont engendrées par une petite pompe. La fréquence peut être réglée entre 6 et 45 Hz. Ce dispositif présente l'avantage de donner naissance à des ondes presque sinusoïdales. Par contre, l'amplitude reste inférieure à 1 mm et son réglage manque de finesse.

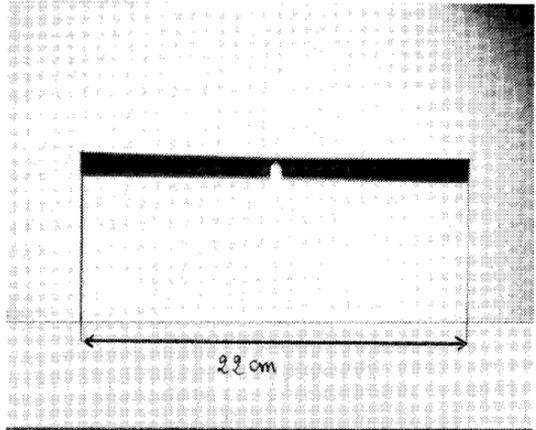
2) Le mode opératoire.

Les figures formées sur le verre dépoli furent photographiées avec une durée d'exposition de $1/120$ s.

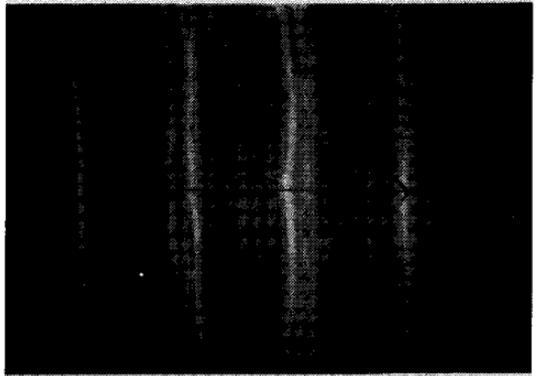
- La profondeur fut réglée successivement à 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12 et 14 mm.

Il faut, bien entendu, s'assurer que la profondeur est constante en réglant l'horizontalité du fond de la cuve à l'aide d'un niveau

Réglette étalon.



fréquence : 4,5 Hz,
profondeur : 10 mm,
 $\lambda = 6,2$ cm.



fréquence : 10 Hz,
profondeur : 8 mm,
 $\lambda = 2,3$ cm.

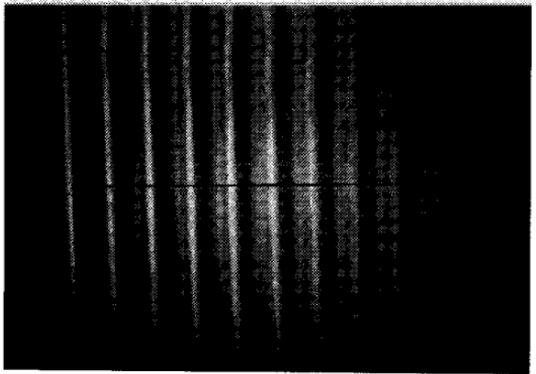


Fig. 1. — Mesure des longueurs d'onde.

à bulle. Cependant, des contrôles effectués dans plusieurs zones ont mis en évidence des défauts de planéité. En conséquence, nous n'avons pas pu définir la profondeur à mieux de 0,2 mm près.

— La fréquence des sources fut réglée à 12 valeurs successives comprises entre 2 et 25 Hz.

— Pour chaque cliché obtenu, la longueur d'onde fut déterminée en mesurant la distance crête à crête entre deux rides. Pour connaître l'échelle des clichés, une réglette étalon avait été placée au fond de la cuve avant chaque série de prises de vues (fig. 1). La précision, variable selon les clichés fut de l'ordre de 1 à 2 %.

3) Limitations concernant la fréquence et la profondeur d'eau.

a) Le domaine de fréquence est d'abord limité par les possibilités de la source : nous les avons déjà citées. Mais d'autres limites sont imposées par les longueurs d'onde effectivement utilisables. Pour que les figures obtenues soient assez facilement exploitables, la longueur d'onde doit être comprise entre 1 et 9 cm.

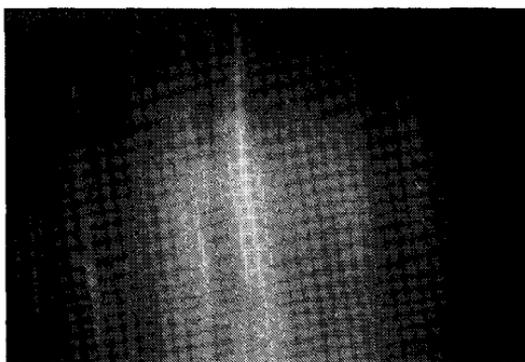
— La longueur d'onde doit être supérieure à 1 cm, sinon les figures deviennent trop denses.

— La longueur d'onde doit être inférieure à 9 cm, sinon les rides correspondant aux lignes de crête sont difficiles à distinguer en projection (fig. 2).

Fig. 2.

La limite de visibilité est atteinte :

amplitude : 2 mm,
longueur d'onde : 9 cm,
profondeur : 8 mm,
fréquence : 3 Hz.



Je pense que l'on peut interpréter ceci simplement : le rayon de courbure de la surface libre augmente avec la longueur d'onde, la concentration de la lumière due à cette courbure diminue donc quand la longueur d'onde augmente. Quand l'amplitude du vibreur est égale à 2 mm, la longueur d'onde doit rester inférieure à 9 cm pour que les rides soient encore facilement décelables sur l'ensemble de la cuve (le contraste est plus faible pour les rides les plus éloignées de la source car l'amortissement n'est pas négligeable). Pour une amplitude du vibreur de 1 mm, la longueur d'onde doit être inférieure à 6 cm.

En pratique, il est préférable de choisir la fréquence de la source dans un intervalle compris entre 4 et 20 Hz.

b) La profondeur doit être au moins 3 fois plus grande que l'amplitude de l'onde pour qu'il n'y ait pas de déformation sensible au cours de la propagation. Je n'ai pu obtenir aucune solution satisfaisante pour $h < 3$ mm ; pour $h = 3$ mm, l'amplitude doit être inférieure à 1 mm et, par conséquent, pour que les rides apparaissent en projection, la longueur d'onde doit alors être inférieure à 6 cm ($k > 100$ rad/m).

4) Vérification de la relation de Lord Kelvin.

Nous avons comparé les résultats expérimentaux obtenus à ceux que l'on peut déduire de cette relation en adoptant la valeur classique $A = 7,5 \cdot 10^{-2}$ N/m, pour la tension superficielle de l'eau. L'expérience montre qu'il y a une bonne compatibilité entre les valeurs mesurées et les valeurs théoriques. Pour donner, le plus simplement possible, une idée des résultats obtenus, nous

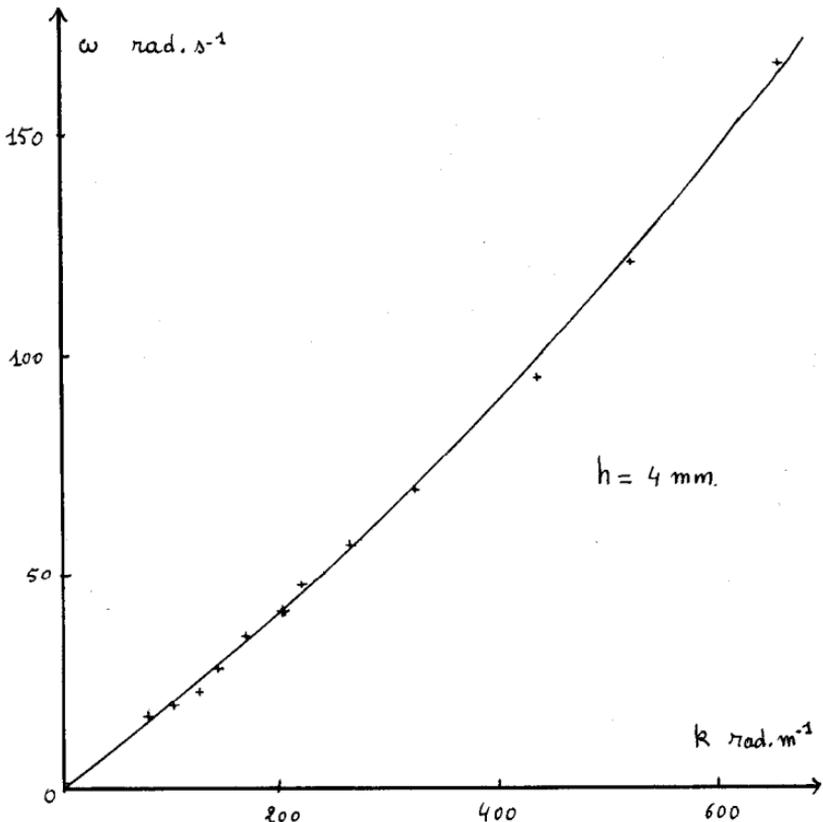


Fig. 3

avons tracé, sur une même figure, les points expérimentaux, pour trois des profondeurs étudiées et la représentation graphique de la relation de Lord KELVIN (fig. 3, 4, 5).

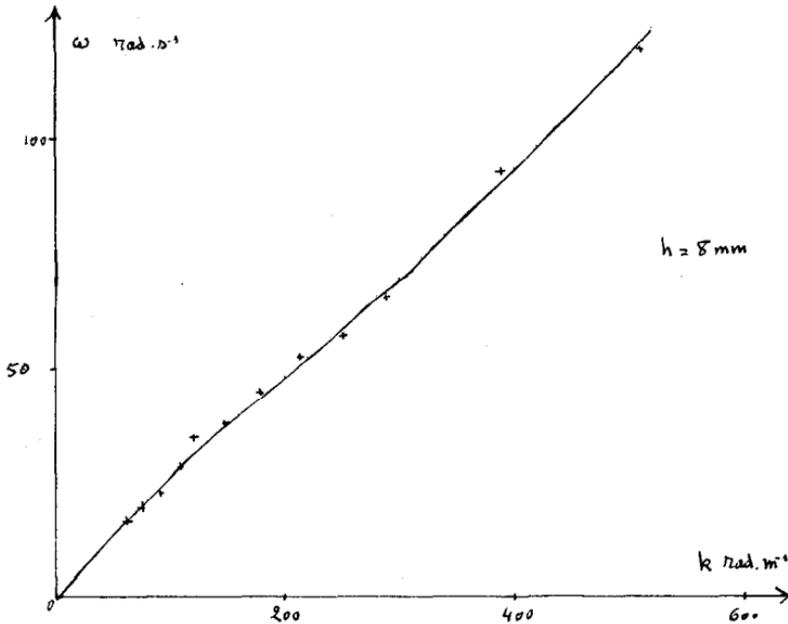


Fig. 4

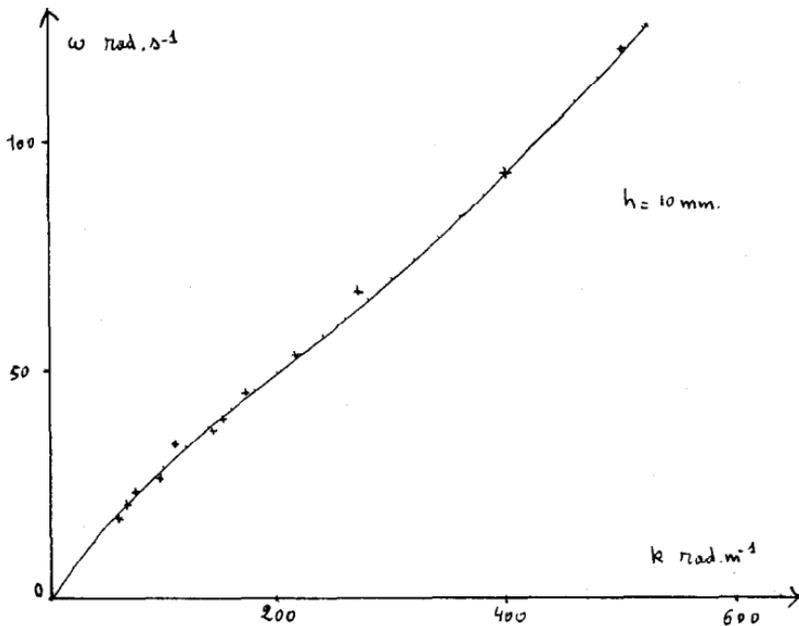


Fig. 5

5) Influence de la profondeur sur la célérité de l'onde.

Maintenant que nous sommes sûrs de sa validité, nous allons utiliser la formule de Lord KELVIN pour étudier comment varie, en fonction de la profondeur h de la couche d'eau, la célérité d'une onde de fréquence N , se propageant à la surface libre. La fig. 6 représente les résultats obtenus pour deux fréquences : 7,5 Hz et 11 Hz. Dans tous les cas, la célérité croît avec la profondeur et tend vers une limite : la célérité en eau profonde pour la fréquence considérée. Cette limite est atteinte quand $th(k \cdot h) \approx 1$, soit à mieux de 1 % près dès que $h > 0,4 \lambda$. La célérité prend alors pour expression : $c = \sqrt{g/k + A \cdot k/q}$, relation malheureusement peu commode à utiliser car la fréquence n'y intervient que par l'intermédiaire de la norme k du vecteur d'onde.

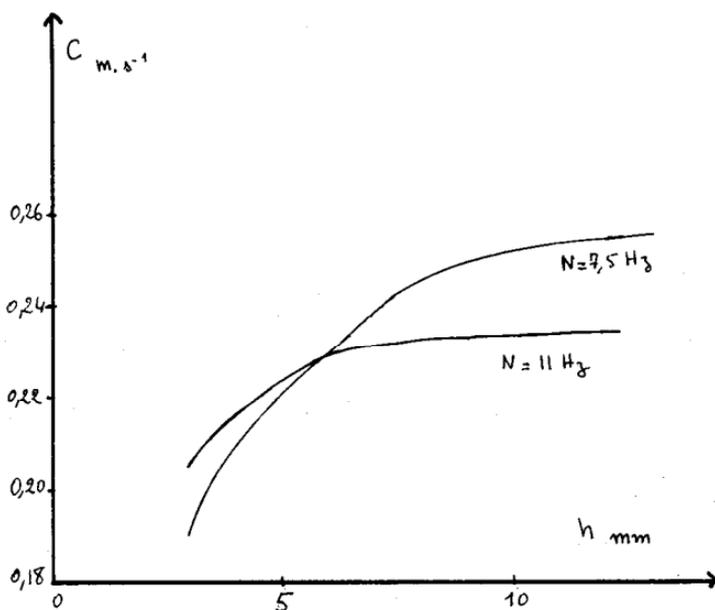


Fig. 6. — Variation de la célérité de l'onde en fonction de la profondeur d'eau.

On peut remarquer l'intersection des deux courbes pour une profondeur de 6 mm. Pour une telle profondeur, la célérité est pratiquement indépendante de la fréquence, quand celle-ci varie de 5 à 25 Hz.

Pour les ondes dites de gravité, lorsque la couche d'eau est très peu profonde, la célérité est indépendante de la fréquence et a une expression très simple : $c = \sqrt{g \cdot h}$. Pour cela, deux conditions doivent être satisfaites :

- la longueur d'onde doit être suffisamment grande pour que le terme de capillarité $A \cdot k/q$ soit négligeable devant le terme de gravité g/k ;
- la profondeur doit être assez faible pour qu'on puisse confondre $\text{th}(k \cdot h)$ et $k \cdot h$, approximation qui n'est valable à 1 % près que si $k \cdot h < \pi/20$, soit $\lambda > 40 h$.

Ce cas est très intéressant, car il se présente quand la houle arrive sur un haut fond. Mais il ne correspond pas aux conditions d'utilisation judicieuse d'une cuve à ondes. Il convient en effet, comme nous l'avons précisé, que h soit supérieur à 3 mm et inférieur à 9 cm, ce qui implique λ/h inférieur à 30 !

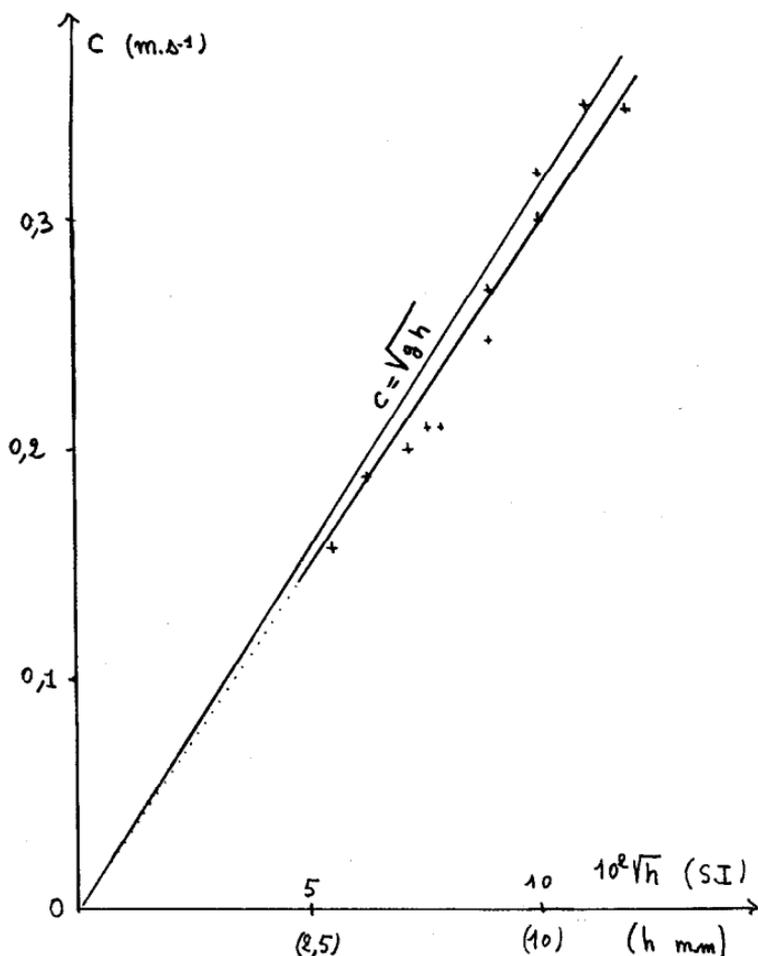


Fig. 7

Mesures effectuées avec des fréquences comprises entre 3 et 4,5 Hz. La longueur d'onde variait entre 8 et 9 cm, le rapport λ/h entre 7 et 30. Incertitude sur la mesure de λ , de l'ordre de 5 à 10 %.

J'ai cependant tenté une étude en me plaçant en limite de validité de la formule $c = \sqrt{g \cdot h}$, d'une part, et des possibilités d'utilisation de la cuve d'autre part. Les résultats obtenus sont représentés fig. 7. On constate une grande dispersion des résultats due aux difficultés expérimentales dans de telles conditions. Les figures obtenues sont difficiles à exploiter, il n'est pas conseillé de le faire en classe.

On peut donc retenir que, dans les expériences réalisées sur une cuve à ondes, dans nos établissements, la relation $c = \sqrt{g \cdot h}$ n'est jamais vérifiée.

6) Intervention de la dispersion.

La surface de l'eau est un milieu dispersif. On doit donc se poser deux questions : est-ce un inconvénient ? si oui, est-il possible d'opérer dans des conditions où la dispersion est assez faible pour être négligeable.

Si l'onde est sinusoïdale, peu importe qu'il y ait ou non dispersion. Malheureusement, il est difficile d'obtenir une onde parfaitement sinusoïdale. Ainsi, avec l'une des sources que j'ai utilisées, le vibreur LEYBOLD, le taux d'harmonique 2 atteint 12 %. Dans ce cas, si nous ne prenons aucune précaution, l'onde se déforme sensiblement au cours de la propagation, comme le montre la fig. 8.

C'est naturellement une situation à éviter devant les élèves. Deux cas de dispersion nulle sont bien connus. Le premier est celui des ondes de gravité, lorsque $\lambda > 40 h$; nous l'avons déjà évoqué et nous savons qu'il ne présente aucun intérêt ici.

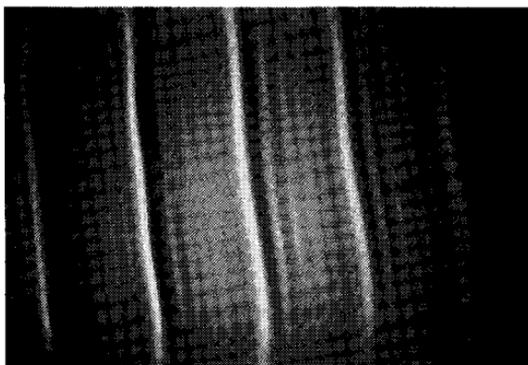


Fig. 8 a

profondeur : 12 mm,
fréquence : 5,5 Hz,
longueur d'onde :
5,1 cm.

Fig. 8. — Effet de la dispersion sur la propagation en eau assez profonde. Source utilisée : vibreur Leybold.

Fig. 8 b

profondeur : 12 mm,
fréquence : 7,5 Hz,
longueur d'onde :
3,4 cm.

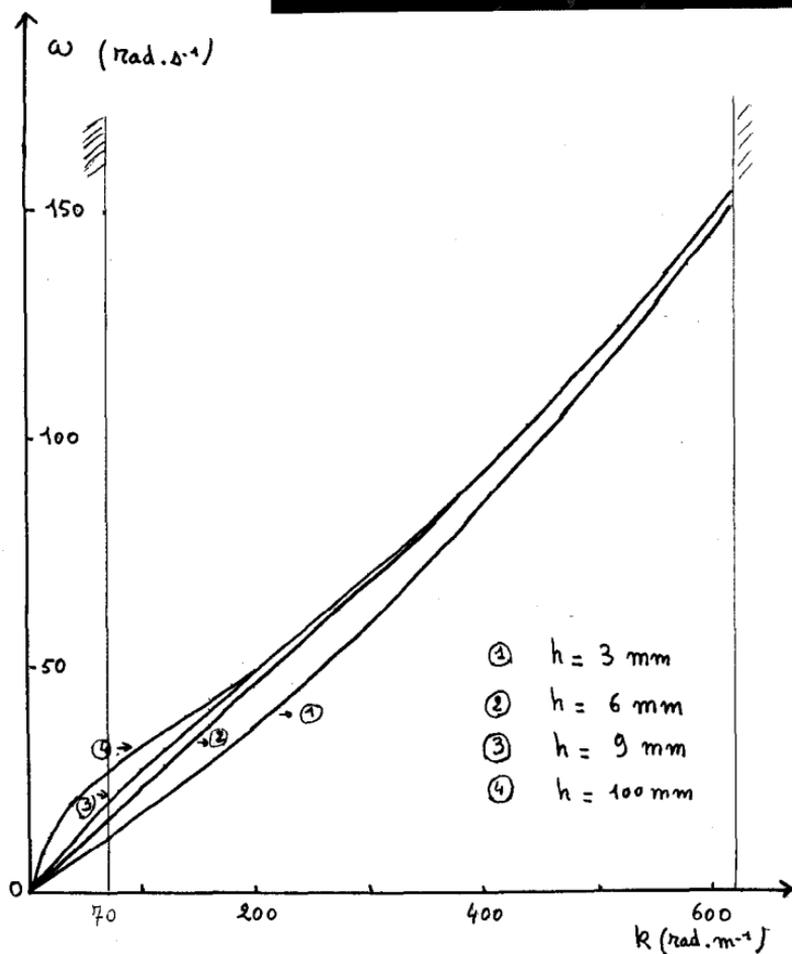
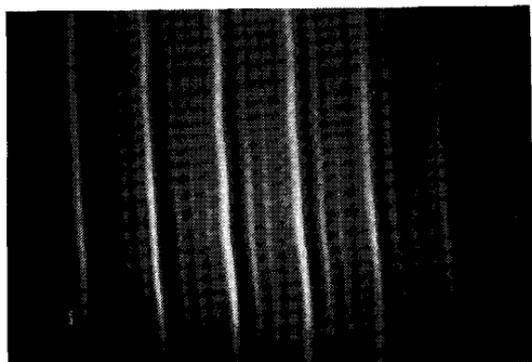


Fig. 9. — Représentation graphique de la relation de Lord Kelvin, $\omega(k)$ pour 4 valeurs de la profondeur d'eau.

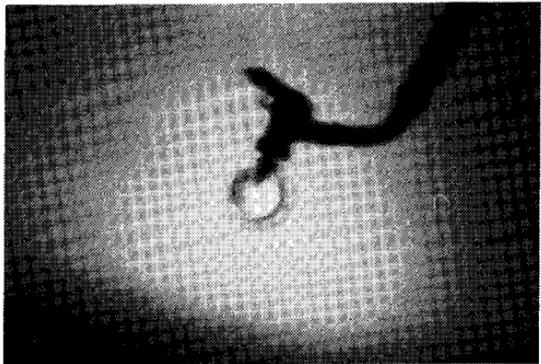
Le second concerne une couche profonde quand la célérité, $c = \sqrt{g/k + A \cdot k/q}$, passe par un minimum. Les deux termes sous le radical, dont le produit est constant, sont alors égaux ; on a $k = \sqrt{g \cdot q/A}$; soit $k = 360 \text{ rad/m}$; $c = 0,23 \text{ m/s}$; $\lambda = 17,5 \text{ mm}$; $N = 13,5 \text{ Hz}$. En fait, ce cas n'est pas facilement utilisable, car le minimum est relativement aigu et l'absence de dispersion ne joue que pour les fréquences assez voisines de 13 Hz ; ce qui est difficilement le cas du fondamental et de ses harmoniques.

Heureusement, il y a une solution approximative qu'il est facile de mettre graphiquement en évidence. La fig. 9 donne la représentation graphique de la relation de Lord KELVIN, en fonction de k , pour quatre valeurs de la profondeur de la couche d'eau, dans la région que nous savons utilisable, soit dans l'intervalle : $70 \text{ rad/m} < k < 630 \text{ rad/m}$.

On constate que, dans presque toute cette région, la courbe (2) correspondant à la profondeur $h = 6 \text{ mm}$, est voisine d'une droite ; dans ce cas, la célérité est donc voisine de $0,235 \text{ m/s}$ pour toutes les fréquences comprises entre 5 et 20 Hz. L'expérience confirme que, dans ces conditions, la dispersion n'est pas gênante... *Pour éviter, ou tout au moins pour atténuer autant que possible les complications et les ennuis dus à la dispersion, il convient d'opérer avec une couche d'eau d'environ 6 mm.*

Fig. 10

Signal engendré
par la chute
d'une goutte d'eau.



— profondeur : 6 mm,

— enregistrements
obtenus à environ,
1/3 s d'intervalle.

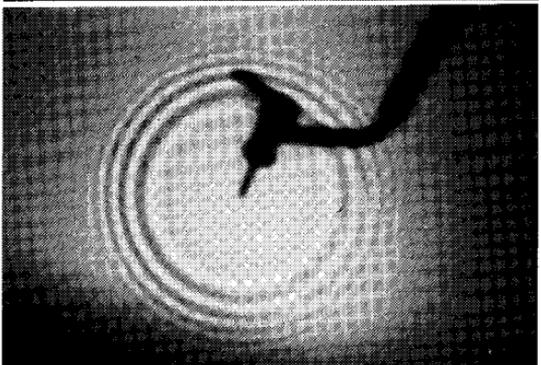
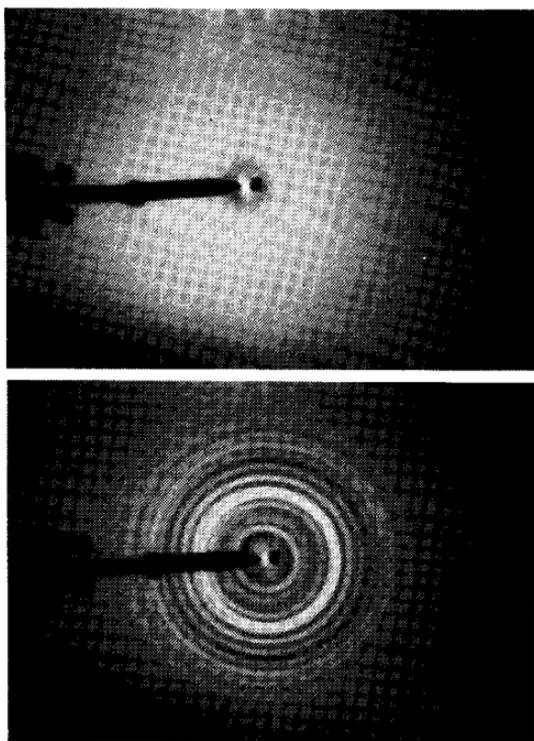


Fig. 11
Signal engendré
par une brève
excitation du vibreur.

— profondeur : 6 mm,

— enregistrements
obtenus à environ,
1/3 s d'intervalle.



III. EXEMPLES D'UTILISATION DE LA CUVE A ONDES.

1) Propagation d'un ébranlement.

Dans la propagation d'un bref ébranlement à la surface de l'eau, le spectre de fréquences du signal est très large, la dispersion intervient obligatoirement. La déformation du signal provoqué par la chute d'une goutte d'eau apparaît nettement (fig. 10). Les effets de la dispersion sont encore évidents lors de la propagation d'un signal obtenu en excitant très brièvement un vibreur (fig. 11). Il est donc préférable de s'abstenir de réaliser de telles expériences en classe de première si l'on veut respecter l'esprit et la lettre du programme.

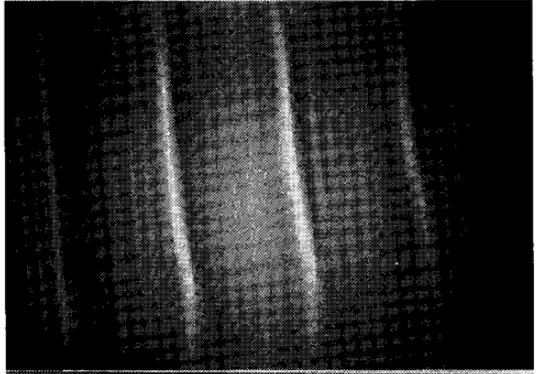
2) Propagation d'une onde.

Si la source est sinusoïdale, il n'y a aucune précaution à prendre. Dans le cas contraire, il faut choisir une profondeur de l'ordre de 6 mm pour atténuer au maximum les effets de la dispersion (fig. 12, 13).

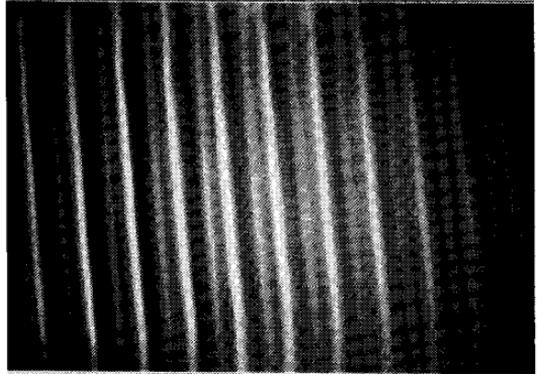
Avec une source sinusoïdale, il serait même facile de montrer que la célérité en eau profonde dépend de la fréquence ; il

faudrait alors opérer avec la plus grande profondeur d'eau possible.

profondeur : 6 mm,
amplitude : 2 mm,
fréquence : 4,5 Hz,
longueur d'onde :
5,3 cm.



profondeur : 6 mm,
amplitude : 1,5 mm,
fréquence : 9 Hz,
longueur d'onde :
2,5 cm.



profondeur : 6 mm,
amplitude : 1 mm,
fréquence : 15 Hz,
longueur d'onde :
1,5 cm.

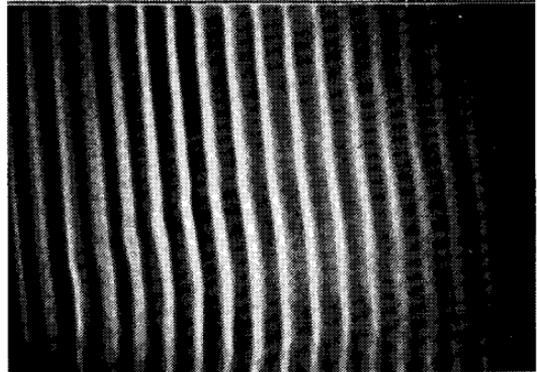
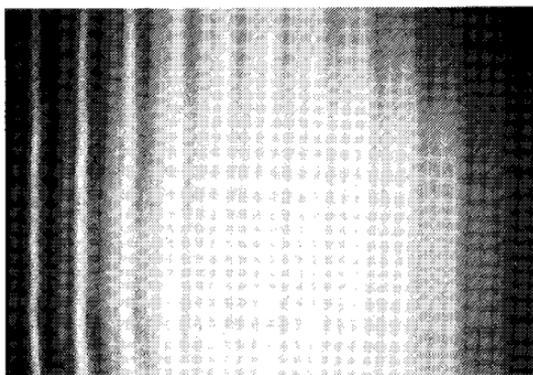
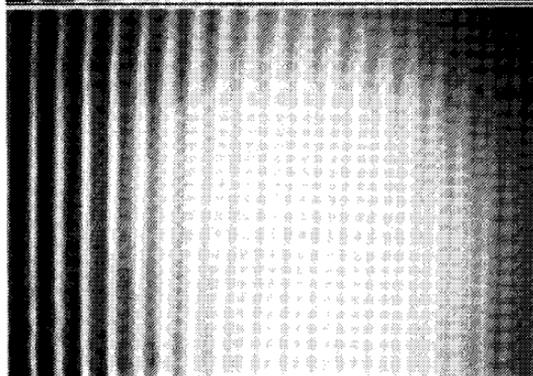


Fig. 12. — Source : vibreur Leybold. Amplitude : de 1 à 2 mm.
Taux d'harmonique 2 : 12 %.

profondeur : 6 mm,
fréquence : 9 Hz,
longueur d'onde :
2,5 cm.



profondeur : 6 mm,
fréquence : 15 Hz,
longueur d'onde :
1,5 cm.



profondeur : 6 mm,
fréquence : 25 Hz,
longueur d'onde : 1 cm.

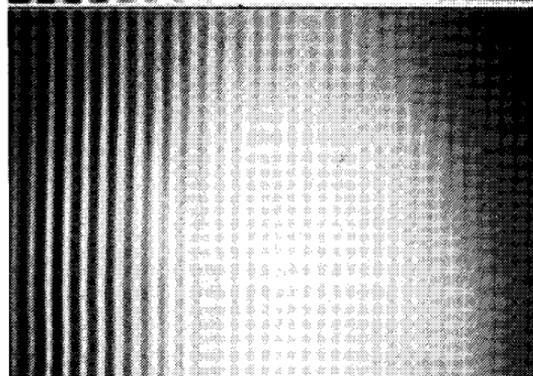


Fig. 13. — Source : pulseur Matlabo. Amplitude : de 0,7 à 0,9 mm.

3) Réflexion.

Il est difficile, sur une cuve à ondes, d'éviter la superposition entre l'onde incidente et l'onde réfléchi. Il risque alors d'apparaître des franges d'interférence ; or, il n'est pas souhaitable, du point de vue pédagogique, d'aborder simultanément l'étude de deux phénomènes. Heureusement, quand la fréquence est faible, les franges d'interférence sont peu visibles, tandis que l'on suit facilement la propagation de l'onde incidente et de l'onde réfléchi. C'est donc dans ces conditions qu'il faut se placer pour observer le phénomène de réflexion. Il semble que deux effets concourent à rendre le phénomène plus facile à observer à basse fréquence :

Fig. 14 a

profondeur : 6 mm,
fréquence : 9 Hz,
longueur d'onde :
2,5 cm.

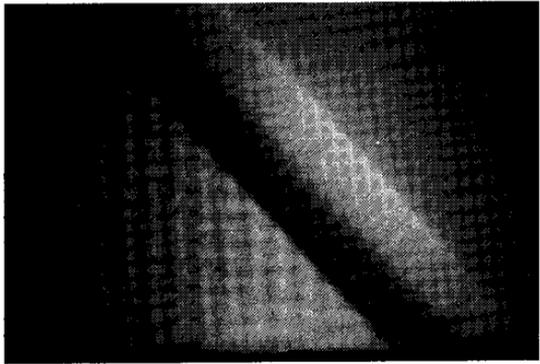


Fig. 14 b

profondeur : 6 mm,
fréquence : 5,5 Hz,
longueur d'onde :
4,2 cm.

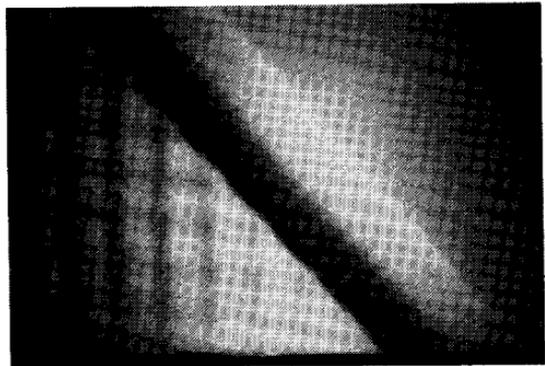


Fig. 14. — Réflexion d'une onde.

- la longueur d'onde étant plus grande, les lignes d'onde sont plus espacées (fig. 14);
- l'œil suit beaucoup plus facilement la propagation des ondes de basse fréquence (ce dont on ne peut pas rendre compte par la photographie). On peut, en stroboscopant, abaisser la fréquence apparente mais l'effet est, bien entendu, sans action sur l'espacement des lignes d'onde.

4) Réfraction.

Pour étudier le phénomène de réfraction, il faut délimiter dans la cuve deux ondes de profondeurs différentes. Pour que la démonstration soit satisfaisante, il faut que le rapport des célérités dans les deux zones soit le plus grand possible. On se heurte cependant ici à de sérieuses difficultés.

Reprenons les résultats exposés au chapitre précédent, paragraphe II.5, et en particulier la représentation (fig. 6), de la variation de la célérité en fonction de la profondeur, pour les fréquences de 7,5 et 11 Hz. Nous pouvons constater que la célérité devient indépendante de la profondeur dès 7 mm, pour la fréquence de 11 Hz, alors qu'elle reste croissante jusqu'à une profondeur de 10 mm pour la fréquence de 7,5 Hz. La profondeur minimale utilisable étant pratiquement de 3 mm, le rapport maximal des célérités n'est que de 1,14 pour une fréquence de 11 Hz, alors qu'il atteint 1,37 pour 7,5 Hz. Pour obtenir un phénomène de réfraction sensible, il y a donc intérêt à utiliser des basses fréquences : pour une fréquence de 5 Hz, le rapport des célérités peut théoriquement atteindre 1,81. Il est malheureusement difficile d'obtenir de telles performances. Il faudrait disposer d'une source, parfaitement sinusoïdale et fournissant une onde d'amplitude supérieure à 1 mm. La longueur d'onde, dans la zone la plus profonde est en effet supérieure à 6 cm, et nous avons vu qu'une grande amplitude est alors nécessaire pour que les rides restent visibles. Quand on ne dispose pas d'une telle source, ce qui est mon cas, il faut trouver un compromis. J'ai recherché des conditions telles que la dispersion reste peu importante : profondeurs encadrant la valeur de 6 mm, fréquence choisie pour que la valeur de 13 Hz soit située entre le fondamental et l'harmonique 2. Les figures (15 a, b, c) montrent les résultats obtenus dans ces conditions ; le rapport des célérités n'est jamais très supérieur à 1,1 et le phénomène de réfraction, sensible, n'est jamais très important. Avec une fréquence de 5 Hz (fig. 15 d), le phénomène de réfraction est beaucoup plus sensible, mais la dispersion n'est plus négligeable.

Fig. 15 a

$$h_1 = 11 \text{ mm,}$$

$$h_2 = 5 \text{ mm,}$$

$$N = 7,5 \text{ Hz,}$$

$$\lambda_1/\lambda_2 = 1,15,$$

$$i_1 = 33^\circ 30',$$

$$i_2 = 29^\circ,$$

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = 1,14.$$

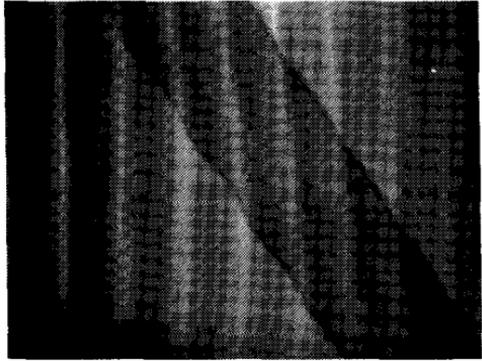


Fig. 15 b

$$h_1 = 8 \text{ mm,}$$

$$h_2 = 4 \text{ mm,}$$

$$\lambda_1/\lambda_2 = 1,16,$$

$$i_1 = 42^\circ,$$

$$i_2 = 35^\circ,$$

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = 1,17,$$

$$N = 9 \text{ Hz.}$$

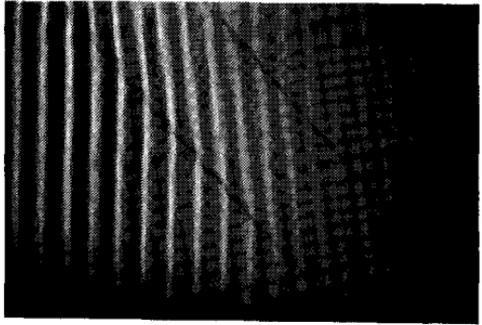


Fig. 15 c

$$h_1 = 9 \text{ mm,}$$

$$h_2 = 3 \text{ mm,}$$

$$N = 11 \text{ Hz,}$$

$$\lambda_1/\lambda_2 = 1,13,$$

$$i_1 = 44^\circ,$$

$$i_2 = 38^\circ,$$

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = 1,13.$$

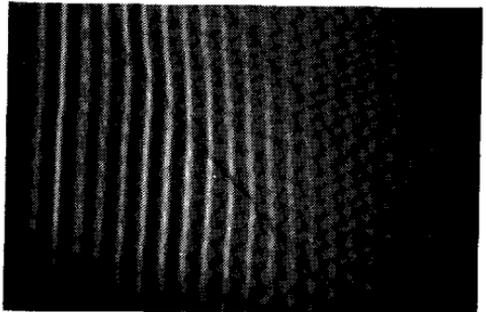


Fig. 15. — Réfraction d'une onde.

Fig. 15 *d*

$$h_1 = 9 \text{ mm,}$$

$$h_2 = 3 \text{ mm,}$$

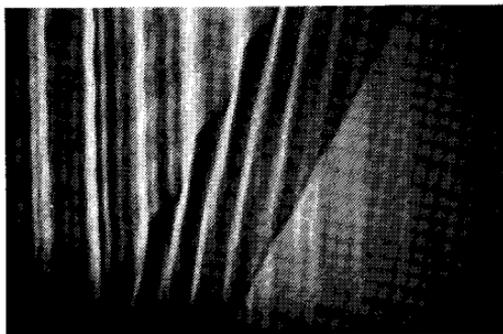
$$N = 5 \text{ Hz,}$$

$$\lambda_1/\lambda_2 = 1,5,$$

$$i_1 = 31^\circ,$$

$$i_2 = 20^\circ,$$

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = 1,5.$$



La dispersion n'est pas négligeable.

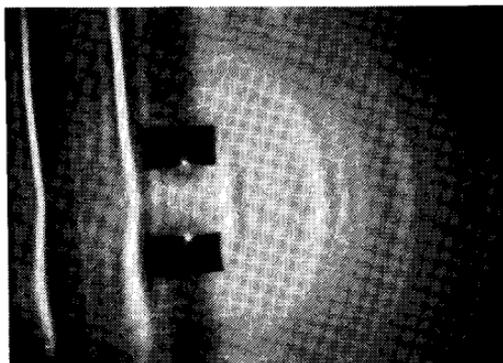
Fig. 16 *a*

profondeur : 6 mm,

fréquence : 5,5 Hz,

longueur d'onde :
4,2 cm,

ouverture : 4,5 cm.

Fig. 16 *b*

profondeur : 6 mm,

fréquence : 9 Hz,

longueur d'onde :
2,5 cm,

ouverture : 6 cm.

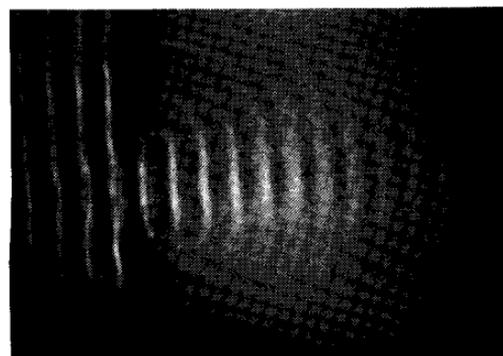


Fig. 16. — Diffraction.

5) Diffraction.

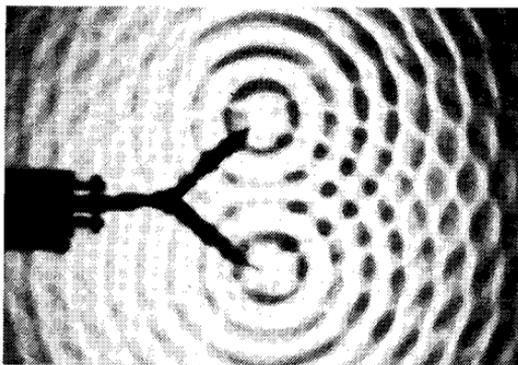
L'étude de la diffraction ne présente pas de difficultés particulières, il est possible d'utiliser la cuve dans un large domaine de fréquences, celui déjà défini pour étudier la propagation des ondes. Si l'on souhaite mettre en évidence des franges de diffraction, il est cependant nécessaire de choisir des fréquences assez élevées, de l'ordre de 10 Hz, et une ouverture proche de 2 à 3λ , soit de l'ordre de 6 à 10 cm (fig. 16).

6) Interférences.

Ici encore, aucune difficulté. Notons simplement qu'il faut, cette fois, privilégier la visibilité des franges d'interférences par rapport à l'observation de la propagation. Conformément à ce que nous avons dit précédemment, il y a donc intérêt à utiliser des fréquences élevées, de l'ordre de 10 à 20 hertz (fig. 17).

$N = 13$ Hz,

$\lambda = 1,8$ cm.



$N = 18$ Hz,

$\lambda = 1,3$ cm.

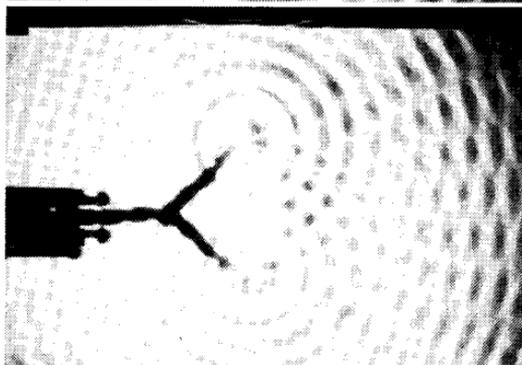


Fig. 17. — Interférences - profondeur : 6 mm.

La photographie rend mal compte de la perception des figures d'interférence en observation directe. L'œil s'attache, en effet, plus facilement aux lignes fixes, les franges, qu'aux lignes en mouvement, les lignes d'onde. En photographie (comme en observation stroboscopique, qui est à éviter, dans ce cas) toutes les lignes gardent la même importance.

En conclusion, la cuve à ondes peut être un excellent outil pédagogique, à condition de l'utiliser judicieusement. Elle permet de présenter les phénomènes de réflexion, de réfraction et de diffraction comme des propriétés spécifiques des ondes ; ce qui n'est pas toujours aussi évident dans d'autres domaines d'observation. Il faut cependant résister à la tentation d'en faire un outil exclusif. Ce n'est pas toujours le dispositif le mieux adapté et, surtout, il faut absolument éviter que l'étude de la propagation des ondes, en classe de première, se réduise à celle des ondes à la surface de l'eau. Ceci est d'autant plus vrai que nous nous plaçons, en fait, dans des conditions très particulières pour escamoter les difficultés que mettrait en évidence une étude plus approfondie. A mon avis, dans ce cas comme dans celui de la table à coussin d'air en classe de seconde, s'il ne faut pas hésiter à utiliser un matériel didactique, même sophistiqué, quand celui-ci nous apporte une aide efficace pour introduire un concept, il faut savoir le quitter rapidement et prendre la majorité de nos sujets d'étude parmi les exemples que nous offrent les phénomènes naturels ou les dispositifs techniques connus des élèves.

BIBLIOGRAPHIE

- G. BRUHAT. — *Mécanique*. Chapitre XXIV. Cours de physique générale. 1961. Paris. Masson.
- S. FRANCK et CRAWFORD Jr. — Chapitres VI et VI-2. Cours de physique. 1972. Berkley, volume 3. Paris. Armand Colin.
- R. FEYNMAN. — *Mécanique*. 1970. Tome I. 2^e partie, et 51-4. Cours de physique. Addison-Wesley.
- B. LAHAYE. — *Propagation des ondes*. 1982. p. 273 à 309, Bulletin n° 649 Union des Physiciens.