



L'AQUAFLEX, boîtier étanche de cinématographie sous-marine pour professionnels, est équipé d'une caméra Cineflex permettant la visée reflex. Pratique-

ment sans équivalent au monde, il a été utilisé pour le film de Walt Disney « Vingt mille lieues sous les mers » pendant le tournage duquel la vue ci-dessus a été prise.

Science  
&  
Vie

Hors  
Série

1955



## LA PHOTOGRAPHIE DU MONDE SOUS-MARIN

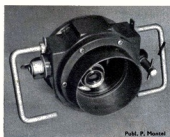
**L**A pratique des prises de vue sous-marine se généralise depuis une dizaine d'années et une multitude d'appareils variés ont été imaginés à cet effet. Nous ne nous proposons pas ici de les décrire systématiquement par le détail, mais d'attirer l'attention sur les fondements de ces prises de vue, c'est-à-dire les données océanographiques qu'elles font intervenir et les problèmes optiques particuliers qu'elles soulèvent. Les uns et les autres sont dignes de retenir la curiosité du lecteur.

La principale difficulté des prises de vue

sous-marine vient de ce que l'eau de mer diffuse fortement la lumière, c'est-à-dire la renvoie dans toutes les directions, à la façon d'un brouillard. Cette diffusion est due à la multitude de particules, opaques ou transparentes, minérales, végétales ou animales, microscopiques ou visibles à l'œil nu, qu'elle porte en suspension. Ces particules font de l'eau de mer un milieu vivant et nourricier, mais elles constituent une véritable catastrophe pour les prises de vue sous-marine, car l'opérateur se trouve plongé dans une brume



La Spirotechnique

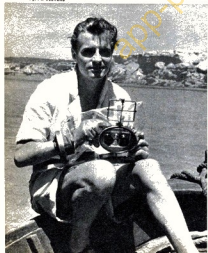


Publ. P. Montel

lumineuse qui estompe les ombres, diminue les contrastes, voile les lointains, limite la vue à quelques dizaines de mètres au maximum.

Les océanographes se sont intéressés aux propriétés diffusantes de l'eau de mer bien avant que l'on pratiquât la photographie sous-marine. L'un des ensembles de résultats les plus complets, les plus récents et les plus dignes de confiance est celui de l'océanographe suédois N. G. Jerlov, établi en 1947-48 durant la croisière océanographique de l'« Albatross », qui effectua le tour du monde en passant par le canal de Panama et par la Méditerranée, en se maintenant au voisinage de l'Équateur sur le reste du parcours. Malheureusement, la très grande majorité des mesures a été effectuée loin des côtes, au-dessus de grands fonds, en des lieux non fréquentés par les chasseurs d'images. Elles peuvent néanmoins nous donner des indications intéressantes.

Ph. J. A. Stevens



La diffusion serait minimum en Méditerranée (surtout en Méditerranée orientale), en mer Rouge, dans la mer des Sargasses, dans l'océan Indien occidental, dans la partie équatoriale de l'Atlantique, enfin autour de certaines îles du Pacifique. Viennent ensuite, par turbidité croissante, l'océan Indien oriental, la mer des Caraïbes, et enfin l'Atlantique dans la région des Açores. D'une manière générale, la turbidité augmente au voisinage des côtes, par suite de la présence de particules minérales en suspension, vase ou sable soulevés par les vagues.

### Le « brouillard » sous-marin.

Entre l'appareil et l'objet à photographier s'interpose donc un voile lumineux, et plus l'épaisseur de la couche d'eau qui les sépare s'accroît, plus grande devient l'importance de la lumière diffusée par rapport à celle qui provient de l'objet. C'est ce que traduit la figure page 83 qui montre que l'importance relative du voile de diffusion augmente bien plus rapidement que la distance de l'objet, et d'autant plus rapidement que les eaux sont plus troubles. Si l'on se fixe comme limite de tolérance les résultats obtenus à 4 mètres de distance dans des eaux très limpides, cette limite sera atteinte dans la Manche dès 1,3 m. Par contre à très faible distance, inférieure à 50 centimètres, le voile de diffusion sera faible, même si les eaux sont relativement troubles. Les photographes sous-marins savent d'ailleurs tout cela par expérience.

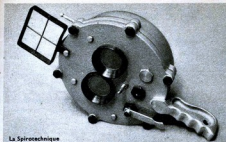
Une autre conséquence de la diffusion de la lumière solaire par l'eau de mer est l'atténuation des ombres, tout objet immergé se trouvant éclairé de tous côtés par la lumière diffusée. Là encore il est intéressant de fixer l'ordre de grandeur des phénomènes.

L'INVENTEUR du sac étanche « Plastiphot » avec son premier prototype utilisé avec un Vétrascap 40 pour la photographie sous-marine en couleur et en relief

Science  
&  
Vie  
Hors  
Série

1955





La Spirotechnique

**L'AQUAPHOT** pour Foca ou Leica est une boîte étanche pouvant être équipée d'une prise de synchronisation pour flash magnésien ou électronique.

**UNE BOÎTE ÉTANCHE** pour photographie sous-marine destinée à recevoir un appareil genre « Robot » dont les réglages se font en plongée.

**L'AQUAPHOT-STÉRÉO** destiné au Vésiscope 40 comporte un seul levier de commande pour le déclenchement de l'obturateur et l'avance du film.

N.G. Jerlov a mesuré, dans la mer des Sargasses, l'éclairement d'un plan vertical immergé à diverses profondeurs, et il a constaté que le rapport des éclaircissements, suivant que le plan est orienté vers le soleil (qui se trouvait à 65° au-dessus de l'horizon) ou au contraire dans la direction opposée, diminue quand la profondeur augmente, passant de 3,5 à 25 m à 2,3 à 100 m. Il est à présumer que ce rapport tend vers 1 d'autant plus rapidement que les eaux sont plus troubles. Quoi qu'il en soit, les variations de l'éclairement latéral d'un objet sont fortement atténuées par la profondeur. Un objet immergé en pleine eau se trouve même éclairé par-dessous, l'eau sous-jacente diffusant de la lumière vers le haut. Toutefois, l'éclairement de sa face inférieure, orientée vers le fond, ne représente que 3 à 5 % de celui de sa face supérieure, orientée vers la surface. Un cliché pris par-dessous constituera donc toujours un contre-jour, évidemment atténué si l'objet se trouve à proximité d'un fond de sable très clair diffusant vers le haut une énergie lumineuse considérable.

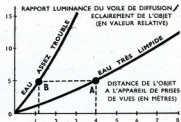
### L'absorption de la lumière

L'eau de mer ne se contente pas de diffuser la lumière solaire. Elle l'absorbe également.

Les eaux les plus transparentes sont celles de la mer des Sargasses et celles de la Méditerranée orientale, aussi peu absorbantes que l'eau bi-distillée (mais nettement plus diffuses). Viennent ensuite, par transparence décroissante, les eaux des Iles du Pacifique, l'Océan Indien, la mer des Caraïbes, la mer Rouge, l'Atlantique au niveau des Açores et, enfin, la partie équatoriale de l'Atlantique. On remarquera que le classement n'est pas le même que pour les propriétés diffusantes. Il est évident que pour les prises de vues sous-marines, les phénomènes de diffusion, se traduisant par un voile, sont infiniment plus gênants que les phénomènes d'absorption, auxquels on remédie simplement par une augmentation de l'ouverture de l'objectif.

Le problème de l'ouverture et du temps de pose à utiliser est néanmoins important. Les débutants ont aujourd'hui à leur disposition des tables dressées à cet effet par des vétérans. Mais il est peut-être utile de voir à quelles données océanographiques ces tables correspondent, et préciser par la même occasion dans quelles conditions elles sont valables, en dehors du fait que c'est « en Méditerranée et aux environs de midi ». Afin d'examiner les choses de plus près, nous allons partir des résultats numériques établis par les océanographes, pour aboutir à une table de temps de pose... déjà déterminée empiriquement par H. Brousseau, ce qui est tout à son honneur.

Il faut remarquer tout d'abord que les propriétés optiques de l'eau de mer étant très variables d'une région à une autre, il ne saurait être question d'étudier tous les cas possibles, depuis la mer des Sargasses jusqu'à l'estuaire de la Tamise ou au delta du Nil ! Nous nous limiterons donc au cas des eaux très limpides, les seules susceptibles de règles générales, et d'ailleurs les plus fréquentes par les plongeurs. Mais la table que nous établirons ne sera malheureusement pas valable pour nos côtes de l'Atlantique.



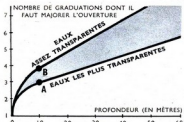
L'EAU DE MER diffuse la lumière, formant un voile dont l'importance croît avec la distance. 4 m d'eau limpide (A) équivalent à 1,3 m dans la Manche (B).

Science  
&  
Vie

Hors  
Série

1955





L'ABSORPTION DE LA LUMIÈRE par l'eau oblige à majorer l'ouverture. Les courbes correspondent à la Méditerranée orientale et à l'Atlantique équatorial.

N. G. Jerlov a mesuré l'éclairement total obtenu sur une surface horizontale immergée à diverses profondeurs au large et aux environs de midi. À 1 m de profondeur, l'éclairement varie entre 42 et 44 % de celui reçu en surface, à 5 m il varie de 23 à 30 %, à 10 m, de 14 à 22 %, à 25 m de 4 à 13 % et enfin, à 50 m de 0,7 à 5 %. Les pourcentages limites indiqués correspondent au degré de limpidité variable de l'eau suivant la région du globe considérée. On voit donc que le degré de limpidité prend d'autant plus d'importance que la profondeur est plus grande. Autrement dit, la précision des règles que nous énoncerons diminuera avec la profondeur. On peut présenter d'une autre façon les résultats, en déterminant à quelle profondeur l'éclairement total sur une surface plane horizontale est égal à la moitié, au quart, au huitième... de l'éclairement total en surface.

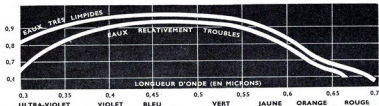
On obtient :	1/8 : 12 à 26 m
1/2 : 0,85 m	1/16 : 20 à 46 m
1/4 : 5,5 à 9 m	1/32 : 30 à 64 m.

Etant donné qu'il faut augmenter l'ouverture du diaphragme d'une graduation (ou multiplier par deux le temps de pose) chaque fois

que l'éclairement est diminué de moitié, ce tableau indique-t-il immédiatement l'ouverture et le temps de pose à utiliser, en fonction de ceux employés en surface? Non, parce que les prises de vues sous-marines sont généralement effectuées à travers une fenêtre en verre plan, un « hublot », disposé dans la paroi du caisson étanche renfermant l'appareil de prises de vue. Nous verrons plus loin que la présence de ce hublot entraîne une augmentation apparente de la longueur focale de l'objectif dans un rapport voisin de 4/3. L'ouverture relative de l'objectif diminue donc dans le même rapport, ce qui correspond à un peu moins d'une graduation du diaphragme. Le phénomène n'est d'ailleurs pas particulier au hublot à verre plan, et se retrouve sous une forme ou sous une autre quel que soit le hublot utilisé ; ainsi, avec le préobjectif sous-marin, dont nous parlerons plus loin, la longueur focale de l'objectif se trouve conservée lors de prises de vue sous-marines, mais c'est le diamètre de la pupille d'entrée de l'objectif qui subit une diminution apparente dans un rapport voisin de 4/3. Avec les appareils de prises de vues sous-marines actuels, fonctionnant dans un espace rempli d'air, on perd automatiquement près d'un diaphragme du seul fait que l'objet photographié se trouve, lui, dans l'eau.

### Ouverture et temps de pose

Compte tenu de cette perte, on peut réduire du tableau précédent le nombre de graduations du diaphragme dont il faut majorer l'ouverture qui conviendrait en surface (étant bien entendu qu'au lieu de majorer l'ouverture d'une graduation, on peut également multiplier par deux le temps de pose). On obtient ainsi les deux courbes ci-dessus. On y voit, par exemple, qu'à 10 mètres de fond l'ouverture qui serait utilisée en surface est à augmenter de 3 graduations dans le cas des eaux les plus limpides (point A) et de 3,75 graduations dans le cas des eaux assez limpides (point B).



L'ÉNERGIE LUMINEUSE transmise par une épaisseur d'eau de 1 mètre varie suivant la longueur d'onde.

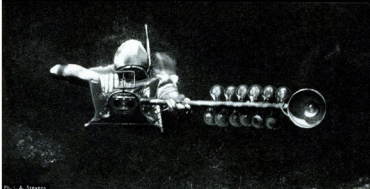
Les courbes indiquent les proportions restantes et montrent que la transparence est maximum pour le bleu.

Science  
&  
Vie

Hors  
Série

1955





Ph. J. A. Stevens

**J.A. STEVENS** en plongée libre par 8 mètres de fond avec son flash sous-marin couplé au Vésécopé 40.

Il suffit maintenant de se donner les conditions d'éclairage en surface, ainsi que la sensibilité de la pellicule pour pouvoir dresser une table de pose. Supposons, par exemple, que l'éclairage en surface soit tel que l'on puisse procéder à  $f/12,5$  et au  $1/100$  avec une pellicule Kodak Plus X (dont la sensibilité est de  $29^{\circ}$  Scheiner) ce qui est le cas dans les régions méditerranéennes, en été, aux environs de midi. On obtient la table suivante :

profondeur (m)	ouverture et temps de pose
moins de 0,5 m :	$f/9$ , $1/100$
1 m :	$f/6,3$ , $1/100$
5 à 10 m :	$f/8,3$ , $1/50$
12 à 30 m :	$f/4,5$ , $1/50$
22 à 50 m :	$f/3,5$ , $1/50$
37 à 70 m :	$f/3,5$ , $1/25$ .

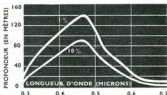
Cette table, que nous avons déduite des données océanographiques de Jerlov, est en bon accord avec celle déterminée empiriquement par H. Brossard, et publiée en 1952 par D. Rebikoff.

Tout est donc pour le mieux, à condition de ne pas oublier que, dans tout ce qui précède, il s'agissait de l'éclairage sur une surface horizontale orientée vers la surface de la mer. Nos chiffres ne sont donc valables que si l'on photographie de haut en bas un objet situé en pleine eau ou reposant sur le fond. Si l'on photographie à l'horizontale, ce qui est souvent le cas, les parties du sujet orientées vers le haut seront convenablement exposées, mais ses parties latérales seront généralement sous-exposées de 1 à 3 diaphragmes, suivant la position du soleil et suivant la profondeur. Si l'on photographie de bas en haut, il y aura comme nous l'avons déjà vu effet de contre-jour et surexposition notable de la pleine eau. Certes,

dans le cas de la photographie noir et blanc, la latitude de temps de pose des émulsions est telle qu'il est difficile d'obtenir un négatif vraiment inutilisable. Mais dans le cas du cinéma noir et blanc sur film inversible, il ne faut guère se tromper de plus de 1 diaphragme, et il devient indispensable de faire attention, et d'avoir un matériel qui permette de modifier l'ouverture durant la plongée.

### Un gigantesque filtre coloré

On sait que les radiations visibles produisent diverses sensations colorées suivant leur longueur d'onde. Ces diverses radiations sont inégalement absorbées par l'eau de mer, ainsi que le montre la figure page 84, qui indique la proportion d'énergie lumineuse transmise par une épaisseur d'un mètre d'eau de mer, en fonction de la longueur d'onde. On voit que la transparence est maximum dans le bleu et diminue rapidement dans le jaune, l'orange et le rouge ou dans l'ultraviolet. Les mêmes propriétés optiques de l'eau de mer se retrouvent sur la



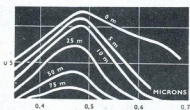
**VOICI À QUELLES PROFONDEURS** l'énergie lumineuse est réduite au dixième et au centième de sa valeur en surface, suivant la longueur d'onde, en eau limpide.

Science  
&  
Vie

Hors  
Série

1955





**COMMENT SE RÉPARTIT** l'énergie lumineuse dans le spectre solaire à diverses profondeurs. Il s'agit ici d'eaux très limpides, comme en Méditerranée orientale.

figure page 85 qui indique les profondeurs auxquelles l'énergie lumineuse est réduite au 1/10 et au 1/100 de sa valeur en surface, en fonction de la longueur d'onde, et ceci dans le cas des eaux océaniques les plus limpides. On voit que la pénétration est maximum pour 0,465 microns, et diminue rapidement de part et d'autre de cette longueur d'onde. En gros, ce sont le vert, le bleu et le violet (mais non l'ultraviolet) qui passent le mieux. Mais il faut signaler que dans les eaux côtières le maximum de transparence se déplace souvent vers le vert, par suite de la présence dans l'eau d'un pigment jaune, produit par la décomposition des algues.

L'eau laissant passer de préférence le bleu, la mer constitue un gigantesque filtre coloré, d'autant plus bleu que l'on est à plus grande profondeur. Les plongeurs le savent par expérience. Comment préciser ces variations de la lumière solaire avec la profondeur? On peut tout d'abord considérer les variations de la répartition spectrale de l'énergie lumineuse. Ainsi la figure ci-dessus représente cette répartition à diverses profondeurs, en Méditerranée orientale. On voit qu'à 10 mètres de fond les radiations rouges sont presque totalement absorbées, à 25 mètres les radiations orangées et jaunes le sont à leur tour et, à plus de 50 mètres ne subsiste pratiquement plus que le bleu, avec un peu de vert et de violet. Mais il est une autre façon de considérer les choses, qui est peut-être plus frappante.

### La « dominante » bleue

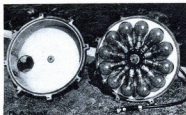
L'expérience montre que toute couleur (sauf les pourpres, sur lesquels nous n'insisterons pas) peut être reproduite par addition d'une radiation spectrale pure à de la lumière blanche (qui est, comme on le sait, un mélange de toutes les radiations visibles). La radiation du spectre est appelée « dominante » de la couleur considérée, tandis que le rapport de l'intensité de cette lumière spectrale à celle de la lumière

blanche à laquelle on l'additionne est appelée « facteur de pureté ». La lumière blanche a donc un facteur de pureté nul : ce facteur augmente à mesure que la couleur est plus « saturée » et atteint la valeur 1 pour les couleurs spectrales pures. Il est possible dans ces conditions de caractériser le résidu de lumière solaire dans la mer par sa longueur d'onde dominante, qui indique en quelque sorte la couleur de la lumière transmise, et par son facteur de pureté, qui mesure la saturation.

Il se trouve que la longueur d'onde dominante varie peu en fonction de la profondeur, et reste toujours dans le bleu (tout près de la surface elle est néanmoins à la limite du vert). Le facteur de pureté augmente par contre rapidement. A 1 m de fond, la dominante bleue est déjà nettement perceptible (facteur de pureté 0,15). A 5 mètres de fond, le facteur de pureté de la lumière solaire transmise (0,39) est comparable à celui du bleu du ciel. A 50 m, il devient comparable à celui de la couleur bleue de la mer vue en surface (0,80). Voilà qui explique la rapidité avec laquelle la sensation de bleu augmente avec la profondeur.

### Prise de vue en couleur

Depuis une vingtaine d'année déjà, les émulsions « couleur » permettent de fixer sur la pellicule les étranges coloris bleu verdâtre des paysages sous-marins, d'une façon imparfaite, il est vrai, ces émulsions n'étant guère « équilibrées » pour ce genre d'éclairage. Les émulsions « couleur » actuelles étant notablement moins sensibles que les émulsions noir et blanc, les ouvertures à utiliser sont plus grandes. Par exemple, pour le Kodachrome type « lumière du jour », dont la sensibilité est de 22° Scheiner, les ouvertures du tableau de la page 85 sont à augmenter de deux graduations, ce qui permet d'en déduire une table de pose valable dans les mêmes conditions et avec les mêmes réserves que celle que nous avons



**CE CAISSON ÉTANCHE**, ici montré ouvert, groupe douze lampes flash montées en couronne permettant la prise d'autant de clichés pour chaque plongée.

Science  
&  
Vie  
Hors  
Série

1955



lourde pour les prises de vue en noir et blanc. Une remarque supplémentaire est à faire néanmoins ; alors que la latitude de pose est énorme pour les émulsions photographiques noir et blanc, pour les émulsions couleur elle est presque nulle dans le sens de la surexposition et inférieure à un diaphragme dans le sens de la sous-exposition. Donc, de même que le cinéma noir et blanc, les prises de vue en couleur nécessitent une pose correcte et par conséquent la possibilité de modifier l'ouverture en cours de plongée.

## La lumière artificielle

La couleur d'un objet dépend comme on le sait de l'éclairage, et varie suivant que l'objet est exposé à la lumière du jour, à celle d'une lampe électrique, celle d'une lampe à vapeur de sodium, etc. Habités à vivre à la lumière du jour, nous estimons que la « vraie » couleur d'un objet est celle qu'il présente à cette lumière. Cette façon de voir les choses est certes pleinement justifiée, mais il faut bien remarquer qu'elle est relative à notre univers, et que si l'atmosphère terrestre était, par exemple, jaune comme du chlore, notre conception des couleurs serait profondément modifiée.

Quoi qu'il en soit, nous estimons que l'éclairage sous-marin « fausse » les couleurs, et les fausse d'autant plus que la profondeur à laquelle on se trouve est plus grande. Les couleurs des organismes sous-marins constituent pour les plongeurs des devinettes dont la difficulté croît avec la profondeur. Dans des conditions exceptionnellement favorables, il semblerait qu'on arrive à percevoir même le rouge par 30 mètres de fond, mais généralement on devine les couleurs plus qu'on ne les voit, et les nuances nous échappent totalement. Les plongeurs expérimentés ressemblent à ces daltoniens qui indiquent les couleurs exactes, mais se trompent dès qu'on leur tend des pièges. Or de tels pièges semblent être nombreux dans le monde sous-marin.

Le seul moyen de rendre aux organismes sous-marins leurs couleurs « vraies » à notre point de vue, est de les éclairer au moyen d'une source de lumière blanche artificielle, projecteur ou « flash », qui vienne remplacer le soleil au sein de la mer, et de les éclairer à faible distance, pour que la lumière ne soit pas colorée par l'épaisseur d'eau traversée. Il faut malheureusement constater que nos « soleils » sous-marins, malgré leurs millions de lumens de puissance instantanée, ressem-

blent plutôt à des feux de paille, permettant de photographier en couleur tout au plus à 2 ou 3 mètres de distance. L'éclairage artificiel au sein de la mer est un problème extraordinairement ardu, du fait de l'absorption et de la diffusion de la lumière par l'eau. Alors que dans l'air l'éclairage fourni par une source lumineuse varie comme l'inverse du carré de la distance à la source (il est 4 fois plus faible à 2 mètres de distance qu'à 1 mètre, 9 fois plus faible à 3 mètres de distance qu'à 1 mètre, etc.), dans l'eau il diminue beaucoup plus vite du fait de l'absorption, d'autant plus vite que l'eau est plus trouble. Il s'ensuit que la puissance nécessaire pour obtenir un éclairage donné augmente très rapidement avec la portée que l'on désire atteindre.

Prenons, par exemple, le cas d'eaux très limpides, comme celles de la Méditerranée. L'éclairage qui y serait fourni à 1 mètre de distance par une lampe de 500 watts nécessiterait, à 2 mètres de distance, près de 2,5 kilowatts.

Si on opérât dans des eaux assez troubles, comme celles de la Manche, il faudrait disposer d'une puissance de plus de 5 kilowatts.

Par ailleurs, au fur et à mesure que la distance de l'objet augmente et que son éclairage diminue par conséquent pour une source de puissance donnée, la luminance du voile de diffusion croît, l'épaisseur de la couche d'eau éclairée interposée entre l'objet et l'appareil de prise de vue devenant de plus en plus importante. Le rapport de la luminance du

Ph. Conral



**POUR LE FLASH SOUS-MARIN**, l'appareil et le caisson contenant les lampes forment un ensemble très maniable. Les branches délimitent champ et distance.

Science  
&  
Vie

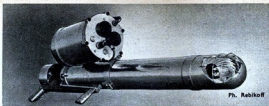
Hors  
Série

1955



## LA TORPILLE-STÉRÉO

de D. Rebikoff est un véritable sous-marin miniature. La poignée avant commande la propulsion, la poignée arrière l'éclairage et la marche des caméras Beaulieu jumelées.



voile de diffusion à l'éclairage de l'objet augmente très rapidement avec la distance de l'objet, de sorte qu'au-delà de 2 à 3 mètres, le voile de diffusion devient prohibitif et qu'il est par conséquent inutile de faire la course aux kilowatts. D'ailleurs, en dehors des questions de puissance nécessaire et de voile de diffusion, la lumière deviendrait bleutée au-delà de ces distances, et ne conviendrait plus aux prises de vue en couleur.

On peut évidemment augmenter légèrement la portée en disposant la source de lumière en avant de l'appareil de prise de vue. Il convient en ce cas d'éliminer du champ de prise de vue non seulement la source elle-même, mais également toute portion d'eau située au voisinage immédiat de cette source, et qui, fortement éclairée, révélerait sa présence sur le cliché par un voile de diffusion localisé intense.

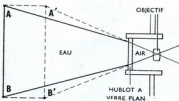
Les sources de lumière artificielle semblent avoir été réservées jusqu'à présent aux prises de vue sous-marines en couleur. Il est évident cependant que le flash peut être utilisé avec beaucoup d'avantages en photographie sous-marine noir et blanc, pour augmenter les éclaircissements et les contrastes, procéder à contre-jour, etc.

Nous pensons que lorsqu'on aura réalisé un flash d'un prix modique et peu encombrant, son usage se généralisera, et la photographie sous-marine à la lumière solaire ne sera plus, en dehors de quelques cas particuliers, qu'un souvenir des temps héroïques.

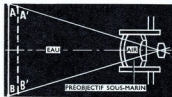
## Les systèmes optiques pour prises de vue sous-marines

Les prises de vue sous-marines sont généralement effectuées à travers une fenêtre en verre plan, un « hublot », ménagé dans la paroi du caisson étanche renfermant l'appareil de prise de vue. Ce hublot constitue une surface de séparation plane entre la mer et l'air intérieur au caisson, surface de séparation qui réfracte les rayons lumineux et fournit d'un objet immergé une image virtuelle, reprise par l'objectif de l'appareil de prise de vue. Cette image est entachée d'aberrations à la périphérie du champ si bien que, dès qu'on utilise un objectif grand angulaire, le cliché manque de netteté même si l'objectif est parfait.

Par ailleurs, l'image virtuelle fournie par le hublot plan se forme à une distance égale aux  $3/4$  environ de la distance réelle de l'objet (ce qui nécessite une correction de mise au point, ne constituant pas un inconvénient bien grave en soi-même), et comme elle a mêmes dimensions linéaires que l'objet, elle apparaît sous un angle sensiblement égal aux  $4/3$  de celui sous lequel apparaîtrait l'objet lui-même. Le grandissement est donc augmenté dans le même rapport, et tout se passe comme si, lors de prises de vue sous-marines à travers un hublot à verre plan, la longueur focale de l'objectif était multipliée par  $4/3$ . Non seulement le hublot à verre plan ne permet pas l'utilisation des objectifs grands angulaires, mais de plus, il ramène la longueur focale des objectifs demi-grands angulaires à celle des objec-



L'OBJECTIF PHOTOGRAPHIQUE voit à travers un hublot plan l'image A'B' plus rapprochée, donc plus



grasse que l'objet AB ; à travers le préobjectif, il voit une image coïncidant presque entièrement avec l'objet.

Science  
&  
Vie

Hors  
Série

1955







PRISE D'UN CLICHÉ en lumière naturelle à l'aide d'un appareil de petit format logé dans une boîte étanche.

tifs normaux. Dans le cas de la photographie  $24 \times 36$  par exemple, on ne peut guère utiliser avec un hublot à verre plan une focale inférieure à 35 mm sans diminuer la qualité du cliché, et les résultats obtenus avec un objectif de 35 mm sont analogues à ceux obtenus dans l'air avec un objectif de 80 mm.

Or il importe justement, pour les prises de vue sous-marines, d'avoir un champ angulaire aussi grand que possible pour opérer d'aussi près que possible et diminuer ainsi la luminance du voile de diffusion, et d'avoir également une grande profondeur de champ, les ouvertures utilisées étant généralement assez grandes. Il faut donc une focale aussi courte que possible, ce que le hublot à verre plan ne permet précisément pas.

### Le préobjectif sous-marin

Le professeur Yves Le Grand et nous-mêmes avons calculé en 1950, et réalisé au début de 1951, un système optique pour prises de vue sous-marines appelé « préobjectif sous-marin ». C'est un ensemble de deux lentilles, distantes

l'une de l'autre de 2 à 4 cm et disposées devant l'objectif de prise de vue, à la place du verre plan. La première lentille, plan-concave, est baignée par l'eau sur sa face avant, et constitue le hublot proprement dit. La seconde, plan-convexe, est disposée le plus près possible de l'objectif de prise de vue. L'ensemble est calculé de telle sorte qu'il fournisse d'un objet immergé une image virtuelle apparaissant rigoureusement sous le même angle que l'objet, et située pratiquement à la même distance (figure page 88). Dans ces conditions il n'y a pas de corrections de mise au point à effectuer, et, ce qui est le plus important, le grandissement est le même que si l'objet se trouvait dans l'air (l'image virtuelle reprise par l'objectif apparaissant sous le même angle que l'objet); autrement dit, le champ angulaire, ou, si l'on veut, la longueur focale de l'objectif, sont conservés lors des prises de vues sous-marines. Par ailleurs, les lentilles du préobjectif peuvent être choisies en sorte qu'elles ne présentent pas d'aberrations sensibles, même pour les rayons lumineux fortement inclinés, si bien qu'il devient possible d'utiliser les objectifs

Science  
&  
Vie

Hors  
Série

1955





HUBLOT PLAN  
ET OBJECTIF DE 35 %



PRÉOBJECTIF SOUS-MARIN  
ET OBJECTIF DE 28 %



HUBLOT PLAN  
ET OBJECTIF DE 35 %



PRÉOBJECTIF SOUS-MARIN  
ET OBJECTIF DE 28 %

**A DISTANCE ÉGALE** d'un objet immergé, épave par exemple, le champ embrassé par l'appareil de prise de vue est environ deux fois plus étendu avec un préobjectif sous-marin et un objectif grand angulaire qu'avec un hublot à verre plan et un objectif demi-grand angulaire.

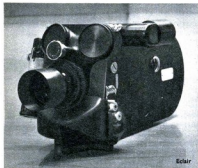
**POUR UN SUJET DONNÉ**, le préobjectif sous-marin associé à un objectif grand angulaire permet de prendre le cliché en se plaçant deux fois plus près que lorsque l'on opère avec un appareil doté seulement d'un hublot plan associé à un demi-grand angulaire.

grands angulaires, tout en conservant leur longueur focale. Dans le cas de la photographie 24 x 36 on peut ainsi obtenir le champ de l'objectif de 28 mm, et dans le cas du cinéma 16 mm celui de l'objectif de 9,5 mm. A distance égale, et par conséquent à voile de diffusion égal, le préobjectif sous-marin permet de photographier des objets presque deux fois plus étendus (figure page 90), tandis que pour une dimension donnée de l'objet, le préobjectif sous-marin permet d'opérer à une distance près de deux fois plus faible, et de diminuer ainsi la luminance du voile de diffusion dans un rap-

port d'autant plus grand que les eaux sont plus troubles. Enfin, on peut montrer que, pour un objectif donné, la profondeur de champ est environ deux fois plus grande si l'on utilise un préobjectif sous-marin au lieu d'un hublot à verre plan. La netteté du cliché s'en trouve évidemment fortement améliorée, et par ailleurs les erreurs de mise au point entraînent des conséquences moins graves, ce qui est particulièrement précieuse avec les saisons étanches ne permettant pas de modifier en cours de plongée la distance de mise au point. Ainsi, dans le cas de la photographie 24 x 36,

**LA CAMÉRA CAMEFLEX**, pour film de 35 et 16 mm, dans sa version spécialement étudiée pour équiper l'« Aquaflex » Coutant-Mathot (voir page 81).

**L'AQUAPHOT-CINÉMA I**, boîte étanche pour caméra Beaulieu 16 mm, permettant d'enregistrer 30 m. de film. On peut la monter sur une torpille Rebikoff.



Eclair



Science  
&  
Vie  
Hors  
Série

1955



avec un objectif de 35 mm ouvert à  $f/6,3$ , à 3 mètres de distance, la profondeur de champ est en gros de 2,3 à 4,5 m avec un hublot à verre plan, tandis qu'elle est de l'ordre de 1,8 à 10 m avec un préobjectif sous-marin. Ainsi seuls les gros plans nécessitent une modification de la distance de mise au point.

### Macrophotographie, télévision, cinéma.

Signalons pour terminer trois applications récentes du préobjectif sous-marin. Légèrement modifié dans sa constitution, il permet de rejeter à l'infini l'image d'un objet très rapproché (figure ci-dessous) et de photographier ainsi un objet situé à 25 ou même 15 centimètres de distance seulement, l'objectif étant réglé sur l'infini. Les résultats ainsi obtenus sont, en somme, analogues à ceux fournis par un hublot de verre plan et une bonnette d'approche, mais leur qualité est meilleure, les aberrations du verre plan étant éliminées.

Le préobjectif sous-marin a également été utilisé en télévision sous-marine par les Laboratoires R. Derveaux, inventeurs du balayage en spirale. Signalons en passant que la caméra de télévision sous-marine R. Derveaux pèse moins de 5 kg. Elle est munie d'un objectif de 9,5 m, lequel, associé au préobjectif sous-marin, assure en largeur et en profondeur un champ notable.

Dans le cinéma en standard large international (2,55x1 ou 2,30x1), il importe d'avoir un champ en largeur aussi grand que possible et par conséquent d'éviter, lors des applications sous-marines, la diminution de ce champ sous l'effet du hublot à verre plan. C'est ainsi que le premier film français 35 mm tourné dans les eaux de la Méditerranée avec un objectif « Cinépanoramique », film de court métrage intitulé « Vingt minutes sous les mers », a été réalisé avec l'aide d'un préobjectif sous-marin. Le champ en largeur est conservé, et l'image reste nette sur les bords de l'écran.

Alexandre Ivanoff

Professeur à l'École Supérieure de Physique et de Chimie ;  
Sous-Directeur de laboratoire au Muséum d'Histoire Naturelle

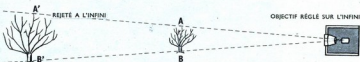


UNE EXPLORATION SOUS-MARINE à l'aide de la torpille Rebikoff associée ici à une chambre étanche Aquaphot pour l'appareil stéréoscopique Vérascopé 40.

Science  
&  
Vie

Hors  
Série

1955



LE PRÉOBJECTIF sous-marin spécial permet la macrophotographie ; il rejette à l'infini l'image d'un objet

très rapproché (branche de corail par exemple), image qui est alors reprise par un objectif réglé sur l'infini.