

RESULTATS EXPERIMENTAUX CONCERNANT LA  
PENETRATION DE LA LUMIERE DU JOUR DANS LES EAUX  
MEDITERRANEENNES \*

par

André MOREL

Laboratoire d'Océanographie physique de la Faculté des Sciences  
Université de Paris

R é s u m é

Les mesures du coefficient d'extinction relatif à la luminance zénithale pour diverses longueurs d'onde, qui sont présentées ici, ont été effectuées au large de Villefranche-sur-Mer avec un photomètre utilisant un photomultiplicateur.

A b s t r a c t

Measurements of the spectral distribution of zenith radiance and its change with depth are presented. These experiments were done off Villefranche-sur-Mer, with a photometer using a photomultiplier tube.

L'appareil utilisé pour effectuer les mesures présentées ici a été conçu par J. LENOBLE, qui l'a précédemment décrit (LENOBLE J.-1957). Il permet la mesure de la luminance dans diverses directions (avec un angle de champ du récepteur de 3° environ) pour diverses longueurs d'onde et à différentes immersions. Rappelons seulement que le récepteur est un photomultiplicateur LALLEMAND à 19 étages devant lequel on peut disposer simultanément filtres interférentiels et filtres gris-neutres; ces derniers permettaient de réduire le rayonnement atteignant la photocathode. Les filtres interférentiels, au nombre de 16 répartis sur un disque tournant, sont régulièrement échelonnés, de 25 en 25 m $\mu$  pour couvrir le spectre visible (largeur de bande 12 m $\mu$ ) et de 20 en 20 m $\mu$  pour le proche ultra-violet (381, 363 et 341 m $\mu$  avec une largeur de bande de 25 m $\mu$  environ). Les filtres gris-neutres, portés par un autre disque, ne sont pas en réalité parfaitement neutres et leur densité optique a dû être mesurée en laboratoire pour tous les filtres interférentiels utilisés. L'ensemble est enfermé dans un caisson étanche résistant à la pression correspondant au moins à l'immersion 200 m; un câble multiconducteur le relie au bateau et permet d'actionner,

-----  
\* Manuscrit reçu le 29 décembre 1964

électriquement les différents organes (obturateur et disques porte-filtres); il permet aussi d'amener la haute tension au photomultiplicateur et d'en remonter le signal.

Pour les expériences décrites ci-dessous, l'appareil a été placé pour viser selon la verticale ascendante, mesurant donc la luminance zénithale. L'immersion était déterminée par la longueur de câble filé. La précision de l'immersion effectivement atteinte, tout comme la fixité de l'axe de visée étaient approximativement assurées en lestant suffisamment le caisson, sauf cependant près de la surface et par mer agitée, même assez faiblement.

## M E S U R E S

Les mesures sont conduites de la façon suivante : le filtre interférentiel choisi étant en place, le photomètre est mis à l'eau; partant de la densité la plus élevée, les filtres gris-neutres sont défilés par valeurs décroissantes jusqu'à ce que le signal du photomultiplicateur atteigne un niveau convenable (au moins  $10^2$  ou  $10^3$  fois le courant d'obscurité). Aux diverses immersions où l'appareil est stoppé dans sa descente, les mesures sont exécutées, impliquant, lorsque le signal devient trop faible, le remplacement du verre gris-neutre utilisé par un autre moins dense (on vérifie ainsi les rapports trouvés lors de l'étalonnage). L'immersion maximale pour la longueur d'onde choisie, est atteinte quand, en l'absence de tout écran neutre, le signal devient trop faible pour être mesuré avec précision (moins de 10 fois le courant d'obscurité; notons que les performances prévues par J. LENOBLE ont été aisément atteintes : la sensibilité est très suffisante pour permettre en Méditerranée la mesure du rayonnement bleu vert parvenant à 200 mètres). Pendant la remontée, une ou plusieurs mesures sont répétées, en particulier, et de façon systématique, à la profondeur 5 mètres, afin de s'assurer de la constance de la luminance du ciel pendant la durée totale de la plongée de l'appareil.

Cette condition n'est pas toujours remplie, ce qui oblige à éliminer bon nombre de mesures. Ne sont présentés ici que les résultats des mesures exécutées par ciel sans nuage, autour du midi solaire et en opérant le plus rapidement possible. En outre, les valeurs obtenues aux immersions inférieures à 5 mètres ont été abandonnées en raison de leur dispersion; celle-ci est due principalement, comme il a été dit, à l'imprécision de la direction de visée et à l'erreur sur la profondeur (vagues et ballottements provoqués par les rappels au roulis).

Le tableau ci-après résume les expériences dont les résultats ont été conservés :

Référence	Date	Distance zénithale du soleil	Mesures d'extinction effectuées (longueurs d'onde (m $\mu$ ) et immersions (m) maximales)
M 1	9/12/57	66°-70°	475 (5, 20, 50 puis 50-100) 525 (160)
M 2	10/12/57		400 (110) 575 (110) 625 (25)
M 3	23/4/58	48°-58°	500 (130)
M 4	24/4/58		450 (120) 475 (150) 500 (150)
M 5	25/4/58		450 (220) 600 (30) 650 (30)
M 6	26/4/58		450 (110) 340 (70) 360 (100) 380 (110) 400 (210) 525 (180) 575 (110) 625 (80)

Toutes les mesures, à l'exception de la mesure M 3, ont été effectuées approximativement en un même point situé à 8-10 milles dans le SSE du Cap Ferrat (fond 1200-1500 mètres). Le bâtiment est laissé en dérive durant les expériences. La mesure M 3 a été faite en baie des Anges, à 3 milles dans l'Est d'Antibes (fond 350 mètres).

## R E S U L T A T S

Les courbes d'extinction ont été tracées en coordonnées semi-logarithmiques, en portant, pour chaque longueur d'onde, la valeur du rapport des flux  $\Phi / \Phi_5$  (exprimé en %) en fonction de la profondeur (fig.1, 2 et 3).

Pour les raisons précédemment indiquées on a préféré rapporter les valeurs de l'énergie  $\Phi$  parvenant aux divers niveaux à celle reçue à 5 mètres de profondeur  $\Phi_5$ . Ces courbes sont en première approximation des droites ou tout au moins des segments de droite montrant que la variation du flux avec la profondeur est grosso-modo exponentielle. Pour les radiations les plus pénétrantes seulement, une incurvation est observée aux faibles immersions (entre 20-30 m et 5 m), dont la théorie peut rendre compte (LE GRAND Y.- 1939).

Il en est de même du second changement de pente observé à plusieurs reprises vers 100 mètres et qui traduirait l'établissement d'un état d'équilibre dans la répartition des luminances sous-marines.

La comparaison de la courbe d'extinction M 3 à celle de la série M 4 relative à la même longueur d'onde (500 m $\mu$ ) montre nettement que la transparence est moindre pour l'eau côtière, tout au moins pour la couche superficielle.

Si a et b (a > b) sont deux immersions entre lesquelles la courbe d'extinction est un segment rectiligne, on peut poser :

$$\Phi_a / \Phi_b = e^{-\gamma(a-b)}$$

définissant ainsi un coefficient d'extinction (népérien)  $\gamma$ , exprimé en m<sup>-1</sup>, et valable pour l'intervalle d'immersion a, b.

Le tableau ci-après présente les valeurs de  $\gamma$ , calculées pour chaque longueur d'onde dans l'intervalle d'immersion qui est indiqué; cet intervalle est choisi au vu des courbes d'extinction. Y figurent aussi les valeurs de la quantité  $T = e^{-\gamma}$ , exprimées en % et marquant la réduction du flux lorsque l'immersion croît de 1 mètre (l'expression "coefficient de transmission" a souvent été utilisée pour désigner cette grandeur).

#### D I S C U S S I O N

Les valeurs portées au tableau permettent d'établir la courbe des variations de T avec la longueur d'onde (en trait plein sur la figure 4). Plus précisément, pour le tracé, sont utilisés les résultats des séries M1-M2 et M5-M6 qui sont en bon accord, bien qu'obtenus en des saisons et avec des hauteurs du soleil différentes; par contre les trois valeurs de la série M4 sont plus faibles, particulièrement pour la couche superficielle (30-70 mètres), dénotant une instabilité optique d'un jour à l'autre, en un même lieu. Elles figurent pour apporter une précision supplémentaire sur la région spectrale du maximum de transparence : T présente à 475 m $\mu$  une valeur plus élevée qu'à 500 et 450 m $\mu$ .

En toute rigueur, cette courbe ne peut être comparée qu'à celles obtenues par J. LENOBLE et A. IVANOFF dans des conditions similaires, puisque ces deux auteurs ont opéré aussi avec des récepteurs à faible angle de champ (3 à 4°). A cette seule condition, les facteurs expérimentaux T sont les mêmes, sans avoir pour autant une définition théorique précise. Il faut noter qu'ils sont ici calculés sur des intervalles d'immersion plus étendus (cf. tableau). Sont représentées, pour l'ultra-violet, la courbe obtenue par J. LENOBLE au large de Monaco (LENOBLE J. - 1956) et pour le visible, les courbes obtenues

Courbes d'extinction

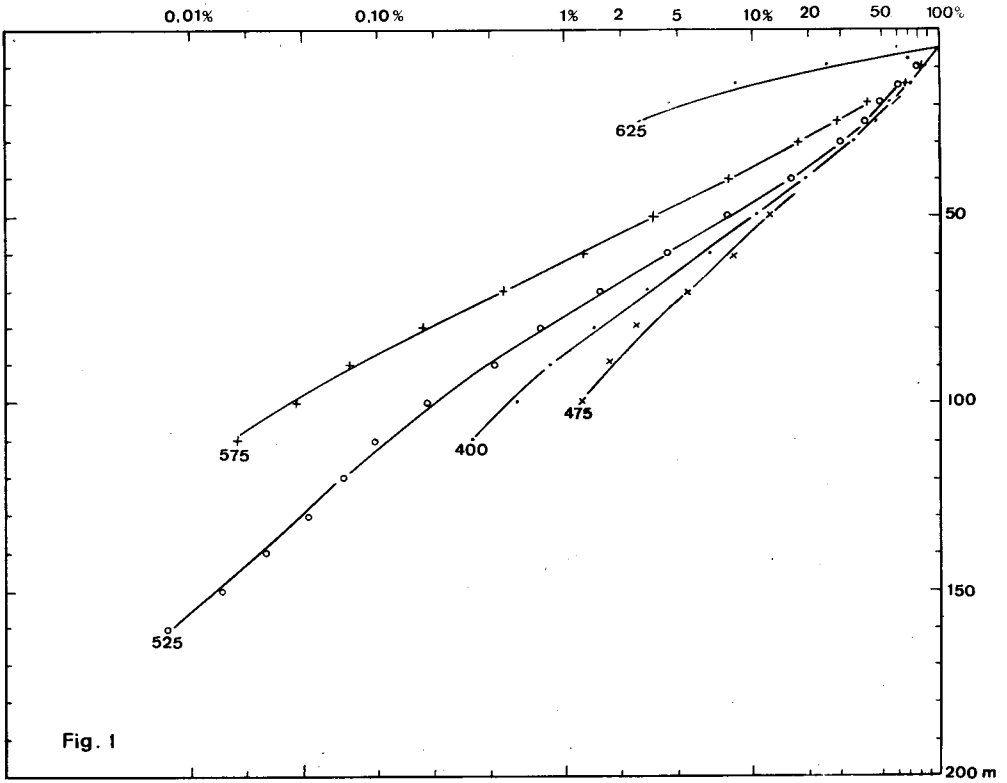


Fig. 1

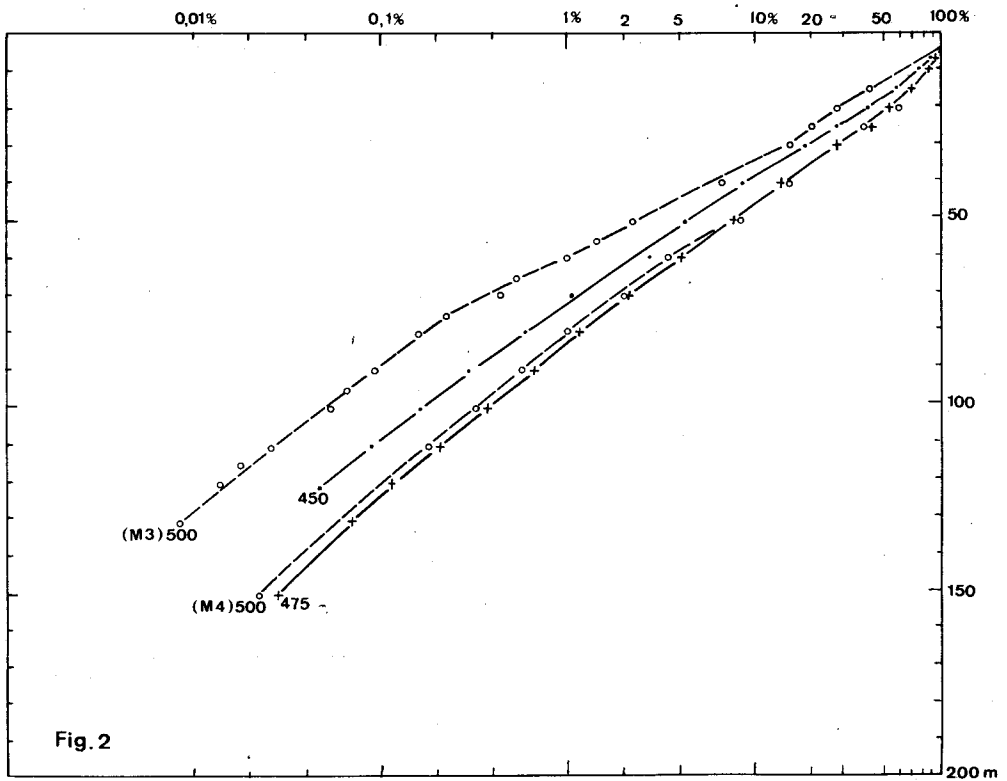
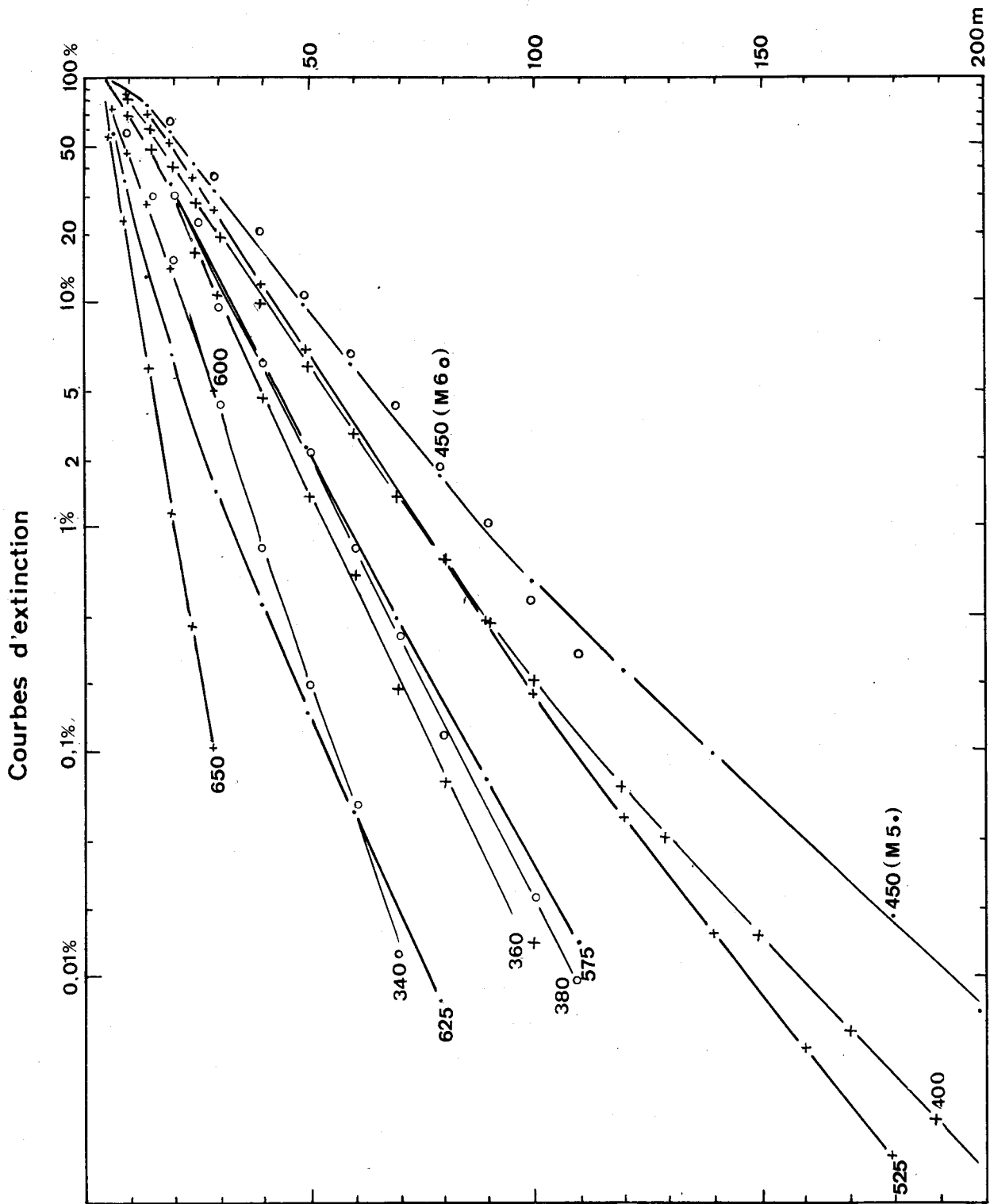


Fig. 2



A. Morel

Figure 3

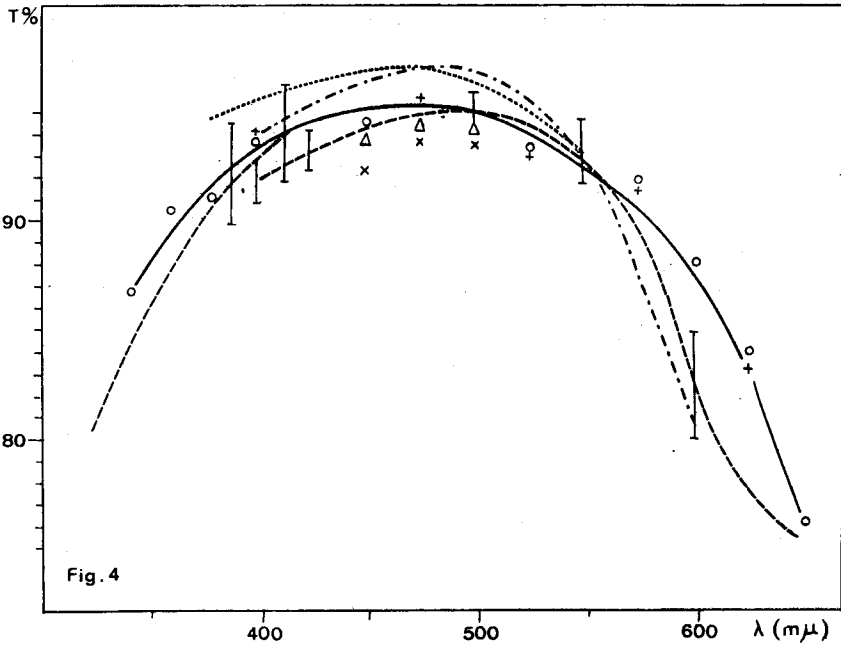
Longueur d'onde	M 1 et M 2				M 4			M 5 et M 6		
	Intervalle	$\gamma$ m <sup>-1</sup>	T %		Intervalle	$\gamma$ m <sup>-1</sup>	T %	Intervalle	$\gamma$ m <sup>-1</sup>	T %
340	30-90	0,064	93,8	.....	(30-70	0,082	92,1	20-70	0,141	86,8
360								20-80	0,100	90,4
380								20-100	0,095	90,9
400								20-100	0,065	93,7
450								20-100*	0,058	94,4
475	50-100	0,046	95,5	.....	(70-120	0,064	93,8	(30-70	0,066	93,5
500								(70-120	0,058	94,4
								(30-70	0,066	93,5
525	30-90	0,074	92,9		(70-120	0,060	94,2	20-100	0,071	93,2
575	30-90	0,091	91,3					20-100	0,085	91,8
600								5-30	0,129	87,9
625	5-25	0,185	83,1					5-30	0,175	83,9
650								5-30	0,277	76,0

\* deux expériences ont été faites à cette longueur d'onde, les 25 et 26 avril 1958; le calcul a été exécuté à partir d'une courbe moyenne.

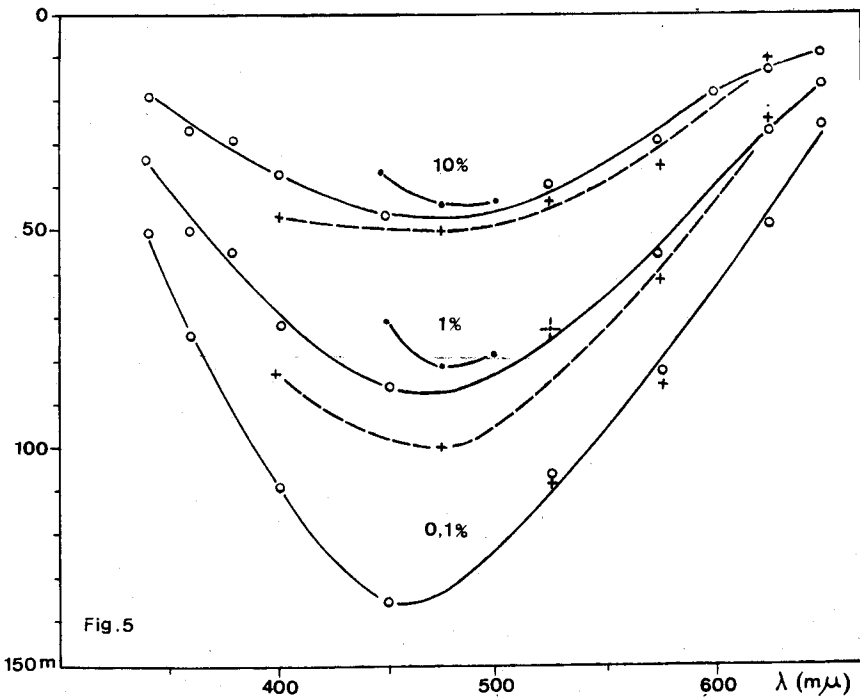
par A. IVANOFF en rade de Villefranche et aux abords de la côte N W de la Corse (IVANOFF A. - 1957 et 1957). Compte tenu des incertitudes, l'accord entre ces résultats est satisfaisant; il semblerait que les eaux étudiées soient, d'une manière significative, moins limpides que celles de Corse, mais par contre très voisines de celles de Villefranche et de Monaco. Cette constatation n'est pas surprenante car des mesures ultérieures de diffusion de la lumière (non publiées) ont montré que les eaux les plus limpides ne sont en général rencontrées qu'au-delà de 10 ou 15 milles du littoral.

Dans la partie rouge du spectre, un désaccord apparaît, mais il est vrai, pour des longueurs d'onde où la photométrie photographique, tout comme la photométrie photo-électrique perdent de leur précision. En ce qui concerne l'emploi de filtres interférentiels, comme l'a souligné J. LENOBLE, une sures-

- + M1 et M2
- o M5 et M6
- x M4 (30-70m)
- Δ M4 (70-120m)
- Ivanoff - Corse
- Lenoble - Ivanoff - Villefranche - Monaco
- I incertitude
- Jerlov - mer Tyrrhénienne - Station 294



- + ----- M 1 et M 2
- o ----- M 5 et M 6
- ----- M 4





timation du facteur T (particulièrement pour cette extrémité du spectre) est à attendre, liée à la largeur de bande passante. Et surtout, l'emploi simultané de filtres à bande relativement large (12 m $\mu$ ) et d'un photomultiplicateur dont la sensibilité décroît très rapidement vers le rouge, a pour effet de déplacer vers les courtes longueurs d'onde, la radiation d'"efficacité" maximale (c'est-à-dire celle pour laquelle est maximal le produit:facteur de transmission du filtre - sensibilité de la couche photoélectrique); ceci équivaut donc à attribuer une certaine valeur de T à une longueur d'onde qui corrigée, serait plus courte (de 6 à 10 m $\mu$ , environ). Par contre cet effet disparaît probablement à 650 m $\mu$ , car la sensibilité, faible, ne varie plus que lentement, constituant le "pied" de la courbe de réponse spectrale.

Sur la figure 4 est en outre représentée la courbe déduite des mesures effectuées par N.G. JERLOV, en mer Tyrrhénienne en utilisant un récepteur à très grand champ angulaire (Station 294 -JERLOV N.G. - 1947-48). En dépit de cette différence, un accord au moins qualitatif apparaît, qui signifierait que le facteur expérimental T varie assez peu avec l'angle de champ du photomètre. Avec cette hypothèse, les résultats présentés ici, traduisant la diminution de la luminance zénithale, pourraient, sans grosse erreur, traduire aussi la diminution de l'éclairement total sur un plan horizontal, ce qui, plus spécialement, intéresse le biologiste. Dans cet esprit ont été tracées les courbes de la figure 5 : elles représentent en fonction de la longueur d'onde les profondeurs où le flux lumineux est réduit au 1/10e, 1/100e et 1/1000e de sa valeur en surface, qui, à défaut d'être mesurée avec précision, a été déduite par extrapolation de la courbe d'extinction, jusqu'à l'immersion 0 mètre. Ces profondeurs, lues sur les courbes d'extinction, sont plus significatives que celles qui seraient déduites des coefficients d'extinction par le calcul, car elles tiennent compte des irrégularités et de l'effet additif des changements de pente constatés.

Il me reste à remercier vivement Mlle J. LENOBLE et Mr le Professeur A. IVANOFF pour m'avoir aidé et encouragé dans ce travail. Que le Commandant J.Y. COUSTEAU veuille bien trouver ici l'expression de ma gratitude pour l'accueil qu'il m'a réservé au Musée Océanographique de Monaco et pour m'avoir fourni la possibilité d'exécuter ces mesures à bord de la "Calypso", dont je voudrais aussi remercier le Capitaine et l'Equipage.

#### BIBLIOGRAPHIE

- LE GRAND Y. (1939) - La pénétration de la lumière dans la mer - Annales de l'Institut Océanographique XIX, 4, 393-436; 1939.
- JERLOV N.G. (1947-1948) - Optical studies of ocean waters - Reports of the Swedish Deep Sea Expedition III, 1, 1-59; 1947-48.

- LENOBLE J. (1956) - Etude de la pénétration de l'ultra-violet dans la mer - Annales de Géophysique XII, 1, 16-30; 1956.
- LENOBLE J. (1957) - Spectrophotomètre photoélectrique sous-marin - Bull. inf. du COEC, IX, 10, déc.1957.
- IVANOFF A. (1956) - Etude de la pénétration de la lumière dans la mer - Annales de Géophysique XII, 1, 32-44; 1956.
- IVANOFF A. (1957) - Contribution à l'étude des propriétés optiques de l'eau de mer en Bretagne et en Corse et à la théorie de la polarisation sous-marine. Annales de Géophysique XIII, 1, 22-53; 1957.

551.463.5.