

INTERPRÉTATION DES VARIATIONS DE LA FORME DE L'INDICATRICE DE DIFFUSION DE LA LUMIÈRE PAR LES EAUX DE MER

par M. André MOREL

(Laboratoire d'Océanographie Physique de la Faculté des Sciences de Paris)

SOMMAIRE. — Il semble que les variations de forme de l'indicatrice de diffusion des eaux de mer puissent être interprétées simplement par la considération des parts respectives revenant à la diffusion moléculaire et à la diffusion par les particules ; celles-ci présenteraient une indicatrice quasi-invariable. Ceci a pu être mis en évidence en utilisant les échantillons prélevés en Manche, en mer Tyrrhénienne, en Méditerranée, au large et en baie de Villefranche. En outre, est déterminé le coefficient de diffusion à 90° de l'eau de mer optiquement pure :

$$0,064 \text{ (benzène} = 1,00), \text{ pour } \lambda = 546 \text{ m}\mu.$$

SUMMARY. — It appears that the variations of the volume scattering function for natural sea waters could be explained by considering the part of the scattering due to the water itself and the part due to the suspended particles. The scattering effected by particles would exhibit an almost unchanging function. This feature is revealed using samples from the Channel, the Tyrrhenian sea, the Mediterranean sea, in the bay and off Villefranche sur Mer. Moreover the scattering coefficient at right angles for the optically pure sea water is determined :

$$0,064 \text{ (} C_6 H_6 = 1,00) \text{ at } \lambda = 546 \text{ m}\mu,$$

Il a été remarqué précédemment [1] que la forme de l'indicatrice de diffusion varie d'un échantillon d'eau de mer à l'autre, non seulement pour les angles supérieurs à 90°, comme l'avaient déjà noté S. Q. DUNLEY [2] et N. G. JERLOV [3], mais aussi, dans le cas des eaux très limpides, pour les angles inférieurs à 90°. La figure 1 montre ces variations depuis une forme très dissymétrique ($Z_{135}^{45} = 11,5$, courbe 1) correspondant à une eau turbide ($r_{90} = 0,48$) (1), vers une forme plus symétrique ($Z_{135}^{45} = 2,25$, courbe 6) relative à l'eau la plus pure observée. Pour les eaux plus diffusantes que l'échantillon 1, la forme ne varie pratiquement plus ; par contre, lorsque r_{90} décroît, la partie arrière de l'indicatrice ($\theta > 90^\circ$) est modifiée (courbes 1 et 2), la partie avant ($\theta < 90^\circ$) ne l'étant que dans le cas des eaux exceptionnellement pures (r_{90} décroissant de 0,16 à 0,09). Le tracé de près d'une centaine d'indicatrices relatives à des échantillons d'origines très diverses (Manche, baie de Villefranche, Méditerranée, mer Tyrrhénienne), a montré qu'aux erreurs près, les courbes ne se recoupent pas et que la forme paraît uniquement déterminée par la valeur

de r ; c'est aussi ce que traduit la concomitance des variations de r et de Z . Ceci s'expliquerait si les particules présentent toujours la même indicatrice, la forme de l'indicatrice de l'eau de mer étant alors uniquement fonction des parts respectives revenant à la diffusion moléculaire et à la diffusion par les particules.

Pour vérifier cette explication, on porte pour chaque échantillon le coefficient de diffusion pour l'angle θ , soit r_θ , en fonction de r_{90} , r_θ étant défini comme suit :

$$r_\theta = \frac{\text{intensité diffusée à } \theta^\circ \text{ par l'échantillon}}{\text{intensité diffusée à } 90^\circ \text{ par le benzène}} \times 0,79 \sin \theta$$

(le facteur 0,79 sin θ correspond à la variation du volume diffusant avec l'indice et l'angle d'observation). On peut écrire que la diffusion observée est la somme d'un terme dû à l'eau et aux ions (indice 0), et d'un terme dû aux particules en suspension (indice p) soit :

$$\text{à } 90^\circ : r_{90} = (r_{90})_0 + (r_{90})_p,$$

$$\text{à } \theta^\circ : r_\theta = (r_\theta)_0 + (r_\theta)_p.$$

Si on fait l'hypothèse de l'invariance de l'indicatrice due aux particules, on peut écrire :

$$(r_\theta)_p / (r_{90})_p = C^{te} = R_\theta,$$

dans ces conditions, il vient :

$$r_\theta - (r_\theta)_0 = R_\theta [r_{90} - (r_{90})_0],$$

équation d'une droite de pente R_θ , passant par le point $(r_\theta)_0$, $(r_{90})_0$ représentatif de l'eau de mer optiquement pure. La répartition des points expérimentaux semble bien traduire l'existence de telles relations linéaires, confirmant l'hypothèse initiale de l'invariance et permettant du même coup de mesurer R_θ . Les figures 2 et 3 fournissent un exemple de tels diagrammes $r_\theta - r_{90}$. Les équations des droites de régression ont été calculées et les pentes fournissent pour les particules seules, les coefficients de diffusion relatifs suivants :

θ	30°	37°5	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	142°5	150°
R_θ	31,7 ± 3,0	15,7 ± 1,3	8,5 ± 0,7	3,41 ± 0,30	1,61 ± 0,10	1,00	0,74 ± 0,05	0,65 ± 0,05	0,65 ± 0,07	0,70 ± 0,08	0,87 ± 0,15

(1) r_{90} est le rapport des coefficients de diffusion à 90° de l'échantillon et du benzène optiquement pur. Dans une précédente publication (1), il n'a pas été tenu compte de la variation du volume diffusant avec l'indice du milieu observé ; en conséquence les valeurs r_{90} antérieurement présentées sont

à multiplier par le facteur 0,79, égal théoriquement (10) au carré de l'indice relatif $(n_{H_2O} / n_{C_6H_6})^2$ et dont l'applicabilité dans le cas du dispositif utilisé pour ces mesures, a été expérimentalement justifiée (11). Z_{135}^{45} est le rapport de dissymétrie r_{45} / r_{135} .

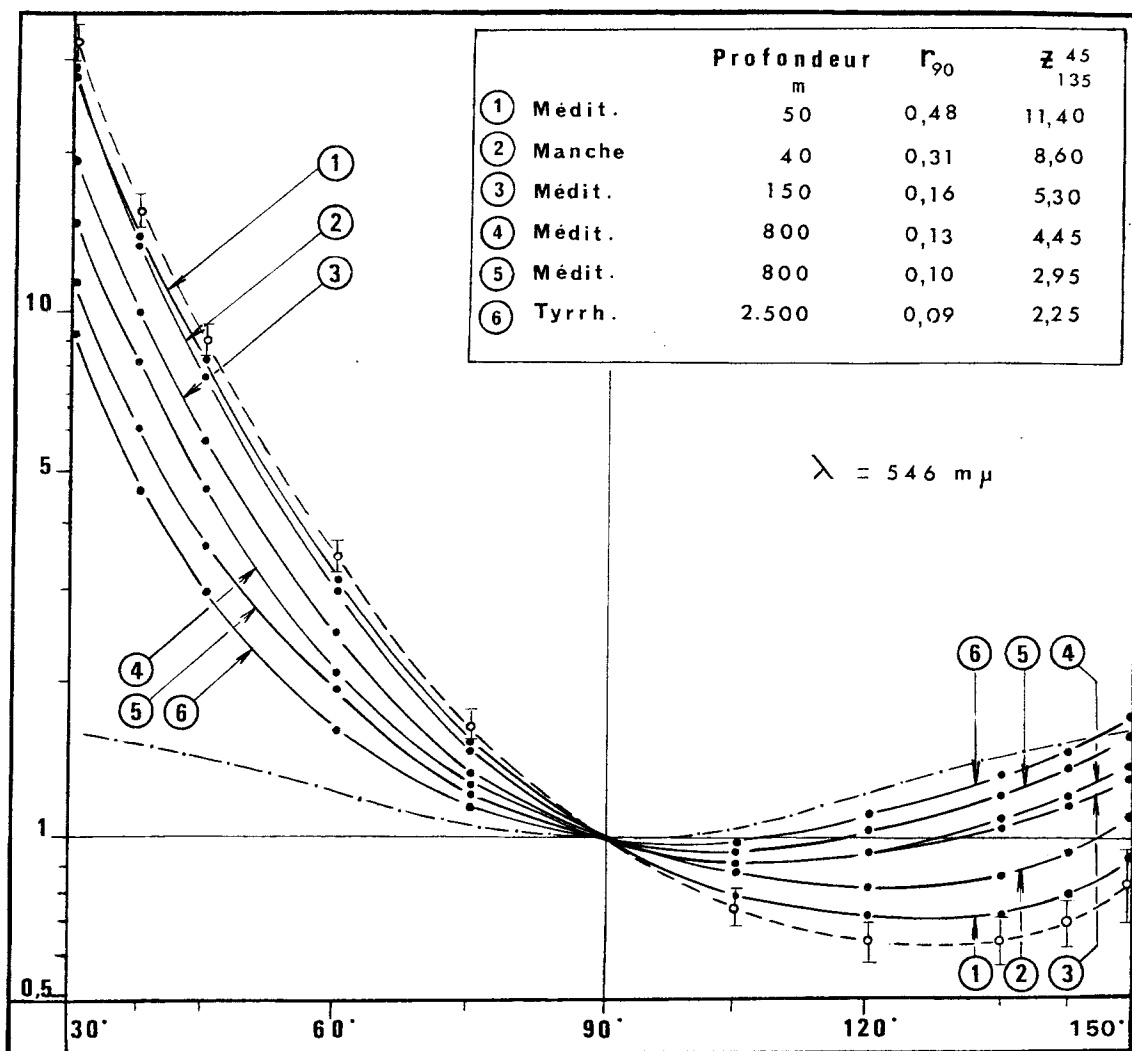


FIG. 1. — Indicatrices de diffusion (voir texte). Les coefficients angulaires de diffusion sont exprimés en valeur relative, la valeur à 90° étant prise comme unité ; l'échelle est logarithmique. En trait mixte, l'indicatrice de l'eau optiquement pure calculée d'après la formule de Rayleigh :

$$I(\theta) = I_{90} (1 + p \cos^2 \theta),$$

avec p , facteur de polarisation, pris égal à 0,83. En tireté l'indicatrice $R_0(\theta)$ relative aux seules particules.

Ces coefficients R_0 permettent de tracer l'indicatrice relative aux seules particules (fig. 1), qui apparaît bien comme la limite vers laquelle tendent les indicatrices des eaux de mer lorsque la turbidité croît ; à l'inverse l'indicatrice symétrique de l'eau optiquement pure constitue l'autre limite.

Les droites expérimentales $r_\theta = R_0 r_{90} + C^{te}$ passent par le point mal connu, représentatif de l'eau de mer optiquement pure (à condition que la loi de distribution

de taille des particules, et leur nature restent inchangées avec la concentration). Les coordonnées de ce point peuvent être déterminées comme l'intersection des droites précédentes avec les droites $r_\theta = (1 + 0,83 \cos^2 \theta) r_{90}$, exprimant que la diffusion moléculaire obéit à la loi de Rayleigh. Le tableau ci-dessous donne l'abscisse de ce point d'intersection sur chacun des graphiques, c'est-à-dire (r_{90})₀ :

θ	30°	$37^\circ 5'$	45°	60°	75°	105°	120°	135°	$142^\circ 5'$	150°
(r_{90}) ₀	0,064	0,064	0,063	0,063	0,062	0,065	0,064	0,075	0,071	0,085

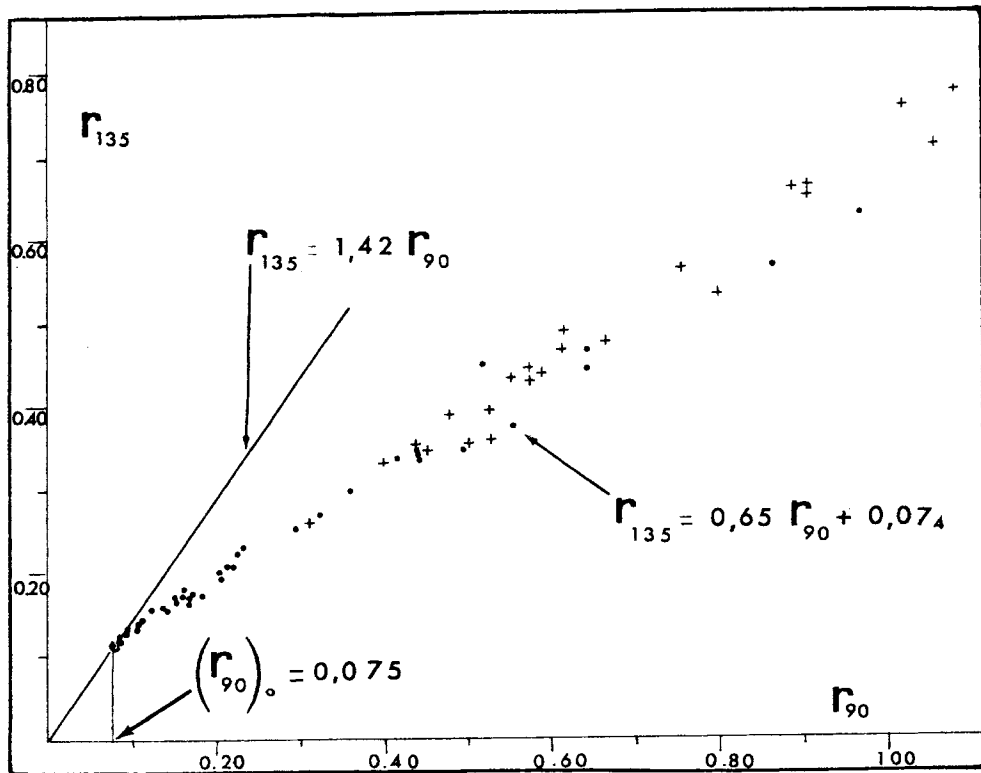
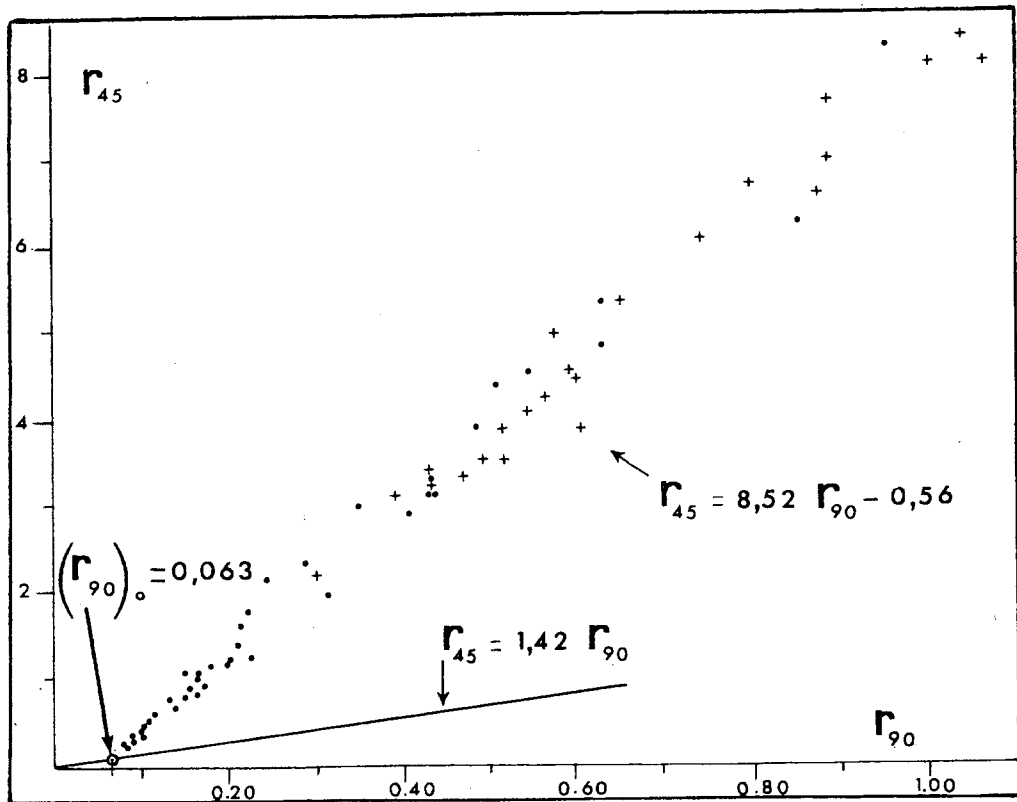


FIG. 2 et 3. — Diagrammes $r_0 - r_{90}$ (voir texte).
 Les points figurent des eaux de Méditerranée et de mer Tyrrhénienne, les croix des eaux de la Manche.

Éliminant les trois derniers résultats (R_0 , on l'a vu est plus incertain pour ces angles) il vient en valeur moyenne $(r_{90})_0 = 0,064$, (benzène = 1,00). En admettant que l'eau de mer diffuse de la même façon qu'une solution de ClNa de même concentration en ion Cl^- , on peut calculer l'accroissement de diffusion dû aux fluctuations de concentration [4] ; le déduisant de la valeur précédente, on obtient pour l'eau chimiquement et optiquement pure le rapport au benzène : $(r_{90})_{H_2O} = 0,054$. en bon accord avec les valeurs expérimentales [5] [6] et théoriques [7].

A l'aide de cette valeur 0,064, on peut évaluer la part qui revient à la diffusion moléculaire, par exemple dans le cas des échantillons extrêmes présentés 1 et 6 :

	45° 1,42 $(r_{90})_0/r_{45}$	90° $(r_{90})_0/r_{90}$	135° 1,42 $(r_{90})_0/r_{135}$
1	2,5 %	13 %	25 %
6	21 %	70 %	83 %

La dissymétrie prononcée de l'indicatrice des particules explique que, même dans le cas d'eau relativement turbide, la diffusion moléculaire joue un rôle non négligeable à 135°, alors qu'elle n'intervient notablement à 45° que dans le cas seulement d'eaux exceptionnellement limpides.

Le fait que l'indicatrice des particules soit quasi-invariable fournit une explication à la proportionnalité, qu'avait constatée JERLOV [8], du coefficient de diffusion à 45° au coefficient de diffusion total, (toute fois cette proportionnalité est probablement mise en défaut pour les eaux très pures). Par ailleurs, aux petits angles, où la diffusion moléculaire est toujours négligeable, cette quasi-invariance a aussi été observée [9].

Manuscrit reçu le 13 avril 1965.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] IVANOFF A. et MOREL A., 1964, *C. R. Acad. Sci.* **258**, 2873-2876.
- [2] DUNTLEY S. Q., 1963, *J. Opt. Soc. Am.*, **53**, 214-233
- [3] JERLOV N. G., 1963, *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, **1**, 89-114.
- [4] LOCHET R., 1953, *Ann. Phys.*, **8**, 14-60.
- [5] PEYROT P., 1938, *Ann. Phys.*, **9**, 335-405.
- [6] FESSENDEN R. W. et STEIN R. S., 1954, *J. Chem. Phys.*, **22**, 1778.
- [7] MYSELS K. J., 1964, *J. Am. Chem. Soc.*, **86**, 3503-3505.
- [8] JERLOV N. G., 1953, *Rep. Swedish Deep Sea Exp.*, **3**, 71.
- [9] BAUER D. et IVANOFF A., 1965, *C. R. Acad. Sci.*, **260**, 631-634.
- [10] HERMANS J. J. et LEVINSON S., 1951, *J. Opt. Soc. Am.*, **41**, 460-465.
- [11] WIPPLER C. et SCHEIBLING G., 1954, *J. Chim. Phys.*, **51**, 201-205.