

Louis Boutan et la photographie sous-marine (1886 – 1900)



*'Il en est du naturaliste
comme du chasseur ; ce
n'est pas dans un tiré que
l'on parvient à trouver du
gibier. Celui qui est guidé
par une longue expérience,
durement acquise, trouvera
toujours quelque chose là
où tout autre ne verra rien'*
Henri de Lacaze-Duthiers,
*Archives de Zoologie
Expérimentale et Générale*
(1891)

Introduction :

L'invention de la photographie constitue l'un des grands moments de la transformation esthétique et technologique du 19^{ème} siècle. Son emploi dans la recherche scientifique, et tout particulièrement dans les sciences naturelles reste cependant conditionné, pendant toute la période, aux possibilités qu'elle pourrait offrir pour l'observation de processus, de matières ou d'êtres vivants.

A mesure que le siècle avance, il devient évident pour nombre de savants que l'emploi des dispositifs de prise de vues automatiques nécessite la mise au point d'équipements particuliers, développés pour des applications spécifiques. Des noms de savants ou d'artistes seront très vite associés à des innovations technologiques permettant d'effectuer des prises de vues dans des conditions particulières. Jules Janssen, Edwaerd Muybridge et d'autres vont associer leur nom à l'invention de dispositifs qui vont rendre visibles, grâce au procédé photographique, des événements qui ne pourraient être perçus à l'œil nu. Alfred Donné réalise, en 1840, des daguerréotypes d'objets microscopiques invisibles à l'œil nu. Pour

Monique Sicard, « l'irruption de la photographie au sein du dispositif d'observation est une révolution. L'image rend possible le partage du regard. Avec lui, le dialogue. »¹

Dans le domaine des sciences de la nature, la photographie des animaux vivants dans leur milieu naturel devient un objectif réaliste à mesure qu'apparaissent sur le marché, ou que sont réalisés, des équipements permettant de visualiser des événements se produisant en dehors des capacités de perception de l'œil humain, ou encore des évolutions et des transformations se produisant dans des milieux difficilement accessibles.

En somme, l'invention de la photographie ouvre tout un champ à la visualisation scientifique qui restait, jusqu'au milieu du siècle, le domaine des reproductions d'artistes ou de savants versés dans les arts plastiques. C'est ainsi qu'un naturaliste tel que Louis Boutan, et avant lui l'anglais William Thompson, en sont venus à tenter de donner une visibilité à des phénomènes et à des paysages subaquatiques encore largement ignorés de la communauté scientifique.

Dans ce travail consacré à l'utilisation par Louis Boutan de la photographie comme moyen de représenter de manière réaliste les fonds marins, je commencerai par retracer de manière succincte les principales étapes de sa carrière de naturaliste. Une deuxième partie sera consacrée à Henri de Lacaze-Duthiers, le fondateur du Laboratoire Arago, qui lui a permis de réaliser cette avancée majeure dans le champ des techniques photographiques qu'a constituée la représentation des fonds marins avec l'aide de la photographie. Les étapes ayant mené Boutan des premiers essais de prise de vues sous-marines, avec un appareil du commerce, à la conception et à la construction d'équipements spécifiques, adaptés au milieu subaquatique, seront retracées dans une troisième partie.

1. Itinéraire d'un savant dans la France d'après 1870 : genèse du travail scientifique de Louis Boutan

Louis Marie Auguste Boutan (1859-1934) est né à Versailles, dans une famille emblématique de la méritocratie française de la deuxième moitié du 19^{ème} siècle. Son père, Auguste Boutan (1820-1900), après un passage par l'Ecole Normale Supérieure, devient professeur de physique dans un lycée parisien et termine sa carrière comme inspecteur général de l'Education Élémentaire².

Après des études secondaires au lycée Saint-Louis, à Paris, Louis Boutan est nommé, en 1879, préparateur adjoint à la Faculté des Sciences de Paris. Il est rattaché au laboratoire d'Henri de Lacaze-Duthiers³. Invité par ce dernier à effectuer des interventions, en tant que

¹ SICARD, Monique, *La fabrique du regard*, Odile Jacob, 1998, p.109.

² DIEUZEIDE, R. 1934 "Le Professeur Louis Boutan (1859-1934)." *Bulletin des Travaux publiés par la Station d'Acquiculture et de Pêche de Castiglione*. Alger: Carbonel, pp.10-34.

³ Cette chronologie est écrite en suivant les données fournies par Arnaud FELICI, *Vie et œuvre de Louis Boutan (1859-1934)*, Mémoire de Maîtrise sous la direction de Monsieur Cyr Descamps, Perpignan (2001).

conférencier, au laboratoire Arago de Banyuls sur Mer, il y découvre la plongée sous-marine équipé du scaphandre « pieds lourds », le seul disponible à l'époque.

Boutan, qui est aussi intéressé par les possibles utilisations de la photographie dans les sciences naturelles, effectue ses premiers essais de photographie sous-marine grâce aux dispositifs réalisés par son frère et le mécanicien du laboratoire, David. En 1900, il fait paraître *La Photographie sous-marine et les progrès de la photographie*, ouvrage qui fait le récit détaillé de ses expériences et qui en marque la fin.

Dans la biographie de Louis Boutan, on remarquera tout d'abord l'intérêt constant d'un naturaliste pour la mer et ses habitants. De l'étude de la fissurelle, qui est l'objet de sa thèse de doctorat en 1886, à la publication de son ouvrage sur la perle, en 1925, son intérêt pour les ressources halieutiques ne s'est jamais démenti. On pourrait donc en déduire que le développement de l'exploration sous-marine, puis la mise au point des équipements permettant la photographie sous-marine, avaient un rapport avec ses travaux sur les animaux marins. En effet, dès son séjour de 1886 à Banyuls, Boutan va s'essayer à la plongée en scaphandre « pieds lourds » pour récolter mollusques et autres espèces marines.

Cependant, la découverte du spectacle subaquatique du littoral du Roussillon va l'amener à adopter une toute autre perspective et à envisager la manière la plus moderne de partager cette expérience. Avant de retracer les principales étapes de cette invention de la photographie sous-marine par un naturaliste du 19^{ème} siècle, il convient de décrire le cadre dans lequel elles auront lieu, c'est-à-dire celui créé par Henri de Lacaze-Duthiers avec l'établissement du Laboratoire Arago à Banyuls sur Mer.

2. Henri de Lacaze-Duthiers et la création du Laboratoire Arago

Henri de Lacaze-Duthiers (1821-1901), originaire du Lot-et-Garonne, était sans doute, comme le note François Brun, un personnage « dans la lignée des savants-voyageurs (Cuvier, Milne-Edwards, de Quatrefages) qui étudient les animaux dans leur environnement et leur habitat, à la différence d'autres érudits qui ne travaillent que dans leur laboratoire éloigné des sites naturels. »⁴ Influencé, au cours de ses études de médecine, par l'enseignement d'Henri Milne-Edwards, il s'intéresse de plus en plus à l'histoire naturelle, sans abandonner la médecine pour autant.

Spécialisé dans l'étude des mollusques, il est à l'origine de la création de la première station maritime à Roscoff, en 1872. Cependant, le climat sur ces côtes à l'extrémité ouest de la Bretagne ne permet pas d'y effectuer des recherches durant la période hivernale, de fin octobre et jusqu'au mois d'avril, et il devient évident qu'il faut trouver un deuxième lieu qui puisse permettre de travailler toute l'année.

En 1881, il crée le Laboratoire Arago, sur la Côte Vermeille (Pyrénées-Orientales), grâce à diverses subventions et en raison du climat qui lui paraît alors particulièrement propice pour y effectuer des travaux tout au long de l'année. La création du Laboratoire Arago est pour la

⁴ BRUN, François, *Le Roussillon sous-marin*, Editions Gap, 2017, p.268.

carrière scientifique d'Henri de Lacaze-Duthiers, toute entière tournée vers les études expérimentales en zoologie, un point d'appui et un aboutissement logique. Cette création, qui suit naturellement celle de la station de Roscoff, en 1872, fait alors partie d'un véritable mouvement en faveur de la création de laboratoires spécialisés. Ce mouvement, d'ailleurs, ne prend réellement de l'importance qu'après la guerre de 1870 et la chute de l'Empire. C'est donc avec la 3^{ème} République que commence véritablement l'extension de l'enseignement de l'Histoire Naturelle à l'école, puis au niveau de l'enseignement supérieur.

La station de Banyuls devra son développement aux dons et contributions diverses provenant d'initiatives privées : en 1893, le prince Roland Bonaparte, président de la Société de Géographie, donne 50000 francs pour l'achat d'un bateau à vapeur (le 'Roland'). D'autres donateurs offriront machines à vapeur ou bibliothèques. Lacaze-Duthiers insistera tout particulièrement d'ailleurs sur l'importance de la bibliothèque, le seul luxe autorisable, selon lui, dans ses stations maritimes.

D'autre part, conférences et excursions avaient été, dès sa création, un des moyens mis en œuvre par Lacaze-Duthiers pour animer le laboratoire et le faire connaître à la communauté scientifique et au-delà. Boutan lui-même, souvent sollicité, s'est prêté au jeu, y voyant sans doute aussi un moyen de divulguer ses recherches et ses expériences sous-marines et, peut-être aussi, d'obtenir des soutiens. Cet aspect pédagogique des activités de la station s'étendait sans doute au-delà de la communauté scientifique comme le montre une affiche de 1893 conservée à la Bibliothèque de l'Observatoire océanologique de Banyuls (Figure 2 - Voir aussi les courriers et le Livre d'Or du Laboratoire Arago, en Annexe).

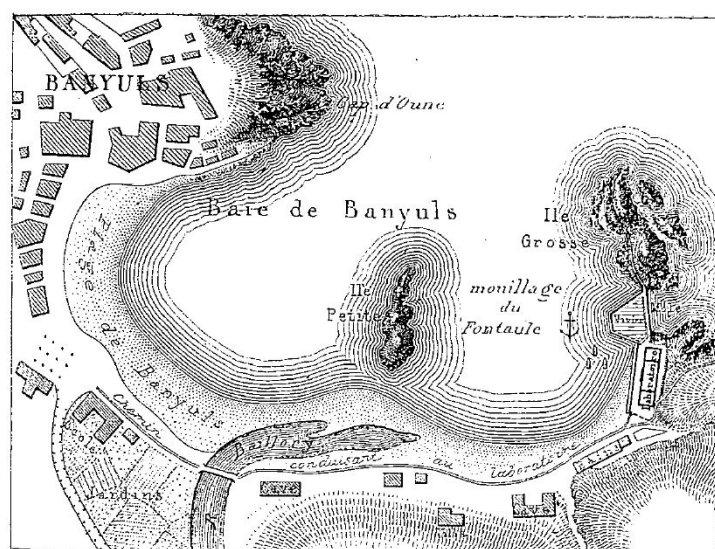
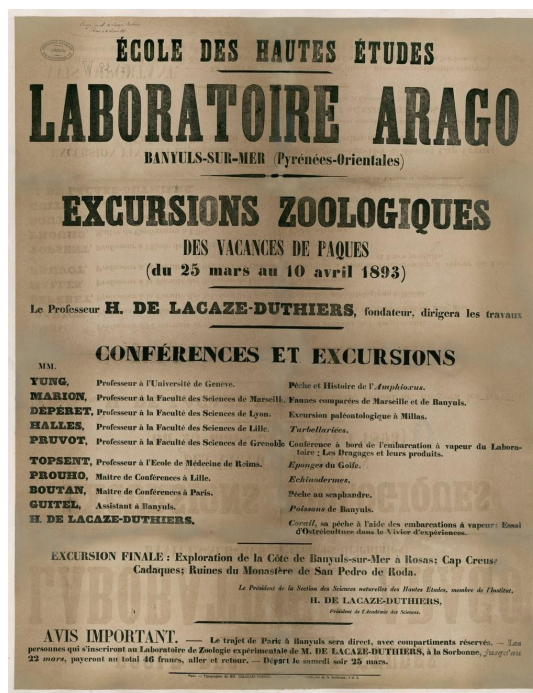


Fig. 9. — Plan de la rade de Banyuls-sur-Mer destiné à montrer la position du laboratoire à l'est du mouillage du Fontaule et au sud de l'île Grosse. Le vivier, à l'ouest du môle, fermant le barrage entre l'île Grosse et le promontoire du Fontaule, est indiqué.

Figure 1- Planche parue dans les *Archives de zoologie expérimentale et Générale*, 2^{ème} série, tome 9, p.256 (1891)



Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Figure 2 - Excursions zoologiques – 1893 (© Bibliothèque du Laboratoire Arago / Sorbonne Université)



Figure 3 - Le Laboratoire Arago en 1894 et l'île Grosse (© Bibliothèque du Laboratoire Arago / Sorbonne Université)

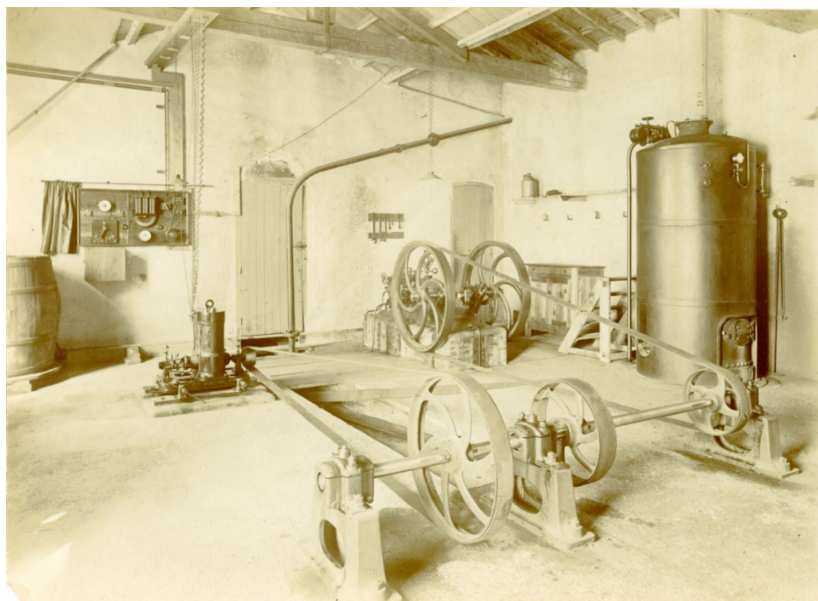


Figure 4 - Une machine en atelier (© Bibliothèque du Laboratoire Arago / Sorbonne Université)

3. Louis Boutan à Banyuls : premières plongées et évidence de la photographie

Louis Boutan, qui se trouve, depuis 1884, en résidence quasi-permanente à la station marine de Banyuls-sur-Mer, va combiner ses travaux sur la fissurelle – afin d’achever sa thèse de doctorat – avec l’apprentissage de la plongée sous-marine en scaphandre « pieds lourds », c’est-à-dire le fameux scaphandre à casque, avec arrivée d’air depuis la surface et chaussures aux semelles lestées de plomb.

Pendant l’été 1892, Louis Boutan décide de descendre en scaphandre dans la rade de Banyuls et à Port Vendres afin d’observer le développement d’un mollusque, l’*Haliotis*. Ce ne sont d’ailleurs pas ses premières expériences de scaphandrier mais, cette fois, il est saisi par la beauté des paysages sous-marins à tel point qu’il regrette de ne pouvoir en rapporter des images :

« L’étrangeté de ces paysages sous-marins m’avait causé une très vive impression et il me paraissait regrettable de ne pouvoir la traduire que par une description plus ou moins exacte, mais forcément incomplète. J’aurais voulu rapporter de ces explorations sous-marines un souvenir plus tangible ; mais il n’est guère possible, quelque bon scaphandrier que l’on soit, de faire un dessin, voire même un croquis, au fond de l’eau. »⁵

L’utilisation de la photographie, qui est devenue un instrument à part entière de la recherche scientifique, lui apparaît comme une évidence :

⁵ BOUTAN, Louis, « Mémoire sur la photographie sous-marine », *Archives de zoologie expérimentale et générale*, 3^{ème} série, tome 1, 1893, p.283.

« Je résolus alors d'essayer la photographie ; puisqu'on arrive à prendre sans difficulté un paysage en plein air, pourquoi, me disais-je, ne parviendrait-on pas à faire une photographie au fond de la mer ? »⁶

Cette question, toute théorique de prime abord, avait pourtant déjà fait l'objet de recherches et même d'une expérimentation de la part d'un anglais, William Thompson (1822-1879), qui parvint à réaliser, en 1856, ce que l'on s'accorde à considérer comme la première photographie prise sous l'eau. Son dispositif consistait alors à placer l'appareil dans un conteneur en bois et en métal, scellé de manière à peu près hermétique, et qui était immergé à environ cinq mètres sous l'eau tout en étant retenu par une corde. Au cours de cette expérience, cependant, le conteneur n'ayant pu résister à la pression, l'eau salée pénétra à l'intérieur et atteignit la plaque de collodion⁷. Le résultat en sera une image faiblement révélée, sur laquelle il est difficile de distinguer les détails, mais Thompson considère que c'est le dispositif mis en œuvre qui est en cause et non pas le médium aquatique lui-même. C'est une limite technologique qui, selon lui, sera résolue tôt ou tard.

C'est là qu'apparaît, en réalité, la principale « vertu » de la photographie. Alejandro Martinez soutient ainsi que :

*« the value granted to photography as evidence was not so much linked to its faithfulness or the degree of accuracy in representing its referent, but to its ability to eliminate human hands from the process of recording and representing the world. »*⁸

L'automatisme de la machine photographique est donc son principal avantage et garantit, par le résultat de la reproduction mécanique du réel, ce qui apparaît déjà comme un gage d'objectivité.

La densité de l'eau n'apparaît pas comme un obstacle insurmontable. Boutan entreprend donc « de passer de la théorie à la pratique et de faire construire les appareils spéciaux »⁹ qui lui seront nécessaires pour la réussite de son entreprise. Le frère de Louis Boutan, Auguste Boutan, qui est centralien et dont la collaboration s'avèrera précieuse par la suite, se charge de la conception de l'appareil, qui sera construit par la société Alvergnat. Un système d'éclairage, conçu par un autre ingénieur, M. Chauffour, sera construit par la Compagnie générale de constructions mécaniques.

⁶ Op. cit., p.284.

⁷ Le négatif sur verre au collodion est mis au point par Gustave Legray puis perfectionné l'année suivante par Scott Archer. Ses avantages consistent en une grande netteté de l'image et une plus grande rapidité de prise de vue due à la sensibilité du collodion, substance chimique visqueuse qui sert à faire adhérer les sels d'argent sensibles sur la plaque tout en augmentant leur sensibilité à la lumière. Par contre, le verre lourd et fragile est difficile à transporter et préserver et le collodion très sensible à la chaleur. Aussi le trouve-t-on surtout utilisé d'abord par les photographes professionnels disposant d'ateliers sur place pour stocker les négatifs.

(Sur : <http://expositions.bnf.fr/legay/reperes/glossaire/index.htm>)

⁸ MARTINEZ, Alejandro. "A souvenir of undersea landscapes:" underwater photography and the limits of photographic visibility, 1890-1910. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, Rio de Janeiro, v.21, n.3, jul.-set. 2014.

⁹ BOUTAN, op. cit., p.284.

Pour remédier aux problèmes causés par la réfraction de l'eau sur les systèmes optiques, il lui semble indispensable de construire un appareil photographique adapté au milieu subaquatique. Pour cela, deux solutions :

« 1° Faire construire un objectif qu'on pourrait immerger directement dans l'eau ;

2° Faire établir une boîte étanche, dans l'intérieur de laquelle l'objectif ordinaire serait à l'abri du liquide salé. »¹⁰

4. De la théorie à la pratique : les débuts de la photographie sous-marine

En 1893, Louis Boutan fait construire, avec l'aide de son frère Auguste, un boîtier étanche pour un appareil de type *Détective* à 6 plaques de 9cm x 12cm¹¹. Le principe de ce premier appareil peut se résumer ainsi : « Utiliser l'appareil photographique ordinaire en le plaçant dans des conditions telles que le fait de son immersion dans l'eau ne change pas sensiblement son mode habituel de fonctionnement, et que l'objectif ne puisse être altéré par son contact avec le nouveau milieu. »¹²

Ce premier appareil doit présenter, selon Louis Boutan, certaines caractéristiques qui puissent permettre sa manipulation sous l'eau. Ce genre d'appareil, précise-t-il, « permet de faire arriver l'image des objets sur la plaque sensible sans une mise au point préalable, à condition qu'on opère sur des objets distants de l'objectif de plus de 3 à 4 mètres. »¹³

L'appareil est placé dans un boîtier étanche dont les plans sont réalisés par son frère Auguste et dont la réalisation est confiée à la société des frères Alvergnyat, à Paris, une maison bien connue à l'époque pour la réalisation d'instruments scientifiques.

Boutan fait une longue description de l'appareil dans un premier texte : l'appareil est enfermé dans une boîte étanche, disposant d'une série d'orifices. C'est « Un parallélépipède rectangle creux, formé de lames de cuivre soudées ensemble... Sur les faces latérales de l'instrument se trouvent percés une série d'orifices de forme circulaire. Ces orifices, d'égale grandeur, sont au nombre de trois pour la face antérieure V, V, O et d'un OV pour la face latérale.

Chacun de ces orifices est munie d'une glace plane parfaitement sertie et mastiquée dans l'intérieur de l'orifice. »¹⁴

L'appareil présente d'autre orifices : « l'un sur la face latérale et l'autre sur la face postérieure, deux orifices de diamètre beaucoup plus restreint, OB et D, sur lesquels sont adaptés des presse-étoupe, qui permettent le mouvement de va et vient de deux manettes indépendantes. »¹⁵ (Figure 5)

Un « ballon de compensation » de trois litres a d'autre part été rajouté sur le dessus de l'appareil afin d'équilibrer la pression ambiante. Ce ballon est rempli d'air, et la pression de l'eau fait passer l'air à l'intérieur de l'appareil grâce à une ouverture pratiquée sur le dessus,

¹⁰ Ibid, p.285.

¹¹ L'appareil est nommé ainsi en raison de son apparence relativement discrète et de la facilité de sa mise en œuvre.

¹² BOUTAN, Louis, *La Photographie sous-marine et les progrès de la photographie*, Schleicher Paris, 1900, p.163.

¹³ Ibid, p.164.

¹⁴ BOUTAN, « Mémoire... », p.287

¹⁵ Ibid, p.287

équilibrant ainsi la pression exercée sur ses parois. Boutan fait remarquer, en effet, que lorsque « la boîte est immergée à 10 mètres de profondeur, les parois extérieures ont à supporter à la fois la pression atmosphérique, et en plus une pression égale au poids d'une colonne d'eau salée de 10 mètres de hauteur. »¹⁶

D'autre part, un mécanisme automatique permettant le remplacement de la plaque impressionnée par une plaque neuve lui permet d'utiliser un magasin et de prendre plusieurs vues successives sans être obligé de remonter à la surface. Boutan le décrit de la manière suivante :

« Un simple mouvement de bascule imprimé à une manette fait tomber la plaque impressionnée au fond de l'appareil et met en face de l'objectif une plaque neuve, prête à subir à son tour l'impression lumineuse.

Ce dispositif spécial des appareils photographiques, du genre détective, me semble propre à rendre de grands services dans la photographie sous-marine en permettant de prendre successivement plusieurs vues, sans être obligé de remonter à la surface de l'eau. »¹⁷

Ce premier appareil est cependant d'un maniement peu pratique, sa mise en œuvre nécessite de longs séjours sous l'eau et, pour pouvoir impressionner les plaques de manière à obtenir des images d'une qualité satisfaisante, il faut des temps de pose d'au moins dix minutes, et certaines photographies, selon Boutan, ont même demandé une demi-heure de temps de pose. Dans ces conditions, on imagine bien tous les problèmes posés par les mouvements de la faune et de la flore sous-marine. De plus, les prises de vue nécessitaient une longue préparation :

« Le bateau devait être ancré solidement, le scaphandrier se mettait à l'eau et recherchait un site approprié, il recevait ensuite l'appareil qu'il devait assembler au fond de l'eau. Une fois en place, le scaphandrier donnait le signal en surface au patron du bateau pour qu'il compte le temps de pose car les chronomètres étanches n'existaient pas encore... »¹⁸

Les premiers résultats ne sont guère satisfaisants, les temps de pose sont très longs, les photographies sont floues et Louis Boutan met en cause le manque de profondeur de champ permise par l'appareil :

« Les clichés obtenus ont un grave défaut. Malgré leur pittoresque, malgré le rendu des premiers des premiers plans, ils manquent visiblement de profondeur.

Même dans les clichés les mieux réussis, le paysage semble coupé brusquement à une distance relativement faible.

En réalité, la vue porte plus loin que ne semble l'indiquer l'image photographique, et l'on pourrait reprocher avec juste raison à mes clichés de ne traduire qu'une faible partie du paysage que le scaphandrier a sous les yeux.

¹⁶ Ibid, p.289.

¹⁷ BOUTAN, Louis, *La Photographie sous-marine...*, op. cit. p.165.

¹⁸ FELICI, Arnaud, op. cit., p.44

(...) La cause de cet insuccès tient, je crois, non pas à la façon d'opérer, mais à l'appareil lui-même ; il est très vraisemblable qu'avec un appareil photographique puissant, dans lequel il serait possible de régler la mise au point avec exactitude, on pourrait obtenir une profondeur plus considérable et qui traduirait plus fidèlement le spectacle qu'on a sous les yeux. »¹⁹

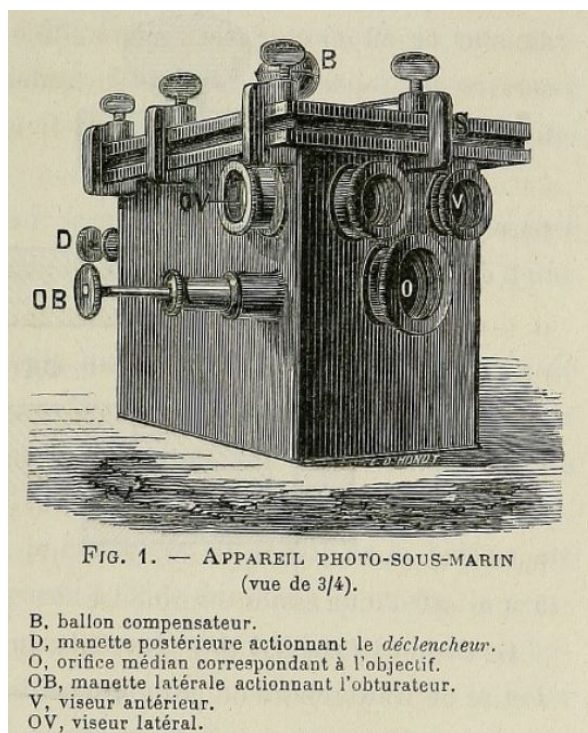


Figure 5 - L'appareil Détective de 1893 (*Archives de zoologie Expérimentale et Générale*, 3ème série, tome 1, 1893)

Il lui paraît alors indispensable de pouvoir disposer de la possibilité de régler la mise au point avec exactitude.

Alejandro Martinez fait remarquer que la conception de ce premier appareil ressemble à une proposition faite en 1891 par Paul Regnard (1850-1927), pour la réalisation d'un dispositif photographique submersible, mais cet appareil ne fut apparemment jamais construit²⁰. Boutan a d'ailleurs eu connaissance du projet de Paul Regnard, mais cet appareil lui paraissait singulièrement limité car ne proposant que des vues en plan²¹.

Le deuxième dispositif utilisé par Boutan était d'une conception complètement différente. Dans cet appareil, ni l'objectif, ni la chambre noire, ni même les plaques photographiques ne sont protégés par un boîtier hermétique, mais ils sont placés au contraire au contact de l'eau. Selon Boutan, « Rien ne s'oppose à ce que des objectifs calculés convenablement ne

¹⁹ BOUTAN, Louis, « Mémoire... », p.313.

²⁰ MARTÍNEZ, op. cit., p.6

²¹ BOUTAN, Louis, « L'instantané dans la photographie sous-marine », *Archives de zoologie expérimentale et générale*, 3^{ème} série, tome 6, No. 1 (1898)

fonctionnent également bien dans des milieux plus réfringents, en étant immergés complètement, par exemple, dans le milieu eau. »²²

Ce deuxième appareil ne donne cependant pas de bons résultats et Boutan ne le mentionne, semble-t-il, que pour mémoire. Il indique aussi que son principe était certainement bon et que « si le résultat a été insuffisant, cela tient à ce que je n'ai pas eu à ma disposition des objectifs convenablement appropriés à cette nouvelle fonction. »²³

D'autres considérations, tenant en particulier à la nécessité de manœuvrer l'obturateur sans bouger l'appareil, conduisent à la construction d'un troisième dispositif, qu'il décrit ainsi :

« Une boîte étanche, renfermant à la fois l'objectif et la plaque, qui sont ainsi plongés tous les deux dans l'air.

L'objectif est donc exactement dans la même situation que l'œil du scaphandrier qui, placé au milieu de l'air que lui envoie la pompe, voit les objets à travers la glace du casque. Comme lui, s'il est myope, il ne verra pas grand'chose ; si, au contraire, il est doué d'une vue normale et perçante, le paysage qui va se dérouler devant lui sera très étendu. Tout se ramène donc à perfectionner, autant que possible, l'œil ou plutôt l'objectif qui doit transmettre l'image à la plaque sensible. »²⁴ (Figure 7)

En effet, pour Boutan la conception d'objectifs spécialement manufacturés et calibrés pour une utilisation au contact de l'eau est primordiale. Il souligne

« [qu']il est bon de rappeler ici que la différence des indices de réfraction de l'eau de mer et du verre pour les différentes radiations solaires étant relativement faible, il est indispensable de créer un objectif nouveau, dont les courbures soient calculées en partant de ces conditions spéciales. »²⁵

L'objectif employé est à « astygmates symétriques » et provient de la maison Darlot. Le nouvel appareil pour plaques 18 X 24 est construit au laboratoire Arago par le mécanicien David. Boutan ne manquera d'ailleurs jamais de mettre en avant le rôle joué par l'ingénieur mécanicien, tout en décrivant longuement dans son ouvrage les différentes pièces du dispositif.

²² BOUTAN, Louis, *La Photographie sous-marine...*, op. cit. p.172.

²³ Ibid, p.173.

²⁴ Ibid, p.175.

²⁵ BOUTAN, Louis, « L'instantané... », op. cit., p.311



Figure 6 - Le mécanicien David (© Bibliothèque du Laboratoire Arago / Sorbonne Université)

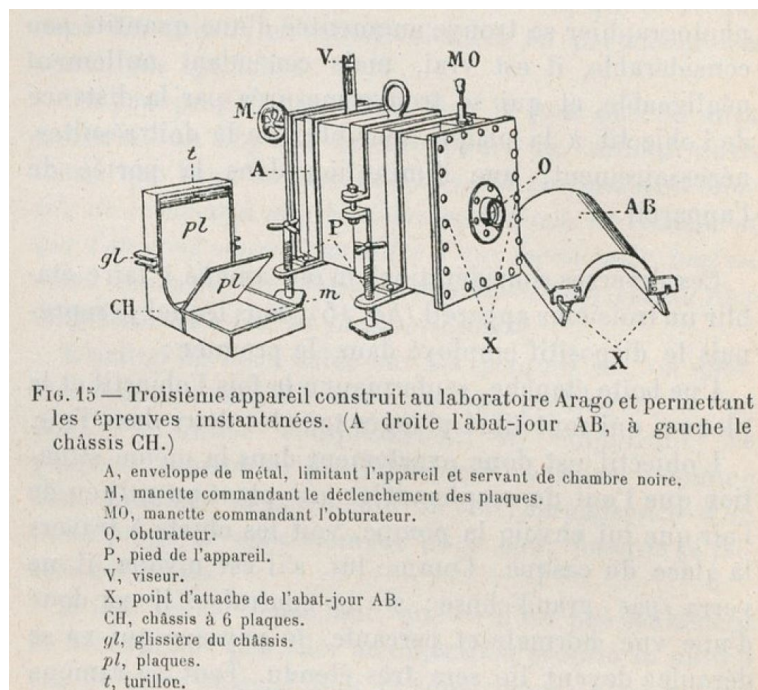


Figure 7 - Le troisième appareil, construit au laboratoire Arago (*La Photographie sous-marine et les progrès de la photographie*, p. 176)

L'appareil permet de prendre six vues successives avec des plaques contenues dans un châssis et qui sont changées et positionnées les unes après les autres grâce à une manette rotative, placée à l'extérieur de l'appareil et commandée par le scaphandrier.

Cet appareil est donc manœuvré par une manette pour l'obturateur (MO) et par une deuxième manette pour le changement et le positionnement des plaques (M).

La mise au point doit se faire en tenant compte de l'indice de réfraction de l'eau ; comme il ne lui est pas possible d'effectuer cette mise au point sous l'eau, un dispositif est réalisé dans un bassin de radoub, qui permet de simuler les différentes distances de mise au point permises par l'appareil et donc de graduer celui-ci en tenant compte de cet indice²⁶. Pour des profondeurs plus importantes, le même dispositif est réalisé à partir d'une passerelle accrochée « au flanc d'un bateau et au bord de laquelle on fixait l'appareil de manière à ce que l'opérateur pût manœuvrer facilement la glace dépolie. »²⁷

Le dispositif, qui est particulièrement lourd, devra être descendu sous l'eau par plusieurs hommes à partir d'un bateau.

L'appareil, dont il n'a été construit qu'un seul exemplaire, sera celui qui permettra à Boutan de faire ses photographies les plus réussies. Il n'a malheureusement pas été conservé.

Les premiers essais sont effectués dans les environs du laboratoire Arago, sans doute aux abords de l'île Grosse. Boutan dispose de deux embarcations, mises à sa disposition par Lacaze-Duthiers, dont l'une est une balancelle de 4 à 5 tonneaux, cadeau fait au laboratoire, lors de sa fondation, par les habitants du pays et appelée le « Lacaze-Duthiers ».



L'autre est un bâtiment plus important, un bateau à vapeur de 25 tonneaux, baptisé le « Roland » en l'honneur de son donateur, le prince Roland Bonaparte, membre de l'Institut.

²⁶ BOUTAN, Louis, « L'instantané... », Figure 5, p.317.

²⁷ Op. cit., p.319.

Le mécanicien David a transformé la cale du navire en chambre noire. Ainsi, « à l'aide d'un palan fixé sur la vergue, les hommes de l'équipage descendaient l'appareil dans la cale, puis on rabattait le capot et l'on calfeutrait le mécanicien et son aide dans la chambre noire. »²⁸

Les premières expéditions, à partir de 1892, se déroulent dans des fonds où la vase ne permet pas toujours d'obtenir de bonnes épreuves. Les contrastes sont peu accentués et les clichés obtenus sont ternes. Il est d'ailleurs impossible de se déplacer sur le fond sans soulever des nuages de vase, ce qui rend l'eau encore plus trouble. L'appareil est très difficile à manœuvrer sous l'eau par un scaphandrier. Plus tard, Boutan a l'idée de lui attacher un tonneau rempli d'air, ce qui facilite alors les déplacements du système.

Autre facteur important pour la réussite des prises de vues : le degré hygrométrique de l'air renfermé dans l'appareil qui se trouve à une température différente de celle de l'eau. Il conviendra alors, selon Boutan, de « maintenir dans l'intérieur de l'appareil, entre chaque descente, un bocal ouvert, renfermant de la chaux vive ou tout autre corps avide d'eau, de manière à dessécher à peu près complètement l'atmosphère limitée, qui va éprouver un abaissement de température pendant l'immersion. »²⁹

Boutan finit par trouver un endroit plus favorable pour ses plongées : une petite anse enfermée entre deux hautes collines rocheuses, appelée la baie du Troc, dans laquelle on peut opérer à des profondeurs variant de 2 à 11 mètres. Voici comment Boutan décrit son mode opératoire au cours de ses premières expéditions photographiques :

« Le bateau étant solidement ancré sur le fond et maintenu dans une position invariable à l'aide d'une série d'amarres fixées aux rochers de la côte, je revêtais l'habit de scaphandrier, et je descendais sur le point choisi d'avance comme centre d'opérations.

Après avoir pris terre à la profondeur voulue, je donnais au patron le signal de me faire descendre les différentes parties de l'appareil photographique.

Je recevais au bout d'une corde le trépied en fer, l'appareil contenant la boîte photographique et un poids en fonte destiné à caler le tout.

Je me mettais alors en marche pour choisir définitivement le point de vue à reproduire.

Le paysage une fois choisi, j'installais à loisir le pied de l'appareil, et je disposais la boîte photographique de manière à n'avoir plus qu'à soulever un bouchon pour ouvrir l'obturateur.

Ceci fait, un nouveau signal était expédié par moi au patron, qui tenait en main la corde de sauvetage. Ce signal signifiait que la pose était commencée, et j'attendais patiemment que le patron m'indiquât de nouveau la fin de l'opération. »³⁰

Il arrivait ainsi que les temps de pose atteignent la demi-heure. On imagine alors la patience du scaphandrier-photographe, obligé de tenir l'appareil immobile sur son trépied durant tout ce temps. Des temps de pose aussi longs étaient nécessaires pour obtenir des images suffisamment nettes. Il fallait « diaphragmer »³¹ et donc accepter des temps de pose de plus en plus longs.

²⁸ Ibid, p.319.

²⁹ Ibid, p.322.

³⁰ BOUTAN, op. cit., p.187.

³¹ Diaphragmer signifie ici accentuer la fermeture de l'iris pour obtenir une plus grande profondeur de champ et donc, éventuellement, une image plus nette.

Il fallait cependant corriger tout cela et trouver un mode opératoire mieux à même de rendre à l'image les subtilités du paysage sous-marin. Le nouvel appareil construit au laboratoire (voir Figure 2, supra) employait des optiques plus performantes, comme on l'a vu, ce qui avait des conséquences sans doute bénéfiques pour le travail de l'opérateur.

Il reste que, pour Boutan, la photographie sous-marine doit, pour pouvoir être d'une certaine utilité, être à même de prendre ce qu'il nomme des « photographies instantanées » (autrement dit avec un temps de pose réduit). Pour atteindre ce résultat, il lui apparaît

« [Qu'] il fallait renoncer complètement à l'emploi de diaphragmes à petite ouverture, et [qu'il devait] chercher à produire la netteté par une mise au point rigoureuse. Les diaphragmes à petite ouverture ont, en effet, l'inconvénient de diminuer la quantité de lumière qui doit impressionner la plaque ; ils ne pouvaient convenir pour l'instantané, alors, précisément, que j'essayais d'opérer avec le maximum de lumière. »³²

Il lui faut donc utiliser une source lumineuse intense et, après réflexion, il préfère tout d'abord utiliser la lumière du soleil, ce qui impose évidemment de ne travailler que certains jours et dans des environnements peu profonds. Il reste que la qualité des clichés obtenus, dans un tel milieu, ne peut être uniquement la conséquence de la sensibilité des plaques photographiques et de la qualité des objectifs.

Boutan, en effet, remarque très vite qu'en s'enfonçant plus avant dans l'eau, l'intensité de la lumière diminue :

« On se trouve successivement en possession d'une source lumineuse qui s'affaiblit graduellement, si bien qu'il arrive un moment où le faisceau solaire correspond à une intensité moins forte qu'une source artificielle qui serait immergée au niveau même de l'objet à photographier. »³³

Un équipement semble alors indispensable aux recherches sous-marines de Louis Boutan : c'est l'éclairage par une source de lumière artificielle. L'intensité lumineuse, devenue progressivement de plus en plus faible à mesure que l'on s'enfonce dans les profondeurs, il devient indispensable de recourir à une source de lumière artificielle afin d'éclairer suffisamment les objets à photographier. La lumière électrique semble être la mieux adaptée, car sa durée et son intensité ne dépendent que de la puissance des appareils utilisés. Mais pour l'utiliser, remarque-t-il, il est indispensable de disposer de dynamos puissantes ou de nombreux accumulateurs, qui sont difficiles à manier sur un bateau.

Compte tenu des difficultés présentées par l'utilisation de sources électriques, Boutan et ses compagnons préfèrent utiliser, dans un premier temps, des lampes au magnésium, dont le principe est décrit de la manière suivante :

³² BOUTAN, Louis, « L'instantané dans la photographie sous-marine », *Archives de zoologie expérimentale et générale*, 3^{ème} série, tome 6, No. 1 (1898), p.306.

³³ BOUTAN, op. cit., p.307.

« Un fil de magnésium enroulé sous forme de spirale est placé dans un ballon de verre qui contient de l'oxygène.

Ce ballon, complètement étanche, renferme en outre un fil fin de platine qui est relié aux deux pôles d'une pile.

Quand on établit le courant, le fil rougit, le magnésium s'enflamme et s'oxyde, en produisant une vive lumière, au contact de l'oxygène. »³⁴

L'appareil est composé du globe de la lampe proprement dit, qui renferme la spirale de magnésium et un dispositif d'allumage, et un flacon étanche contenant de l'oxygène, attaché à la lampe et qui permet ainsi au magnésium de s'enflammer. Cette lampe présente cependant de sérieux inconvénients, dont le plus sérieux provient du mode de combustion de la spirale de magnésium. En effet, l'intensité du flux lumineux est variable, en raison des caractéristiques propres au magnésium qui ne se consume pas de manière homogène.

Par la suite, Boutan fait construire un appareil plus simple et plus robuste. La lampe cette fois descend toute allumée sous la mer, et sa combustion est entretenue par une atmosphère contenue dans un réservoir d'air qui communique avec le globe de la lampe elle-même (voir figure 8). Boutan décrit longuement ce dispositif. On retiendra cependant que son maniement est dangereux et que son rendement lumineux demeure assez faible.

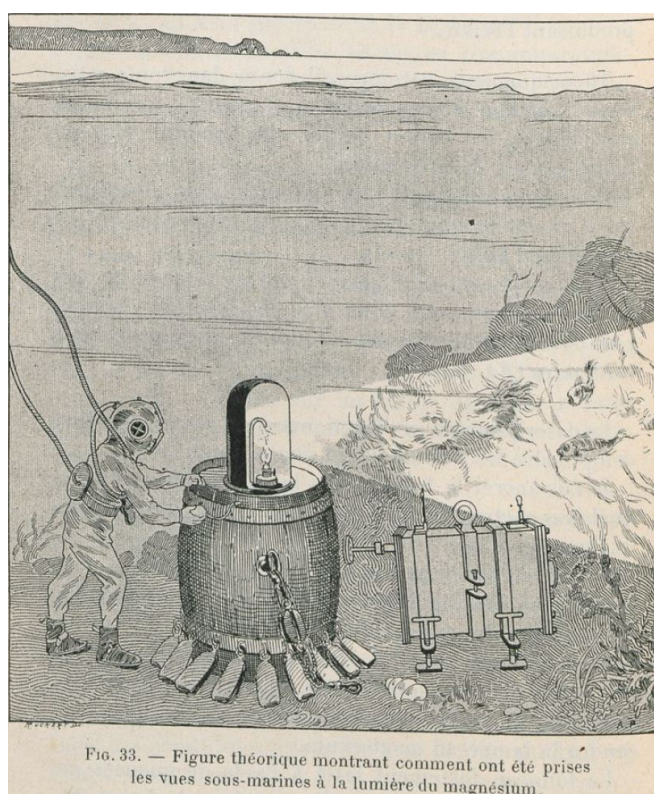


Figure 8 - Lampe au magnésium (*La Photographie sous-marine et les progrès de la photographie*, p. 234)

³⁴ BOUTAN, Louis, « Mémoire... », p. 292.

Boutan attribue d'autre part la qualité médiocre des photographies obtenues par ce procédé à la poussière de magnésie qui se produit à l'intérieur du globe de la lampe.

Boutan se tourne alors vers l'électricité et, grâce à la collaboration d'une entreprise privée, L'Optique, il entreprend avec l'aide de l'ingénieur Chaufour la construction et la mise au point d'appareils avec les ressources de l'atelier de mécanique du Laboratoire Arago.

Deux lampes arc de 20 ampères et une batterie d'accumulateurs (60 en tout, pouvant fournir jusqu'à 25 ampères par heure) seront embarquées à bord d'un des voiliers du laboratoire³⁵.

Les lampes avaient une forme sphérique. L'optique de chaque lampe était composée d'une lentille convergente de 100 mm de diamètre et ayant une focale de 150mm. L'optique était fixée dans le hublot en bronze boulonné sur la sphère ; un réflecteur argenté était disposé en arrière de l'arc.

Après les premiers essais en mer, l'optique sera supprimée car elle « produisait une absorption trop importante » (c'est-à-dire, par conséquent, une diminution importante de l'intensité lumineuse).

Le montage des appareils et les premiers essais en mer auront lieu en août 1899, « sous l'habile direction de M. Chaufour ». L'ensemble représenté par l'appareil photographique et les lampes sous-marines était très imposant. Boutan ne disposait alors que d'un petit voilier, et tout le travail de descente des appareils, dont le poids total représentait plus de 500 kilos, devait s'effectuer à la force des bras. On remarque d'ailleurs que le déclenchement de l'obturateur de l'appareil photographique se fait depuis le bateau. Aucun scaphandrier ne descendra au cours des premières expériences. Par la suite, des photographies seront prises à 50 mètres de profondeur, avec un dispositif perfectionné, toujours télécommandé³⁶.

5. L'avenir de la photographie sous-marine

Le dernier chapitre du livre de Louis Boutan porte ce titre et s'interroge sur les possibles utilisations scientifiques de la photographie des fonds marins et de leurs habitants. Ces techniques lui semblent particulièrement adaptées au repérage d'épaves de navires coulés ou de tout autre objet qu'il conviendrait de localiser avec précision avant d'en réaliser l'exploration.

Mais, en réalité Boutan demeure assez vague sur la question et le chapitre est très court, car l'exploration et les photographies qu'il a réalisées portent au fond sur des sujets limités, ce qui n'a rien de surprenant compte tenu des conditions techniques dans lesquelles elles sont effectuées. Le scaphandrier « pieds lourds », relié à un navire en surface, ne peut se mouvoir librement ni aller bien loin.

Le dispositif de prise de vues lui-même est particulièrement encombrant. Boutan utilise des appareils à plaques de verre et ne semble pas avoir eu connaissance de l'existence de films sur bandes de celluloïd – en tous cas il n'en fait jamais mention comme d'une possible alternative. Ceci est d'autant plus étonnant qu'à la même époque, l'américain Georges

³⁵ Des photographies des lampes et des accumulateurs se trouvent dans *La Photographie sous-marine et les progrès de la photographie*, pp. 241-245.

³⁶ Ibid, Figure 42, p. 261.

Eastman, cherchant une alternative au procédé du collodion humide, commence à expérimenter des plaques sèches recouvertes d'une nouvelle gélatine (bromure d'argent).

En 1888, Eastman lance sur le marché un premier modèle d'appareil portatif, appelé *Kodak N°1*, et dont les images circulaires ont un diamètre de 6,5cm. L'appareil pèse 680 grammes et contient un porte-film en rouleau susceptible d'emporter une bande d'une longueur suffisante pour une centaine d'images. Le succès commercial est immédiat. En 1889, les films sur support papier sont remplacés par le support transparent à base de nitrocellulose mis au point par le chimiste Henry N. Reichenbach³⁷.

L'ère de la photographie pour tous commence. Mais surtout, l'existence d'appareils photographiques de petite taille et relativement légers va transformer complètement le champ de la photographie en permettant une très large documentation du monde contemporain, par des photographes professionnels, certes, mais plus encore par l'ensemble de la population qui accède ainsi, très rapidement, à une forme « d'art moyen », qui ne demande au fond qu'une dextérité toute relative – et qui n'a rien à voir avec la technique du dessinateur et du peintre.

Boutan, cependant, avait-il eu connaissance de l'existence de ces procédés et avait-il eu des doutes concernant leur efficacité ? Rien ne permet de l'affirmer, au vu de l'absence dans ses écrits d'une quelconque référence à des développements techniques ayant eu lieu ailleurs qu'en France.

L'autre limite au travail de Boutan, bien réelle à l'époque, est l'impossibilité pour le scaphandrier de se mouvoir en toute liberté. Pour respirer, le lien avec la surface demeure incontournable et limite les opérations réalisables sous l'eau et la profondeur à atteindre. Cette question pourtant a déjà été l'objet d'une invention, celle de l'ingénieur Benoît Rouqueyrol et du lieutenant de vaisseau Auguste Denayrouse. L'appareil respiratoire qu'ils mettent au point en 1865 préfigure déjà ce que sera le scaphandre autonome à détendeur automatique.

Louis Boutan et son frère Auguste vont cependant être amenés à travailler avec la Marine Nationale, à partir de 1915, dans le cadre de l'effort de guerre. Ils mettront alors au point un modèle de scaphandre autonome, apparemment fonctionnel, mais dont on ne connaît pas la postérité. Cet équipement sera-t-il utilisé par la Marine ? Avait-il dépassé le stade de prototype ?³⁸

La photographie des fonds marins proches de Banyuls-sur-Mer par Louis Boutan demeure cependant le premier travail réaliste de représentation des fonds marins, et son utilisation des techniques de l'époque – particulièrement de l'éclairage électrique – aura une influence sur les cinéastes et plongeurs du 20^{ème} siècle. Cousteau lui-même, et Dimitri Rebikoff, n'ont pas manqué de le citer comme un précurseur et un inspirateur.

Rahmy ELKAYS

Mes remerciements à M. Vincent LAUDET, Directeur de l'Observatoire Océanologique de Banyuls-sur-Mer,

À Mme Sandrine BODIN, Responsable de la Bibliothèque de l'Observatoire,

Et Mme Véronique ARNAUD, Bibliothécaire, pour leur aide précieuse et leurs conseils.

³⁷ EDER, Josef Maria, *History of Photography*, Dover Publications, New York, 1945, p. 489.

³⁸ BOUTAN, Louis et Auguste, *Le scaphandre autonome à respiration normale*, 1919. Document conservé à la Bibliothèque du Laboratoire Arago.



Une des premières photographies sous-marines
prise par L. Boutan en 1898 à la Baie des Elmes

© copyright Archives Photographiques du Laboratoire Arago

17 juin 1893.

Arrivé à Bangor à la fin de Mars, j'ai eu la bonne fortune d'assister à l'inauguration du "Roland", le beau vapeur qui est appelé à rendre au laboratoire Arago tant de précieux services.

Encouragé par M. de Lacaze Duthiers j'ai essayé ensuite de prendre une série de photographies sous marines à l'aide d'appareils spéciaux que j'avais fait construire en vue de cette étude.

Tout d'abord les clichés ont été pris à une faible profondeur sous l'eau de la mer, puis à l'aide du scaphandre j'ai pu opérer sous des couches liquides de plusieurs mètres d'épaisseur.

En dernier lieu, grâce à une lampe photo-sous-marine construite avec les seules ressources du laboratoire, il m'a été possible d'éclairer artificiellement le fond. Je crois qu'il m'aurait été impossible de mener bien cette étude dans un laboratoire où je n'aurais pas eu à ma disposition un ensemble aussi remarquable de moyens de travail.

LABORATOIRE
ARAGO
PROPRIÉTÉ
PUBLIQUE

17 Juin 1893

Arrivé à Banyuls à la fin de mars, j'ai eu la bonne fortune d'assister à l'inauguration du « Roland » le beau vapeur qui est appelé à rendre au laboratoire Arago tant de précieux services.

Encouragé par M. de Lacaze Duthiers j'ai essayé ensuite de prendre une série de photographies sous marines à l'aide d'appareils spéciaux que j'avais fait construire en vue de cette étude.

Tout d'abord les clichés ont été pris à une faible profondeur au dessous du niveau de la mer, puis à l'aide du scaphandre, j'ai pu opérer sous des couches liquides de plusieurs mètres d'épaisseur.

En dernier lieu, grâce à une lampe photo-sous marine construite avec les seules ressources du laboratoire, il m'a été possible d'éclairer artificiellement le fond. Je crois qu'il m'aurait été impossible de mener à bien ce travail dans un laboratoire où je n'aurais pas eu à ma disposition un ensemble aussi considérable de moyens de travail.

L. Boutan

Extrait du livre d'or intitulé : Station Maritime de Banyuls-sur-Mer -
Laboratoire de Zoologie expérimentale - Laboratoire Arago - [Vol 2]

Collection « Laboratoire Arago » (© UPMC-BUPMC)

8 Avril

Descentes, Scaphandre

Sous la direction de M. Boustan

Une série d'élèves ont descendu en scaphandre dans le
minier de laboratoire pour une profondeur de 1 mètre à 1 m. 50.
Le fond choisi était une plage de sable interrompue de
bois à bois par des paires de tortues.

Le séjour de chacun des deux scaphandriers n'a pas
dépassé ou fait de l'eau une dizaine de minutes.

LABORATOIRE
DES SCIENCES
NATURELLES
MUSEUM D'ART ET D'HISTOIRE
NATURELLES
PARIS

Robert
Stevenson.
J. Liroux
G. Serrier

11000

Son utilisation dans les Recherches scientifiques

Bibliothèque
Robert
Alphonse
J. Girard
E. Berrier
Hervé
Stevenson
S. Proux
P. Quitel

LABORATOIRE
ARCHIVES
PROPRIÉTÉ
PUBLIQUE

BIBLIOGRAPHIE :

Sources de et sur Louis Boutan :

BOUTAN (Louis). -

Mémoire sur la photographie sous-marine.

Archives de zoologie expérimentale et générale, 3ème série, vol. 1, pp. 281-324, 4 fig., pl. 18. (1893)

BOUTAN¹ (Louis). -

Sur le développement de l'Halotide et sur l'utilité du scaphandre dans les recherches zoologiques.

Compte rendu - Association française pour l'avancement des sciences, 21ème session (Pau, 1892), 2ème partie, pp. 522-525. (1893)

BOUTAN (Louis). -

Sur la photographie sous-marine.

Comptes rendus hebdomadaire des séances de l'Académie des sciences, tome 117, n° 5, pp. 286-289. (1893)

BOUTAN (Louis). -

Emploi du scaphandre pour les études zoologiques et la photographie sous-marine.

Revue scientifique (revue rose), 4ème série, tome 1, n° 16, pp. 481-490. (1894)

BOUTAN (Louis). -

Essais de photographie sous-marine.

Bulletin de la Société française de photographie, 2ème série, tome 10, N° 3, pp. 65-72. (1894)

BOUTAN (Louis). -

L'instantané dans la photographie sous-marine.

Archives de zoologie expérimentale et générale, 3ème série, vol. 6, pp. 299-330, 8 fig., pl. 20-23. (1898)

BOUTAN (Louis). -

L'instantané dans la photographie sous-marine.

Comptes rendus hebdomadaire des séances de l'Académie des sciences, tome 127, n° 19, pp. 731-733. (1898)

BOUTAN (Louis)

La photographie sous-marine et les progrès de la photographie. -

Paris : Schleicher. - 332 p., 52 fig., 12 pl.

(Analyse de l'ouvrage publiée dans la *Revue scientifique (revue rose)*, 4ème série, tome 15, n° 14, p. 434, 6 avril 1901).

F.C. -

Le scaphandre autonome.

La Nature, Revue des Sciences et de leurs applications à l'industrie, 52ème année, 1^{er} semestre, n° 2613, pp. 275-279, 7 fig. "scaphandre autonome Boutan". (1924)

BOUTAN (Louis). -
La photographie sous-marine et les progrès de la photographie. -
Paris : Ed. Jean-Michel Place. - VI-332 p.
(*Résurgences - photographie*).
(Reprod. de l'éd. publiée en 1900 par Schleicher frères, Paris).

BOUTAN (Louis) et BOUTAN (Auguste).
Scaphandre autonome à respiration normale (1919)

FELICI (Arnaud). –
Vie et œuvre de Louis Boutan (1859-1934). –
Mémoire de Maîtrise,
Sous la direction de Monsieur Cyr Descamps.
Perpignan, novembre 2001.

POHL (Lucien). -
Louis Boutan.
Bulletin de la Société d'océanographie de France, 14^e année, n° 78, pp.
13 72-13 75, portrait. (1934)

DI MEGLIO (Fred). -
Louis Boutan. Le père de la photographie sous-marine.
Subaqua, n° 171, pp. 46-49. (2000)

Sources sur l'image sous-marine :

COHEN, E.
La photographie instantanée des poissons en
mouvement dans l'eau.
La Nature, Revue des sciences et de leurs applications,
t.2, v.17, n.838, p.51-54. (1889).

COUSTET (Ernest).
La photographie sous-marine,
La Nature, Revue des sciences et de leurs applications, 49^{ème} année, n°2465,
pp. 344-348 (1921)

IVANOFF (Alexandre)
Progrès récents de la photographie sous-marine,
La Nature, Revue des sciences et de leurs applications, 81^{ème} année, n° 3221,
pp. 257-261. (1953)

MARTINEZ (Alejandro)
“A souvenir of undersea landscapes:” *underwater
photography and the limits of photographic visibility, 1890-1910*. História,

Ciências, Saúde – Manguinhos, Rio de Janeiro, v.21, n.3, jul.-set. 2014.
Available at: <http://www.scielo.br/hcsm>.

REBIKOFF (Dimitri)
History of Underwater Photography,
Annual Convention of the American Society of Photogrammetry,
Washington, D. C. (1965)

WEINBERG (Steven), DOGUE (Philippe Louis Joseph),
NEUSCHWANDER (John). -
100 [Cent] ans de photographie sous-marine. -
Saint-Chéron: Alain Schrotter éditions. - [90 p.]. (1993)

Sources sur Henri de Lacaze-Duthiers et le Laboratoire Arago :

PRUVOT, (Georges), « Henri De Lacaze-Duthiers », *Archives de Zoologie Expérimentale et Générale*, 3^{ème} série, tome 10, 1902.

DAYRAT (Benoit), « Henri de Lacaze-Duthiers and the creation of the Laboratoire de Zoologie Expérimentale, Roscoff, France », *Revue d'Histoire des Sciences*, 2016/2 Tome 69, pp. 335-368

Vie et Milieu, Volume 32, n°4 – Décembre 1982 : Centenaire du Laboratoire Arago /
Laboratoire Arago, 66650 Banyuls-sur-Mer