

MÉMOIRE DE MASTER

SPÉCIALITE CINÉMA, PROMOTION 2024

SOUTENANCE DE JUIN 2024

LA PRISE DE VUE SOUS-MARINE AU CINÉMA

PIERRE BRUNON

DIRECTION EXTERNE : JACQUES BALLARD

DIRECTION INTERNE : DAVID GRINBERG

PRÉSIDENTE DU JURY CINEMA
ET COORDINATRICE DES MÉMOIRES : GUISY PISANO

CE PROJET EST ACCOMPAGNÉ DE LA PARTIE PRATIQUE INTITULÉE
« REINE DES ABYSSES »

**SOUS
EXPOSITION**



RVZ
LOCATION



subchandlers.com

IMPACT
ÉPARGNET

Nauticam
innovation underwater

MÉMOIRE DE MASTER

SPÉCIALITE CINÉMA, PROMOTION 2024

SOUTENANCE DE JUIN 2024

LA PRISE DE VUE SOUS-MARINE AU CINÉMA

PIERRE BRUNON

DIRECTION EXTERNE : JACQUES BALLARD

DIRECTION INTERNE : DAVID GRINBERG

PRÉSIDENTE DU JURY CINEMA
ET COORDINATRICE DES MÉMOIRES : GUISY PISANO

CE PROJET EST ACCOMPAGNÉ DE LA PARTIE PRATIQUE INTITULÉE
« REINE DES ABYSSES »

SOUS
EXPOSITION



RVZ
LOCATION



subchandlers.com

IMPACT
ÉPARGNE

Nauticam
innovation underwater

La prise de vue subaquatique demande beaucoup de préparation, de temps et de moyens. La concrétisation de ce projet de mémoire n'aurait pas été possible sans l'extrême bienveillance et les efforts de toutes les personnes qui m'ont accompagné, soutenu, conseillé durant ces deux dernières années et qui m'ont ouvert les portes du monde sous-marin.

Je tiens à remercier chaleureusement

Jacques Ballard, David Grinberg, Pascal Martin, David Foquin, Mathieu Lamand, Claire La Sirène, Chloé Benoit, Dorian Maigrot, Jean Pierre Abeillira, Denis Lagrange, Pawel Achtel, Nâys Baghai, Léo Lachot, Maryline Touret, Lionel Pivert, Thierry Burdin, Pierre Letailleur, Philippe Dufour, Julianna Bnagy, Catherine Vasselin et Mathias Vasselin, Pascale Cetre, Baptiste Baltz, Christophe Fournier, Marie José Faigniez, Denis Pierre Guidot, Laurent Montagnié, Max Decamps, Cédric et Isabelle Brunon, Maddie Fraysse, Laurent Stehlin, Franck Jouanny, Giusy Pisano, Antoine Bertron, Alizée Gousset, Christophe Caudroy, Pierre Chevrin, Kateryna Soroka, Ghassan Koteit et Agnes Hominal

Également ce mémoire est constitué d'une partie pratique, je voulais remercier tous les partenaires qui ont permis de rendre les multiples essais possibles



RÉSUMÉ

De l'histoire des techniques aux défis modernes, en passant par les solutions créatives en décors naturels et artificiels, ce mémoire offre une vision complète de la prise de vue sous-marine au cinéma en ayant comme problématique « Comment les contraintes du milieu sous-marin influencent-elles les cinéastes dans leurs ambitions de mise en scène ? »

Dans une première partie nous verrons l'histoire des techniques sous-marines. Le cinéma et l'exploration sous-marine ont des origines communes, remontant aux premières représentations des mondes sous-marins avant 1920. Au début du XXème siècle les premières prises de vue sous-marines en aquarium voient le jour. Les années 1930 et 1940 marquent le début de la plongée moderne et les premiers films sous-marins de pionniers comme Jacques-Yves Cousteau et Hans Hass. Les années 70 et 80 sont marquées par une explosion des techniques cinématographiques sous-marines, avec des réalisateurs comme Spielberg, Cameron et Luc Besson qui ont intégré ces techniques dans leurs œuvres, rendant le monde sous-marin plus accessible au cinéma.

Dans la deuxième partie, le mémoire traite des effets de l'environnement aquatique sur le corps humain et les images cinématographiques. La plongée sous-marine impose des limites de sécurité qui se confrontent aux ambitions des réalisateurs. Les contraintes physiques incluent entre autres la réfraction de l'eau, qui affecte la qualité optique des images, et l'absorption, qui influence le rendu des couleurs. Pour étudier la réfraction, des essais en piscine seront réalisés pour comparer les différentes solutions techniques existantes à l'heure actuelle qui sont utilisés en tournage de cinéma. Pour mesurer l'absorption de l'eau, des essais à l'aide d'une mire de couleur seront réalisés en décor naturel.

Dans sa troisième partie, consacrée au milieu naturel, le mémoire explique les principes majeurs qui se dresse face aux opérateurs qui souhaitent filmer en pleine mer ce qui les poussent à trouver des solutions esthétiques inédites. Les décors sous-marins suivent des lois radicalement différentes de celles du monde terrestre, influençant la composition des images. Nous traiterons ainsi de la préparation du matériel, du travail de lumière naturelle et de l'apport de la lumière artificiel. La troisième partie est l'occasion de comparer les différentes solutions optiques mais cette fois en milieu naturel. Enfin cette partie du mémoire sera l'opportunité de rencontrer Philippe Ros pour un entretien autour du travail en milieu naturel pour Océans.

Dans sa dernière partie consacrée au décor artificiel, le mémoire présentera la partie pratique de mémoire réalisée à la fosse d'Argenteuil en partenariat avec la Sous-Exposition qui cherche à illustrer les possibilités esthétiques de la prise de vue en studio. Au travers d'un entretien avec Jacques Ballard autour de son travail pour « The Deep House » nous verrons que la fabrication d'un décor immergé, apporte de nouvelles possibilités de mise en scène mais aussi de nouvelles contraintes, telles que la corrosion des matériaux et des défis de communication à résoudre. Enfin nous reparlerons d'Océan avec Philippe Ross pour aborder la recreation d'un milieu naturel aquatique en studio.

Mots Clés

Prise de vue sous-marine

Cinéma

Eau

Techniques

Aquatique

Phénomènes optiques

Milieu naturel

Lumière naturelle

Projecteurs

Studio

SOMMAIRE

PARTIE 1. L'HISTOIRE DES TECHNIQUES

CHAPITRE 1 : LA DÉCOUVERTE DU MONDE SOUS-MARIN AU CINÉMA

CHAPITRE 2 : SCAPHANDRE AUTONOME ET CINÉMA, UNE HISTOIRE COMMUNE

CHAPITRE 3 : LES NOUVELLES RECHERCHES ESTHÉTIQUES

CHAPITRE 4 : LE CINÉMA DE JAMES CAMERON

PARTIE 2. LES CONTRAINTES PHYSIQUES ET PHYSIOLOGIQUES

CHAPITRE 1 : LES CONTRAINTES PHYSIOLOGIQUES

CHAPITRE 2 : LA RÉFRACTION

CHAPITRE 3 : LES ESSAIS OPTIQUES SOUS-MARINS

CHAPITRE 4 : L'ABSORPTION DE L'EAU ET SON INFLUENCE SUR LE RENDU DES COULEURS

CHAPITRE 5 : DIFFUSION DE L'EAU ET SES IMPACTS ESTHÉTIQUES

PARTIE 3. LE DÉCOR NATUREL

CHAPITRE 1 : LA PRÉPARATION D'UN CAISSON SOUS-MARIN

CHAPITRE 2 : DES DÉCORS QUI OBEISSENT A DES LOIS DIFFÉRENTES DU MONDE TERRESTRE

CHAPITRE 3 : COMPARATIFS ARGENTIQUE/ NUMÉRIQUE A L'AIDE DU NIKONOS

CHAPITRE 4 : L'ÉCLAIRAGE EN SURFACE SUR OCÉANS

PARTIE 4. LE DÉCOR ARTIFICIEL

CHAPITRE 1 : ANALYSE DE MA PARTIE PRATIQUE DE MÉMOIRE.

CHAPITRE 2 : LE DÉCOR IMMÉRGÉ DE « THE DEEP HOUSE »

CHAPITRE 3 : LE MIXE DÉCOR NATUREL ET ARTIFICIEL AVEC OCÉANS



INTRODUCTION

« Dans les ténèbres, l'imagination travaille plus activement qu'en pleine lumière » Kant

Dans la carrière d'un directeur de la photographie, il n'est pas rare de rencontrer un projet qui nécessite de filmer des personnages dans un milieu aquatique. Si la demande de la mise en scène est de filmer un personnage en surface il est parfois possible de tourner à la surface de l'eau, grâce à un Splashbag par exemple.

Mais qu'en est-il des projets qui nécessitent d'aller plus profond ? Étudiant en cinéma et plongeur depuis mon enfance, j'ai toujours rêvé de pouvoir un jour m'intéresser aux mondes sous-marins par l'intermédiaire du cinéma. Mais, force est de constater que la prise de vue subaquatique est mal connue et les contraintes qu'elle implique réellement ne sont pas toujours comprises. Or, il est important de connaître les limitations d'un sujet pour pouvoir au mieux s'en affranchir et proposer des idées nouvelles de mise en scène.

Ce projet de mémoire est étroitement lié à mon projet de mobilité internationale. En effet, pendant la période de juillet à octobre 2023, je suis partie en Australie pour être formée à l'Australian Film Television and Radio School de Sydney pour me former au près des meilleurs chefs opérateurs spécialisés en prise de vue sous-marine tel que Nays Baghai, ancien étudiant de l'école. La proximité du site avec les clubs de plongée m'a permis de pouvoir m'entraîner sous l'eau plusieurs fois par semaine, et d'échanger avec de nombreux cinéastes, vidéastes et photographes. Pendant ce voyage, j'ai fait la rencontre de Pawel Ahtel qui m'a aiguillé dans mes recherches et mes essais pour le mémoire. Les images sous-marines qui illustrent mes travaux ont été prises à Sydney et à Wollongong, j'ai également tourné des images à Porquerolles en France en complément de celles prises en Australie.

La problématique de mon mémoire sera ainsi la suivante : **Comment les contraintes du milieu sous-marin influencent-elles les cinéastes dans leurs ambitions de mise en scène ?**

Dans une première partie nous étudierons l'Histoire des techniques qui ont permis de rendre la prise de vue subaquatique possible. Nous verrons que le cinéma et l'exploration sous-marine ont une histoire commune, ce sont deux disciplines qui sont nées au XIXe siècle et qui se serviront de l'une pour l'autre pour avancer et repousser leurs limites respectives.

Dans la deuxième partie, nous étudierons les contraintes physiologiques et physique. Comment la présence de l'eau affecte-t-elle le corps et les images ? Nous verrons que la plongée sous-marine implique d'embarquer un matériel conséquent avant même d'utiliser une caméra. Respirer de l'air comprimé peut avoir des impacts sur la santé ce qui impose des règles de sécurité dans le tournage qui peuvent entrer en conflit avec les ambitions de mise en scène. Nous étudierons également dans un second temps les phénomènes physiques qui influencent la prise de vue : la réflexion, la réfraction, l'absorption et la diffusion de la lumière par l'eau.

Dans la troisième partie, nous étudierons les décors naturels. Par le biais d'un échange avec Philippe Ros, directeur de la photographie du film Océans, nous détaillerons les solutions

innovantes qui ont été trouvées pour transformer les techniques et les outils du cinéma traditionnel afin qu'elles puissent être utilisées au cœur d'un milieu naturel.

Enfin, nous aborderons le tournage en décor artificiel, j'utiliserais ma partie pratique de mémoire pour simuler les abysses dans une fosse prévue pour la plongée. Ce dispositif me permettra d'analyser les possibilités esthétiques du studio en sous-marin. Nous aurons ensuite un entretien avec Jacques Ballard, directeur de la photographie, pour parler de son travail sur « the Deep house », film qui impliquera la construction en bassin d'une maison immergée. Nous terminerons le mémoire en abordant avec Philippe Ros l'utilisation des bassins reproduisant le milieu naturel. Sur Océans des aquariums ont été utilisés pour filmer des espèces inaccessibles en décor naturel et cela impliquait de résoudre des problématiques à la lumière et au cadre.

La prise de vue sous-marine est un sujet extrêmement riche et vaste. Dès que l'on répond à une question, dix autres arrivent à leur tour ! Il était impossible de couvrir la totalité d'un sujet aussi si vaste mais mon objectif est de donner une vision d'ensemble de ce qui est possible en prise de vue sous-marine à l'heure actuelle.



PARTIE 1.

L'HISTOIRE DES
TECHNIQUES

CHAPITRE 1 : LA DÉCOUVERTE DU MONDE SOUS-MARIN AU CINÉMA

Les mythes et légendes

Pendant le XIXe siècle et avant l'arrivée du cinéma, le monde sous-marin qui était jusqu'alors un territoire complètement inconnu, empreint de mythes et de légendes. On représentait la mer et, par extension les fonds sous-marins sur des toiles peintes. On inventa toute sorte d'attraction à destination du public pour animer ces paysages lointains : Nausorama, Navalorama, Mareorama et l'on organisait des spectacles de lanterne magique¹. Cet ancêtre du cinéma permettait de projeter des images peintes à l'huile sur des plaques en verre. Certains modèles disposaient de deux objectifs, on pouvait ainsi créer des fondus enchaînés entre deux images et changer discrètement de plaque sans devoir interrompre la projection. Les « lanternistes » utilisaient cet outil pour faire découvrir au public les fonds océaniques et y raconter des histoires. Dans la plaque photographique « Rocked in the cradle of the deep » de James Bamford

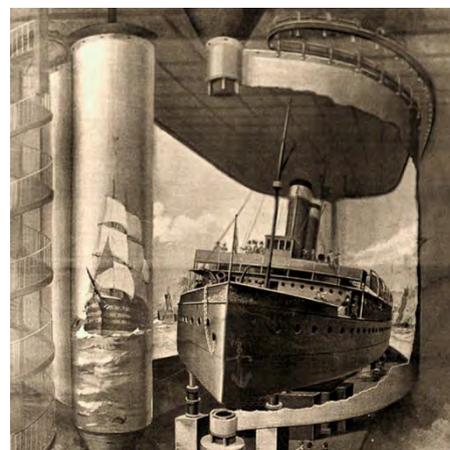


Figure 1 : Maréorama de l'exposition universelle, une toile représentant un paysage défile autour d'un bateau posé sur des pistons hydrauliques permettant de recréer le mouvement de roulis et de tangage du navire. Crédit : tribord-amure.fr

produite à la fin du XIXe siècle, on peut voir une représentation d'un marin noyé au fond des mers, avec un ange qui est descendu jusqu'à lui. Cette plaque mêle peinture et photographie, pour créer l'illusion de la profondeur. Pour représenter la froideur de l'eau trouble, l'auteur a gravé des rayures qui créent de la texture.²

Néanmoins, avec l'arrivée de la plongée en scaphandre vers 1840 et des premiers aquariums, les Hommes font la connaissance de ce nouvel univers à explorer. En 1867 ouvre au Trocadéro à Paris le premier aquarium ouvert au public. Les espèces marines sont ramenées sur la terre ferme et deviennent accessibles aux visiteurs. Étienne Jules Marey utilise alors un aquarium pour représenter le mouvement d'une raie grâce à une invention révolutionnaire, la chronophotographie. Il sera ainsi en mesure de capturer l'insaisissable mouvance de la mer, avec la série de photographie intitulée « la vague » en 1891, mais ce seront les frères lumières qui seront les premiers à réussir à projeter la mer en mouvement face à un public dans le film « baignade en mer » lors de leur première projection publique en 1895 à Lyon. Le cinématographe est né et, avec lui, s'ouvre de nouvelles possibilités de représenter de raconter des histoires autour des mondes aquatiques.

¹ (Collectif, 2023, p. 52)

² (Collectif, 2023, p. 63)

Très vite, les premiers cinéastes, nourris par les aventures des premiers explorateurs sous-marins, vont essayer de trouver des astuces pour représenter des histoires subaquatiques au grand écran. Les aquariums vont être utilisés de manière innovante pour représenter les animaux marins à l'écran sans avoir besoin d'immerger la caméra.



Figure 2 : Photogramme du film "Visite sous-marine du Maine", on peut voir les poissons de l'aquarium passer au premier plan
Crédit : mubi.com

Le cinéaste qui fera les premières représentations du monde sous-marin sera Georges Méliès avec en 1898 « Visite sous-marine du Maine » où des scaphandriers explorent l'épave très récente d'un cuirassé. Pour y parvenir, il va placer un grand aquarium entre la caméra et les acteurs avec en fond un décor peint représentant les fonds marins. Le résultat est très convainquant pour l'époque et il utilisera à nouveau le procédé pour les films suivants. Ainsi, « Le voyage dans la lune » de 1902 est un film qui propose au spectateur à la fois un voyage dans la lune mais aussi un voyage sous la mer où le spectateur part à la rencontre des sirènes. Ces premiers

cinéastes du XX^e siècle participeront à faire émerger l'idée que l'océan, tout comme l'espace, sont de nouveaux territoires à conquérir, en repoussant les limites de l'imagination et de la science. Ils seront très inspirés par les gravures du monde sous-marin du siècle précédent dans leurs compositions et leurs sujets fantastiques autour de la mer.³ La mer est un territoire plein de dangers, méconnu mais qui peut devenir, grâce au progrès techniques, un lieu de voyage et d'aventure. Parmi les premiers films, on peut citer également le « Voyage original » de Segundo de Chomon datant de 1908 nous racontant l'histoire d'un aéronef qui à la suite à une avarie, chute du ciel et plonge dans les abysses. Les passagers se retrouvent confrontés à des créatures marines. Ici pas encore de vrais décors mais des toiles peintes et des acteurs costumés pour interpréter les monstres des profondeurs.⁴

Les films sous-marins peuvent nous aider à sortir d'une vision anthropocentrée du monde, Le film « l'Hippocampe » de Jean Painlevé datant de 1934 est un bel exemple de son univers poétique et surréaliste. Filmé en studio avec un aquarium, les animaux sont filmés et étudiés avec grande précision dans de multiples films didactiques. On commence à mieux comprendre ces créatures si différentes de nous. Par ses ambitions de mise en scène, Jean Painlevé rêve d'aller plus loin : partir avec une caméra dans un véritable décor naturel sous-marin.

³ (Collectif, 2023, p. 38)

⁴ (Collectif, 2023, p. 103)

Les premières véritables prises de vue sous-marine

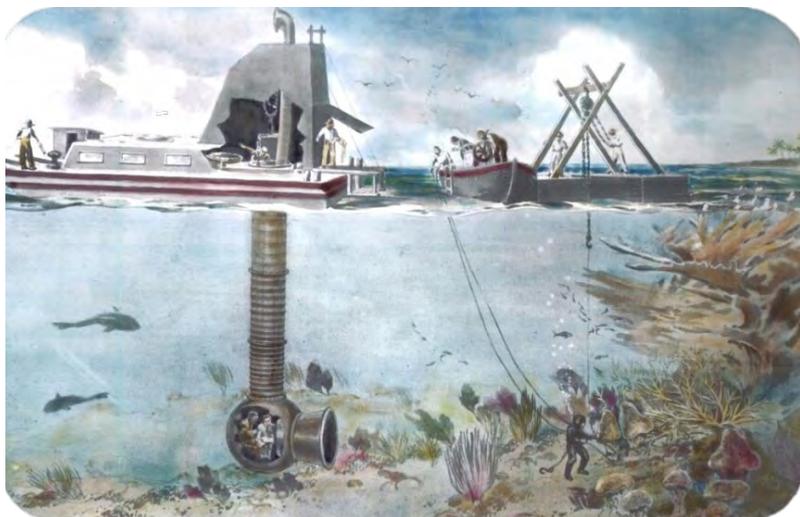


Figure 3 : Le Williamson Tube Crédit : WLRN Public Media

En 1893, le biologiste et photographe Louis Boutan crée la première photographie sous-marine à l'aide d'une boîte étanche créée avec son frère Auguste Boutan, de l'École Centrale. Il effectue plusieurs essais avant de réaliser le portrait de l'océanographe et biologiste Émile Racovitza, qui est resté immobile sous la surface pendant 30min pour permettre l'exposition de la plaque. Il écrira un livre en 1900 sur ce sujet intitulé « La photographie sous-marine et les progrès de la photographie ».

Pour le cinéma et la capture d'image animée, il faudra attendre que les frères John Ernest et Georges Williamson inventent en 1913 le Williamson Tube⁵, appelé également la photosphère. Il s'agit d'un tube en toile imperméabilisée et renforcée de cercles en acier⁶ accessible depuis la coque d'un petit bateau qui descend à quelques mètres sous la surface et qui se termine par une boule en acier de quatre tonnes disposant d'une vitre résistante à la pression de l'eau et pouvant contenir une personne qui peut s'installer sur un siège en toile. Pour tirer profit de leur invention, les frères proposent à des curieux de venir s'installer dans la sphère pour peindre, photographier ou pour simplement admirer le fond marin, ils vendront même des cartes postales ! Les premières photos datent de 1913 et il ne faudra pas attendre longtemps pour qu'ils aient l'idée géniale de faire venir un caméraman, Carl Louis Gregory (qui devient le premier cadreur sous-marin de l'Histoire) pour tourner les premières véritables prises de vues subaquatiques pour le cinéma. En 1914, ils tournent leur premier film « The Williamson Submarine Expedition » et en 1916, ils s'associeront avec Stuart Paton pour réaliser le film « 20000 lieues sous les mers ». ⁷ Au travers de cette « magic window » les spectateurs des salles de cinéma découvrent les scaphandriers explorant le monde et trouvant des bouteilles de vin dans une épave avant de se faire attaquer par une pieuvre géante, sans doute le premier animatronique de l'histoire.

Avec la création des palmes de natation par François Louis de Corlieu en 1914 et des lunettes Fernex en 1920 par Maurice Fernex, une nouvelle discipline voit le jour dans la

⁵ (Litchen, 1979)

⁶ (Collectif, 2023, p. 141)

⁷ (Collectif, 2023, p. 142)

première moitié du XXe siècle : l'apnée. L'Homme est maintenant en mesure de se mouvoir et de voir sous l'eau. **Hans Hass**, un réalisateur Autrichien qui découvre l'apnée et la chasse sous-marine sur la côte d'azur invente et fabrique lui-même en 1939 un caisson qu'il commercialisera dans les années 60, le Rolleimarin qui permet d'abriter une 16mm Zeiss Movikon. Véritable pionnier de la discipline, il autoproduit et réalise le premier court-métrage sous-marin en couleur « Pirsch unter Wasser » (La chasse sous-marine en français) en 1939



Figure 4 : Hans Hass sur le tournage de « Pirsch unter Wasser »

CHAPITRE 2 : SCAPHANDRE AUTONOME ET CINÉMA, UNE HISTOIRE COMMUNE

Le travail de Jacques-Yves Cousteau

Depuis le début du XIXe siècle la plongée se pratiquait à l'aide d'un scaphandre à casque surnommé « pieds lourds » car les scaphandriers utilisaient des semelles de plomb. Ce dispositif, du fait de son encombrement, limite les possibilités d'une prise de vue sous-marine avec un opérateur plongeur. C'est alors qu'en France arrive dans les années 30 un célèbre océanographe, qui reprendra d'ailleurs le bonnet rouge des scaphandriers et qui utilisera le cinéma comme un moyen de mettre en avant de nouvelles solutions pour rendre la plongée plus sécurisante et accessible à tous. Je veux parler bien sûr de Jacques-Yves Cousteau.

Ses premiers contacts avec le monde sous-marins naissent d'une rencontre avec Philippe Tailliez, apnéiste, qui lui fait découvrir en 1936 à l'aide des lunettes Fernez le monde sous-marin.

En 1938, Philippe Tailliez rencontre lors d'une chasse sous-marine un autre chasseur du nom de Frédéric Dumas, qu'il s'empresse de présenter à Cousteau. Tous les trois formeront un trio qui deviendra célèbre, les mousquetaires de la mer, « les mousquemers »

Entre 1939 et le 1942, c'est le début de leurs expérimentations. Ils vont utiliser les palmes de natations de Louis de Corlieu et Cousteau va faire la rencontre d'un inventeur de génie : Yves le Prieur, qui est à l'origine de la plongée en scaphandre autonome.

En effet, en 1926, Yves le Prieur et Maurice Fernez ont l'idée d'utiliser une bouteille d'air comprimé portable qu'un plongeur peut embarquer sous l'eau pour respirer. Il faut néanmoins que le plongeur ouvre l'arrivée d'air manuellement à chaque inspiration. Très proche du milieu du cinéma, Yves le Prieur est également l'inventeur du procédé de la transparence qui permis (sans son accord) de réaliser les effets visuels de King kong. Persuadé qu'à l'avenir, la plongée ne sera plus un métier dangereux mais un sport qui pourra même devenir un loisir, Yves le Prieur ouvre en 1935 le premier club de plongée au monde et y fait passer le baptême de plongée de Jean Cocteau et de son ami Jean Painlevé. Dans les journaux de l'époque, on peut voir sur les photographies prises à l'ouverture du club que Jean Painlevé tient entre ses mains un prototype d'une caméra Debrie



Figure 5 : Jean Painlevé muni du scaphandre autonome du commandant Yves Le Prieur et d'une caméra Debrie dans son caisson étanche - Club des Sous-l'Eau, Saint-Raphaël, 1935. Crédit : Ouest-France

35mm dans son caisson étanche. Néanmoins, les essais filmés sous l'eau de Jean Painlevé ne seront pas concluants⁸.

À la fin des années 30, Jacques-Yves Cousteau fait la rencontre de son voisin cinéaste, Marcel Ichac, tous les deux se lancent le défi de faire découvrir au public des salles obscures leurs disciplines respectives (Marcel la haute montagne et Jacques Yves les mondes sous-marins). C'est donc en 1942 que Cousteau se lance dans son aventure cinématographique. Seulement, problème : en pleine seconde guerre mondiale, impossible de trouver du film. Avec sa femme Simone, Cousteau va écumer les magazines pour trouver des pellicules 24x36 qu'ils vont coller bout à bout sous une couverture en guise de chambre noire. Il faut ensuite une caméra, il va prendre une Kinamo Zeiss 35 mm avec un diaphragme à grande ouverture f1.5. Il ne reste maintenant qu'à réussir à créer un caisson étanche pour y placer la caméra. Il demande alors à son ami Léon Vêche, ingénieur mécanicien, de fabriquer le tout premier caisson étanche fonctionnel français pour une caméra. Léon y place des commandes de mise au point et d'ouverture du diaphragme à l'aide de presses étoupes et le déclenchement s'effectue à l'aide d'une commande souple⁹.



Figure 6 : Appareil photo Zeiss Ikon Kinamo 35 mm.
Crédit : Ebay

À l'aide de cet outil Cousteau et les mousquemers réalisent un premier court-métrage en apnée « Par 18 mètres de fond », le film est un succès sous l'occupation allemande. Toujours en 1942, Cousteau fait la rencontre de Émile Gagnan¹⁰ et tous deux ont l'idée d'améliorer le système de plongée d'Yves le Prieur. Ils inventent le détendeur à la demande, le « Cousteau Gagnant » dont le principe est toujours d'actualité. Cet outil permet de détendre l'air comprimé de la bouteille pour pouvoir respirer à la demande sans effort. Le détendeur fonctionne de façon automatique, ce qui facilite grandement la pratique de la plongée en libérant les deux mains. Cette liberté leur permet de tourner le premier film avec un opérateur plongeur : « Épaves » en 1943. Pour ce film, il crée la caméra fusil, montée sur crosse. C'est une caméra pressurisée, ce qui permet de prévenir les fuites par l'apparitions de bulles sous l'eau. Cousteau choisi de ne pas monter de viseur sur le caisson, préférant la caméra tenue à vue, le cadreur adoptant le comportement d'un chasseur d'image. Par la suite les mousquemers travaillerons avec la marine et créeront un groupe de recherche sous-marine.

En 1942, Hans Hass devance les mousquemers, en réalisant en apnée le premier long métrage subaquatique « Menschen unter haien » (Des hommes parmi les requins) qui est un documentaire décrivant la mer Égée et ses espèces marines. En 1950, il est sera primé à la Biennale de Venise pour son film en noir et blanc « *benteuer im Roten Meer* » (Aventure en mer Rouge) ou on le voit explorer en apnée l'un des plus beau récifs coralliens du monde. Le

⁸ (GUILLOT., 2023)

⁹ (BARBÉ, 1997)

¹⁰ (Marine Nationale, 2024)

succès de Hans Hass motive Cousteau à réaliser lui aussi un long-métrage mais qui, cette fois-ci, sera en couleur !

Le monde du silence

En 1950 Cousteau vient de faire des essais réussis en Afgacolor mais il lui faut des moyens et, pour cela, il doit convaincre des mécènes : 19 juillet 1950, à Nice, le millionnaire Loel Guinness lui achète le navire océanographique la Calypso avec lequel il peut parcourir le globe. Il effectue d'abord des fouilles archéologiques sous-marines en Méditerranée, Son équipage est composé de grands noms de la plongée française : Frédéric Dumas, Albert Falco, André Laban, Claude Wesly, Jacques Ertaud, Pierre Labat, André Galerne.

Dans le même temps, avec la compagnie des travaux mécaniques, la CMT et Henri Girardot il crée la caméra bathygraph qui tourne grâce à des batteries ultra légères à l'argent. Cependant elle reste une caméra lourde. Ils feront des essais d'une caméra avec un anamorphoseur en 1954, mais il y est impossible d'y mettre un grand angle, ils abandonneront le projet qui sera des années plus tard repris pour le grand bleu par Christian Petron¹¹.

En 1954 il existe déjà sur le marché une caméra sous-marine, l'aquaflex, mais Cousteau préfère le principe de la caméra fusil, bien plus manœuvrable. Il charge André Laban de créer une caméra légère, en PVC, sous forme de cylindre et Marcel Dratz, scientifique au département d'optique du CNRS de créer deux dômes, un sphérique pour les grands angles et un plan pour les objectifs à grande focale, ce qui permettra de corriger les aberrations sur les bords de l'image. Laban, aidé de Claude Strada, dessinent toute une série de pièces pour adapter les caméras au caisson de diamètre réduit. D'un poids neutre dans l'eau, les caméras Eyemo pour film 35mm seront équipés d'objectifs Cooke 18mm à grande ouverture f1.7. Elles ne pèseront que 9 kg dans l'air, contre les 30 kg des anciens modèles¹².



Figure 7 : L'aquaflex pour caméra Caméflex d'André Coutant

Voyant que les nouvelles technologies disponibles pour la plongée permettent enfin aux films documentaires d'avoir une mise en scène plus travaillée. Cousteau choisit un jeune réalisateur de la Femis pour tourner avec lui « Le Monde du Silence » pour l'aider à travailler la dramaturgie du film. Il s'agira de Louis Malle, réalisateur qui deviendra célèbre par la suite avec, entre autres « Ascenseur pour l'échafaud » en 1958 ou « Au revoir les enfants » en 1987. Le tournage du « Monde du Silence » se déroule entre mars et juin 1955.¹³ Dès le

¹¹ (BARBÉ, 1997)

¹² (BARBÉ, 1997)

¹³ (Ongaro, 2007)

premier plan le film annonce son ambition : les plongeurs allument des torches de magnésium et s'enfoncent pour aller mettre la lumière sur les profondeurs marines.

Dans ce film, fini les semelles de plomb ! Sur un ton didactique, Cousteau explique les contraintes du monde sous-marin, autrefois réservé à des professionnels qui tombaient malade de la pression sans savoir pourquoi. « *Nous sommes soumis au même danger qu'eux, mais nous sommes mieux armés pour les combattre* »¹⁴ Cousteau a étudié en effet les effets de la pression sur le corps humain et a accès aux tables de plongées de la marine nationale qui indiquent quand il faut réaliser des paliers pour éviter l'accident de désaturation. La plongée devient sûre. Dans ce film, Cousteau vante les mérites de son détendeur et des bouteilles d'air comprimé Avec Louis Malle, ils mettent en scène l'ancien monde, les travailleurs en scaphandre, reliés au bateau par un narguilé, et les mousquemers, qui se déplacent librement dans l'eau en apesanteur et qui sont en mesure de mettre en scène leurs exploits avec des caméras parfaitement maîtrisées qui virevoltent dans l'eau grâce à leur toute nouvelle invention : les scooters des mers, inventés pour l'occasion par les ingénieurs de La Calypso. On peut placer à l'intérieur une caméra qui peut voir le monde sous-marin derrière un hublot plan. L'équipe tournera 25km de pellicule pour un film de 2.4km. « Le Monde du Silence » reportera la palme d'or au festival de Cannes et un succès international, il est à l'origine de ce que l'on appellera la « génération Cousteau ». Le réalisateur tournera par la suite plusieurs films, notamment le « Monde sans soleil » qui utilisera des dizaines de projecteurs et de caméras. Il partira à l'aventure aux quatre coins du monde et réalisera de nombreux documentaires et émissions de télévision.

¹⁴ (Cousteau & Malle)

CHAPITRE 3 : LES NOUVELLES RECHERCHES ESTHÉTIQUES

Le cinéma hollywoodien

Il existe aux Etats-Unis des caissons sous-marin depuis les années 1930. En 1947, André Coutant, que l'on connaît pour avoir également créé le Caméflex de la nouvelle vague, inventera l'Aquaflex avec sa firme Éclair. C'est un caisson cylindrique qui dispose de deux ailes qui permettent de stabiliser la caméra sous l'eau. Elle sera utilisée par Walt Disney pour produire « 20000 Lieues Sous Les Mers » de Richard Fleischer avec Kirk Douglas en 1955. En 1958 sort « Tempête sous la mer » le premier film en cinémascope incluant des plans sous-marins. Produit par la 20th century fox et en Technicolor. Arrive dans la deuxième moitié du XXe siècle une multitude de nouveaux caissons sur le marché. Dans les années cinquantes ARRIFLEX créé des caissons pour ARRIMAG et l'ARRI 30mm¹⁵. Paillard Bollex invente en 1956 un caisson « cocotte minue » qui s'ouvre à l'aide d'un couvercle situé au-dessus. Les années 60 et 70 sont marqués par une envie des cinéastes de repousser les limites de ce que la plongée rend possible pour les films. En 1965, dans le James Bond « Opération Tonnerre ». Sur l'ensemble du film, 18 scènes sur 83 sont sous-marines et demandent le travail de 45 plongeurs. Tournée dans les eaux peu profondes de Pearl Harbor, la gigantesque bataille d'espions fût la plus complexe de toutes, une prouesse de mise en scène avec les moyens de l'époque, comme en témoigne Ricou Browning le cascadeur en charge des séquences sous-marines « À l'époque, nous n'avions pas de système de communication sous-marine et nous devions donc utiliser des signaux manuels. Lorsque les choses devenaient si compliquées que l'on ne pouvait plus utiliser les signaux

anuels, il suffisait de remonter à bord et de répéter, puis de recommencer. Cela prenait beaucoup de temps. »¹⁶ Un caisson de grande dimension est fabriqué par Panavision pour abriter la caméra du film qui sera utilisé en 1975 par Steven Spielberg pour « Les dents de la mer ». Si les films précédents avaient comme message de montrer les possibilités de ce nouveau monde à explorer, « Les dents de la mer » est un film à contrecourant, qui nous retire violemment cette insouciance acquise et nous ramène à la réalité du danger du monde sous-marin. Par ce coup de maître, Spielberg invente de nouvelles formes de narration, il

prouve qu'il est possible de faire du cinéma d'horreur sous l'eau. Les plans sous-marins sont utilisés uniquement pour montrer le point de vue de la créature, du monstre qui n'est représenté que par la musique

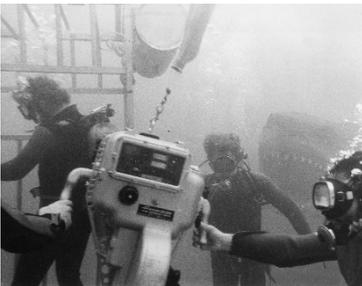


Figure 8 : Photographie dans le bassin de la MGM où les opérateurs préparent la séquence de l'attaque de la cage dans « Les Dents de la mer » (1975) avec l'un des requins mécaniques attendant patiemment en arrière-plan. Crédit : Credit: theasc.com/american-cinematographer

¹⁵ (Collectif, 2023, p. 152)

¹⁶ Traduit de l'anglais, (MGM, 2018)

et qui se place en dessous du monde des Hommes, pour y surgir et les prendre par surprise. Avec ce film, Spielberg fait néanmoins l'erreur terrible de tourner en décor naturel, en pleine mer et le tournage est connu aujourd'hui pour avoir explosé le budget et accumulé le retard. « *Partir en mer était un cauchemar, c'était comme travailler en plein séisme.* » racontera Spielberg.¹⁷

Le Grand Bleu

Après la génération Cousteau, qui fera naître beaucoup de vocations de plongeurs. Il faut que nous parlions de la génération « Grand Bleu ». Ce film réalisé par Luc Besson en 1988 racontant l'histoire d'amitié/rivalité entre l'apnéiste français Jacques Mayol, interprété par Jean-Marc Barr et l'italien Enzo Molinari joué par Jean Reno. Fils d'un moniteur de plongée, Luc Besson écrit ici son film le plus personnel qui témoigne de son amour profond pour la mer. L'histoire raconte comment les deux rivaux vont plonger de plus en plus profond lors des compétitions d'apnée. Le film sera réalisé sans doublures : Jean Reno et Jean-Marc Barr s'entraîneront énormément à plonger et à rester en apnée. Ils descendent même jusqu'à une trentaine de mètres en se défiant régulièrement l'un l'autre¹⁸. Ayant une véritable conscience écologique, le film vient réconcilier les spectateurs, encore traumatisés par « les dents de la mer », avec le monde sous-marin. Les scènes d'apnée entre Jacques Mayol et les dauphins sont époustouflantes, cadrés par Luc Besson lui-même et Christian Petron. L'opérateur construit un caisson pouvant abriter une optique anamorphique à la demande du réalisateur que ne se prive pas d'exploiter à fond les courtes focales et l'écran large pour exprimer l'immensité débordante de la mer et l'émerveillement que ressent Jacques Mayol. Les dauphins sont partout, « inondant » le cadre de toute part. Après un accueil mitigé par la presse, le film devient un énorme succès commercial. Besson avait fait le pari de tourner le film en anglais, ce qui lui ouvre les portes d'une carrière aux Etats-Unis. Christian Petron sera quant à lui repéré par James Cameron qui l'embarquera dans ses expéditions du Titanic.

¹⁷ (Fourny, 2015)

¹⁸ (Alessandrin, 2008)

CHAPITRE 4 : LE CINÉMA DE JAMES CAMERON

Le tournage de « The Abyss »

Avec James Cameron, le cinéma sous-marin devient le lieu de l'imagination débordante, de la démesure des projets cinématographiques. En 1989 sort *The Abyss*, un film de science-fiction exceptionnel par la taille de ses décors sous-marins. À l'instar du film lui-même, la production de *The Abyss* a été un thriller dans un huis clos claustrophobique, rempli de quasi-noyades et de catastrophes évitées de justesse.¹⁹

Il arriva à une époque où James Cameron, grâce au succès commercial d'*Aliens* et ses sept nominations aux Oscars pu se permettre d'écrire un scénario à propos d'un groupe de travailleurs sous-marin sur une plateforme pétrolière qui devront, dans un contexte de guerre froide, partir à la rescousse d'un sous-marin en détresse.

Le décor du tournage qui a été choisi, fut la centrale nucléaire abandonnée en pleine construction de Cherokee en Caroline du sud, qui disposait de deux immenses réservoirs en béton qui seront remplis pour former le plus grand bassin d'eau filtrée au monde. 42 000 m³ d'eau seront nécessaires dans chaque bassin soit l'équivalent de 32 piscines olympiques au total qu'il faut chauffer, éclairer, filtrer, assainir avec du chlore et maintenir transparente. Ces cinq conditions ne seront pas toujours remplies ce qui causera à l'équipe d'immenses difficultés : des chèvres des pâturages alentours entreront dans les systèmes de pompes et détruiront des tuyaux pendant la nuit et il faudra constamment réparer les fuites. Les colles utilisées pour certains décors vont se dissoudre dans l'eau, le chlore sera surdosé pour rattraper le retard causé par la fabrication de la fausse plateforme pétrolière mais celui-ci détruira les combinaisons et les cheveux des plongeurs qui ne sont pas protégés par un casque et il faudra racheter constamment de nouvelles tenues.

En plus d'un mois de formation à la plongée pour tous les acteurs principaux, il fallut concevoir énormément de dispositifs techniques pour le film, à commencer par l'équipement de plongée lui-même, des casques équipés de lampe pour que l'on puisse voir les acteurs, mais aussi un système de communication et de nouveaux caissons de caméra. Pour la lumière, il fallait également tout repenser, raconte James Cameron « *Un ingénieur nous a dit : « Vous allez tous mourir. Vous allez tous être électrocutés. » L'autre ingénieur a dit, « oh, je sais ce qu'il faut faire. Nous utiliserons des lampes HMI et nous utiliserons des doubles disjoncteurs de fuite à la terre pour nous assurer qu'il n'y a pas de court-circuit qui pourrait blesser quelqu'un », et c'est ce que nous avons fait. »*

Également, à la fin du film, le personnage principal doit aller dans les profondeurs avec une combinaison remplie d'un liquide respirable. Aujourd'hui, ce genre de liquide appartient toujours au domaine de la science-fiction et pour pouvoir rendre le film crédible l'acteur principal Ed Harris fut obligé de porter un casque rempli d'une eau qui lui brûlait les yeux et

¹⁹ (Jentzsch, 2023)

il devait prétendre qu'il respirait, tout en étant en apnée ! Il manquera de se noyer lorsque, demandant de l'air au fond du bassin à la fin d'une prise, un assistant lui donna le détendeur à l'envers et il s'étouffa, heureusement un autre assistant compris (un peu tard) le problème et donna in extremis son détendeur pour que l'acteur puisse respirer à nouveau.

Lorsque la production du film fut terminée après 140 jours de tournage, l'équipe était en retard de 5 semaines et avait dépassé le budget de 4 millions (pour un budget prévu de 33 millions au départ). Le film recevra un succès mitigé avec « seulement » 54 millions de dollars de recette aux Etats-Unis et refroidira les studios à l'idée de faire de nouveaux films sous-marins de peur que le sujet (déjà beaucoup repris à l'époque) ne lasse le public.

Il faudra attendre Titanic en 1997 pour James Cameron retente l'expérience de l'aquatique. Il utilisera le budget du film pour pouvoir financer une expédition sur le paquebot, enfoui à 3821 m de profondeur. Pour les plans dans la réplique du Titanic du film, Panavision modifiera trois Arriflex 35II pour les loger dans des caissons étanches²⁰ James Cameron se vouera une véritable passion pour les grandes profondeurs, en réalisant de multiples documentaires et battant notamment en 2012 le record de descente en solitaire.

La performance capture avec Avatar 2

En 2022 sort Avatar 2, qui est le premier film à proposer de la performance capteur sous-marine²¹. Un bassin de 3406 m³ (30 mètres de long, 15m de large et 5m de profondeur) est construit en Nouvelle-Zélande spécialement pour le film. Des points de repères sont disposés sur la combinaison des apnéistes cascadeurs et sont enregistrés par des dizaines de caméras disposées dans les quatre murs à l'intérieur du bassin, ce qui permet de

triangler la position des corps pour récolter les informations de mouvements en trois dimensions dans l'eau, ce que l'on appelle la « motion capture ». Les acteurs disposent également de marqueurs placés sur le visage et d'une petite caméra qui enregistre les émotions exprimées par les muscles du visage, ce que l'on appelle « performance capture ». Habituellement, les caméras de motion capture autour de la scène sont équipées d'une couronne de diodes émettrices d'infrarouges hautes fréquences et ces rayons infrarouges seront réfléchis par



Figure 9 : Bassin de tournage d'avatar 2, photogramme extrait du making-of Avatar: The Way Of Water (2022)" Making Of

²⁰ (Collectif, 2023, p. 153)

²¹ James Cameron se refuse à une simulation totale des effets de l'eau ordinateur, comme ce fût le cas par exemple pour « Aquaman » de James Wan en 2018, filmé en incrustation avec des câbles pour déplacer les acteurs comme s'ils étaient en apesenteur. Ici, les images de références pour la post-production seront tournées véritablement sous l'eau.



Figure 10 : Performance capture sur le tournage d'Avatar 2, crédit : Twenty century fox

les marqueurs en direction de la source d'émission, c'est-à-dire la caméra. Or, les infrarouges ne pouvant passer sous l'eau, l'équipe utilisera donc de la lumière ultraviolette pour enregistrer les déplacements des acteurs sous l'eau.²² Un autre problème est de pouvoir éclairer les acteurs de manière uniforme : il fallait disposer des éclairages en douche au-dessus de la piscine. Or, la réfraction des rayons lumineux par la surface de l'eau crée des caustiques (des motifs d'ondulations) visibles sur la peau des comédiens qui parasitent la performance capture. Le directeur de la photographie Russell Carpenter a expliqué que pour palier à ce phénomène, des milliers de petites boules en plastiques ont été placées sur la peau de l'eau pour diffuser la lumière tout en permettant aux comédiens de retourner à la surface respirer. Le 30 avril 2018, lors du tournage d'une scène



Figure 11 : Pawel Achtel et son Rig 3D à miroir Deep X ; crédit 24x7.com

sous-marine, Kate Winslet retint sa respiration pendant plus de sept minutes, battant ainsi le record de la plus longue respiration retenue lors du tournage d'une scène de film sous l'eau.²³ Précisons qu'afin d'augmenter les capacités d'apnée des acteurs et cascadeurs près de 1500 bouteilles d'air enrichies en oxygène (que l'on appelle Nitrox) seront utilisées par l'équipe pour respirer entre les prises lors du tournage.²⁴

En plus du dispositif de capture vidéo pour la performance capture, une caméra est tenue par un opérateur en apnée pour donner une référence sur le cadre de la prise de vue. Pour filmer cette référence en 3D stéréoscopique, ce sera le système fabriqué par Pawel Achtel qui sera retenu.

En effet, la prise de vue stéréoscopique impose par nature une double impression, nécessairement effectuée à l'aide d'un double objectif et souvent avec un double corps caméra. Pour se faire on utilise habituellement un rig à miroir semi transparent et incliné à 45°. Ce dispositif, en plus d'être encombrant sous l'eau était habituellement placé derrière un hublot plan dans le caisson sous-marin, ce qui optiquement n'est vraiment pas optimal pour l'utilisation des focales courtes. Pawel Achtel, ingénieur et directeur de la photographie spécialisé dans la création de caméras numériques, créera en 2015 le

²² (Clark, 2023)

²³ (Naughton, 2020)

²⁴ (Défossez, 2022)

système 3D « DeepX » qui permet de réaliser une prise de vue 3D sous-marine avec un système compact (moins de 30kg à l'air libre) qui peut être tenu par un seul opérateur.

Le principe : plutôt que de mettre l'ensemble du dispositif dans un grand caisson encombrant, Pawel choisi d'immerger toute la partie optique. Seules les caméras, (deux Sony Venice dans le cas d'Avatar 2) sont protégées dans deux caissons. L'un incliné à 90° par rapport à l'autre. Pour le choix de l'optique qui doit être immergée, il fera le choix du Nikonos 15mm qui est une optique plein format (24x36mm) datant de 1982 ayant pour particularité d'être calculée pour l'indice de réfraction de l'eau, elle ne peut donc être utilisée que pour la prise de vue subaquatique mais avec une netteté très homogène dans l'ensemble de son champ de vision, elle est très compacte (9cm de long pour 660g). Lors de mon voyage en Australie j'ai pu rencontrer Pawel Achtel à Sydney pour qu'il m'explique plus en détail la création du dispositif. Il me raconta qu'il avait analysé les performances optiques d'une centaine de Nikonos 15mm pour en sélectionner les deux meilleurs afin que les images des deux caméras soient les plus similaires possibles dans le rig 3D. Comme le miroir est immergé avec les optiques, il fallut également l'entretenir avec du Rain-X qui est à l'origine un anti-pluie pour voiture qui sert dans ce cas précis à éviter que les bulles d'air ne se coincent dans le miroir. Il m'a ainsi expliqué que les Nikonos pouvaient être utilisés pour la création d'images en 8k sous l'eau et m'a fortement conseillé de tester moi-même l'une de ces optiques dans le cadre du mémoire, notamment pour comparer les performances avec les hublots en forme de dômes utilisés habituellement pour les tournages de cinéma subaquatiques.

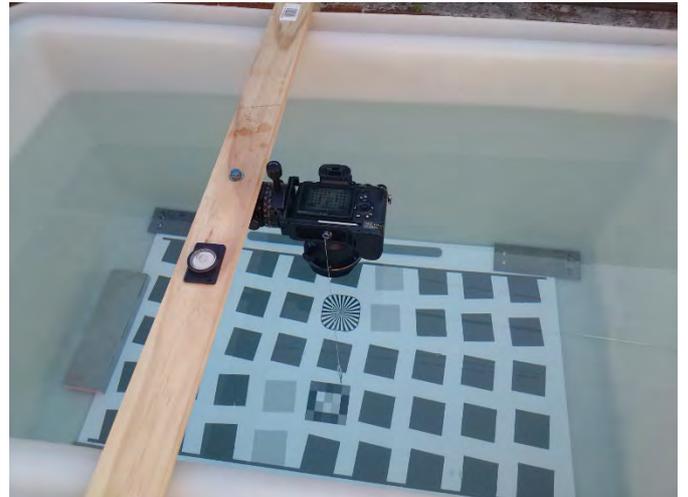


Figure 12 Banc de mesure FTM créé par Pawel Achtel pour mesurer les performances des optiques Nikonos 15mm, crédit : Pawel Achtel

PARTIE 2.
LES CONTRAINTES
PHYSIQUES ET
PHYSIOLOGIQUES



CHAPITRE 1 : LES CONTRAINTES PHYSIOLOGIQUES

Introduction à la plongée sous-marine

Les films sous-marins sont intrinsèquement liés à la pratique de la plongée sous-marine. Le but de cette partie n'est pas de former à la plongée, mais de décrire brièvement les équipements et principes fondamentaux pour mieux appréhender les contraintes qu'implique cette discipline sur la création des images sous-marines.

Pression supplémentaire subie
tous les 10 mètres

Tous les 10 mètres, le plongeur subit une pression supplémentaire d'environ 1 bar.

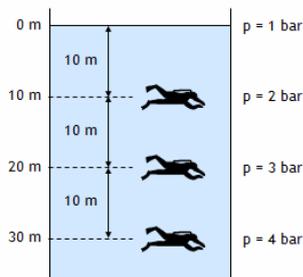


Figure 13 : Schéma de la pression en fonction de la profondeur

Sous l'eau, il est impossible de respirer de l'air à la pression atmosphérique (égale à un bar), la pression qu'exerce l'eau sur le corps du plongeur augmente d'un bar tous les dix mètres. Les poumons sont trop faibles pour lutter contre cette différence de pression et la respiration devient impossible au-delà de quelques centimètres de profondeur.

La condition essentielle est donc de fournir au plongeur de l'air à une pression égale à celle qui s'exerce sur sa poitrine pour qu'il y ait **équipression**. À 20 mètres, le plongeur doit respirer de l'air à une pression de 3 bars (la pression atmosphérique à la surface + 2 bars de pression correspondant à 20 mètres d'eau).

Respirer de l'air comprimé sous l'eau comporte des risques sur la santé et il est très important d'être formé pour pouvoir plonger en sécurité. Également, la plongée ne se fait jamais seul et doit se faire sous la surveillance d'un directeur de plongée.

1. L'équipement du plongeur

La bouteille : souvent en acier ou en aluminium, elle contient de l'air comprimé (ce n'est pas une bouteille d'« oxygène » comme on peut parfois l'entendre). Lorsque la bouteille est pleine la pression est de 200 bars (200x la pression atmosphérique !). La pression dans la bouteille permet de mesurer l'autonomie du plongeur à l'aide d'un « manomètre ». C'est l'instrument le plus important en plongée. On s'impose une réserve de 50 bars qu'il ne faut jamais dépasser. L'autonomie de la bouteille diminue drastiquement avec la profondeur. À 20m, le plongeur respire 3 bars

Figure 14 : Bouteille de plongée en acier d'un volume de 12l d'air et d'un poids de 15kg

Le masque : le masque doit absolument être à la bonne taille et bien ajusté. Les mauvais masques n'ont pas de traitement anti buée ou anti-reflet, ce qui rend la lecture des images sur l'écran de la caméra difficile. J'ai remarqué que certains modèles premiers prix sont plus sujets aux aberrations chromatiques. Il existe des masques intégraux qui couvrent la bouche, ce qui permet d'utiliser des systèmes de communication pour

ou parler sous l'eau.

https://fr.wikipedia.org/wiki/Bouteille_de_plong%C3%A9e



Figure 15 : Manomètre de plongée





Le détendeur : permet de « détendre » l'air haute pression (200 bars en début de plongée) pour qu'il puisse être respiré sans effort à la pression ambiante. Une première partie que l'on appelle le « premier étage » est vissé sur la bouteille transforme la haute pression en moyen pression (environs 8 à 10 bars), l'air circule par l'intermédiaire d'un « flexible » (le tuyau) vers le second étage qui détend à nouveau l'air à la pression ambiante en bouche du plongeur. Sur la photo de gauche on peut voir qu'il y a un deuxième second étage de couleur jaune qui permet de porter assistance à une personne qui serait en panne d'air.



Le gilet stabilisateur permet d'ajuster la flottabilité c'est-à-dire à s'équilibrer dans l'eau en gonflant ou en dégonflant une poche d'air à l'intérieur grâce à un inflateur relié à la bouteille. La flottabilité se gère de manière très minutieuse et implique également la gestion de l'air dans les poumons, ce que l'on appelle le « poumon-ballast ». En expirant on vide l'air des poumons et l'on descend, en inspirant on remplit les poumons d'air et l'on remonte.



La combinaison : elle protège du froid sous l'eau, elle peut être « humide » (photo de gauche) donc laisser passer l'eau sur la peau qui va se chauffer et maintenir le plongeur au chaud. Elle peut être étanche (photo de droite), ce qui permet de rester habillé en dessous. C'est cette deuxième option qui est préférée par les opérateurs car elle permet de faire des plongées de plusieurs heures sans attraper froid, en revanche la combinaison étanche doit être relié également à la bouteille pour réguler sa pression ce qui complexifie la flottabilité.



La ceinture de plomb : elle permet d'alourdir le plongeur dans l'eau pour qu'il ne flotte pas. En effet, lorsqu'un corps immergé est moins lourd que le volume d'eau déplacée, il remonte. La flottabilité est dépendante de la corpulence et de la combinaison utilisée. Un lestage correctement ajusté est déterminant pour la réalisation des prises de vues. On peut également mettre des plombs directement sur la bouteille ou dans les poches du gilet pour équilibrer les masses en haut et en bas du corps pour être à l'horizontal dans l'eau.



Les palmes permettent de se mouvoir sous l'eau, il existe différents modèles en fonction de la force dont on a besoin pour avancer. Sous l'eau il faut également veiller à faire de grands mouvements amples sans remuer le fond ce qui ruinerait la prise de vue car les particules risqueraient de rentrer dans le cadre devant la caméra.



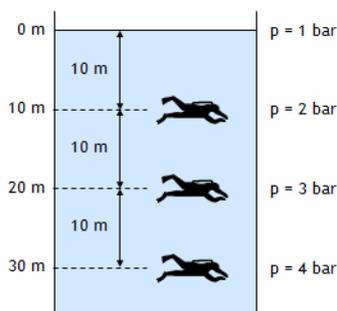
Pendant la plongée, le plongeur respire de l'air comprimé. Cet air contient de l'azote qui, sous l'effet de la pression vient se stocker dans les tissus. On appelle cette quantité d'azote stocké dans le corps la « saturation ». La montre de plongée (ou ordinateur de plongée) permet de connaître la profondeur et le temps de plongée. Avec ces informations il est capable de calculer le niveau de saturation du plongeur et nous indique le temps nécessaire pour « désaturer », c'est-à-dire évacuer l'azote ²⁵, par l'intermédiaire d'un ou plusieurs arrêts pendant la remontée à faible profondeur, ce que l'on appelle les paliers. L'ordinateur peut être « durci », ce qui est utile en prise de vue sous-marine car la saturation est plus importante que pour un plongeur sans équipement vidéo. L'ordinateur peut être reliée à la bouteille pour mesurer la consommation d'air en litre par minute du plongeur, une information utile à la surface pour planifier une plongée et affiner les temps de paliers à prévoir.

²⁵ L'air contient en réalité des molécules de diazote N₂ et de dioxygène O₂, nous utiliserons les termes du langage courante « azote et oxygène » dans le mémoire

2. La pression sous-marine et ses effets

Pression supplémentaire subie
tous les 10 mètres

Tous les 10 mètres, le plongeur subit une pression supplémentaire d'environ 1 bar.



Comme nous venons de le voir, plus l'on descend dans l'eau, plus la pression augmente : à 30m la pression est quatre fois supérieure à la pression atmosphérique.

Cette augmentation de la pression à la descente agit sur les volumes fermés en créant une dépression. Le volume des liquides et des solides ne variant pas, ce sont les cavités contenant de l'air dans le corps humain qui sont affectés. On notera les poumons, les sinus et les oreilles. Il faut apprendre à équilibrer la pression dans ces cavités tout le long de la plongée.

En cause : la loi de Boyle - Mariotte

$$\text{Pression} \times \text{volume} = \text{constante}$$

Un exemple d'application de cette loi se situe sur le schéma de gauche : si l'on remplit un ballon au fond de l'eau à 20m et qu'on le laisse remonter, il va tripler de volume en surface. C'est pourquoi **il ne faut jamais retenir sa respiration quand on plonge avec une bouteille** ! Un apnéiste n'ayant pas de bouteille d'air comprimé, peut descendre en apnée et remonter à

la surface : le volume de ses poumons va être drastiquement réduit plus il descend, mais lorsqu'il va remonter, les poumons vont reprendre leur taille initiale, il n'a pas eu d'apport d'air. Pour la plongée avec bouteille c'est différent : le détendeur donne de l'air à la pression ambiante qui est dépendante de la profondeur à laquelle on se trouve. À trente mètres, on respire donc de l'air à 3bar qui donnent aux poumons un volume similaire à celui de la surface.

Or, si l'on retient sa respiration et que l'on remonte il y a un risque de surpression pulmonaire. C'est ce que l'on appelle un **barotraumatisme**. Il en existe pour toutes les cavités du corps et il faut donc être prudent. Pour les oreilles le problème peut survenir à la descente. L'air circule habituellement entre l'oreille et la trompe d'eustache pour équilibrer la pression mais celle-ci est très fine et peut être sinieuse chez certaines personnes. Lorsque l'on descend les trompes d'eustache ont tendance à s'obstruer et l'air ne passe

plus. Il faut faire une manœuvre de compensation (la plus connue est la manœuvre de Valsalva, on souffle doucement bouche fermée et en pinçant le né pour équilibrer la pression dans les oreilles, c'est une manœuvre qui est très efficace mais un peu agressive, il existe des manœuvres beaucoup plus douces comme la béance tubaire volontaire, qui est l'apprentissage d'un bâillement sur commande qui ouvre les trompes d'eustaches).

Un rhume ou une maladie peut congestionner l'oreille et rendre la descente impossible. Un tournage sous-marin peut facilement être compromis si l'opérateur tombe malade et il faudra trouver un remplaçant. La mauvaise gestion des oreilles peut aboutir à un

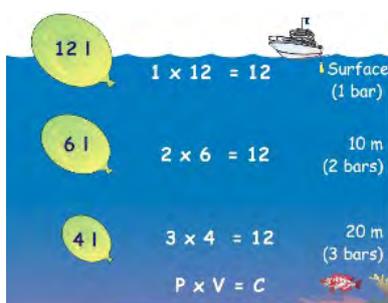
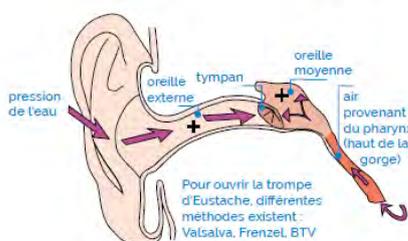


Figure 16 : Schéma représentant l'impact de la pression de l'eau sur les différentes parties qui composent l'oreille



Oreille et plongée. La trompe d'Eustache est généralement fermée, empêchant l'air du pharynx de parvenir dans l'oreille moyenne.

Figure 17 Figure de l'oreille. Crédit : Plongée Plaisir

barotraumatisme de l'oreille. Au cours de la rédaction de ce mémoire, j'ai recueilli des témoignages d'opérateurs qui se sont déjà crevés les tympans pendant des tournages suites à des mauvaises gestions des oreilles. Sur le tournage du « Monde du Silence », Louis Malle s'est percé le tympan et n'a plus jamais plongée de sa vie. Le tympan percé est un barotraumatisme qui peut se guérir mais il peut provoquer une perte de connaissance qui si elle arrive sous l'eau risque d'aboutir à une noyade.

Il est donc important d'être sensibilisé à ces questions, même lorsque l'on n'est pas cadreur mais qu'on a la charge d'organiser un tournage sous-marin, pour planifier le mieux possible les plongées pour éviter les « yoyo » (montés et redescentes successives) qui sont dangereuses et fatigantes pour le plongeur. De plus, la variation de pression est beaucoup plus importante à faible profondeur (elle double entre 0 et 10m), ce que veut dire que les volumes varient énormément, or c'est justement entre 0 et 10m que se déroulent les tournages sous-marins pour limiter l'absorption des couleurs par l'eau. Ces faibles profondeurs rendent la stabilisation où « flottabilité » du plongeur difficile.

3. La saturation et les paliers

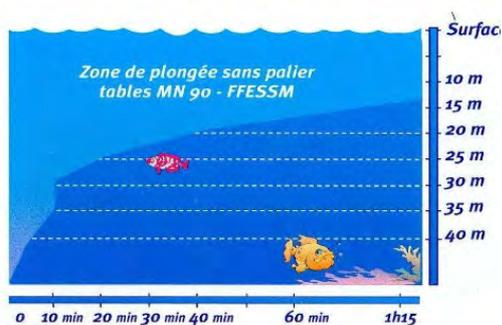


Figure 18 http://www.gpsc-plongee.fr/images/stories/PDF-fichiers/formation/courbe_de_securite_sans_palier.pdf

Comme en plongée on respire de l'air comprimé, l'azote présent dans cet air se dissout et passe dans les tissus. Or, à la remontée, si cet azote n'a pas été évacué, il forme des petites bulles qui peuvent faire des gros dégâts. On peut ainsi utiliser l'image d'une bouteille de soda : dans une bouteille neuve fermée et sous pression, les bulles sont invisibles car elles sont dissoutes. Mais dès que l'on va ouvrir la bouteille, la pression va diminuer et toutes les bulles vont se former et vouloir sortir en même temps. Il faut donc ouvrir la bouteille lentement, l'équivalent en plongée d'une remontée lente et contrôlé.

À la surface, on dit que l'azote dans les tissus est « saturé », c'est-à-dire que la pression ambiante ne permet pas à plus d'azote de se dissoudre dans les tissus. En revanche au début de la plongée lors de la descente, la pression de l'eau fait que l'azote est « sous-saturé », il va donc venir se stocker lentement dans les tissus pour retrouver son état d'équilibre. Au fond de l'eau, l'azote est à nouveau saturé.

Les problèmes apparaissent à la remontée : l'azote est en « sursaturation », il faut l'évacuer. Le plongeur doit faire des paliers : il s'arrête à faible profondeur pendant un temps donné par l'ordinateur. Il faut éviter au maximum d'avoir recourt à des paliers pendant une plongée. On dit que l'on reste sous la « courbe de sécurité », (voir schéma de gauche), lorsque l'on s'arrange pour que la plongée se fasse sans paliers. Pour un tournage dans une profondeur inférieure à 8m il n'y aura pas besoin de faire des paliers. À 15m le temps sans palier passe à 1h15, à 20m ce temps passe à 40 minutes et à 40m il n'est plus que de 5 minutes.

Admettons que nous devons réaliser un documentaire à 40m sur une épave, il est impensable de n'y rester que 5 minutes ! Il faudra donc réaliser des paliers ou utiliser

d'autres mélange autre que l'air comme le trimix (un mélange d'azote, d'oxygène et d'hélium) qui peuvent réduire les temps de palier ou, plus couramment utilisé par les opérateurs, un circuit fermé comme le recycleur qui permet de réutiliser l'air expiré et qui en ajustant les proportions d'azote et d'oxygène réduit les temps de paliers.

4. L'accident de décompression, ou « ADD »

Lorsque l'azote n'a pas le temps d'être évacué par l'organisme à la remontée (à cause d'une mauvaise gestion des paliers par exemple), il passe en état de « sursaturation critique » et des micro bulles se forment dans l'organisme qui peuvent causer de nombreux dégâts. On appelle cela un accident de décompression.

En tournage, il est très fréquent de réaliser plusieurs plongées successives dans une même journée²⁶, il faut donc bien les planifier et avoir des ordinateurs qui sont capable de bien calculer l'accumulation d'azote dans les tissus. Malgré tout, un cadreur sous-marin fera beaucoup plus d'efforts physiques qu'un plongeur normal à cause de la caméra qu'il doit embarquer, ce qui augmente, d'une part la fatigue pendant les temps de désaturation, mais d'autre part aussi les risque d'un accident de décompression ou un barotraumatisme. Il faut donc absolument que le bateau de plongée ait de quoi prodiguer les premiers secours si un accident devait arriver (la victime est placée sous oxygène en attendant l'arrivée des secours).

Également si une prise de vue nécessite de la part du plongeur un effort intense (une course poursuite avec un poisson par exemple) elle peut entraîner un essoufflement. Or il est extrêmement difficile de récupérer d'un essoufflement sous l'eau et cela peut se transformer rapidement en une attaque de panique. Il faut donc toujours garder en tête ce risque et veiller à ne pas être trop « gourmand » dans les mouvements de prise de vue que l'on souhaite faire.

²⁶ Dans le making-of d'Océans, René Heuzey explique qu'il a fallu enchaîner de multiples plongées à 40m pour réussir à filmer les baleines à leur niveau, alors qu'elles étaient à proximité de la surface !

5. Les autres mélanges pour améliorer la plongée

Pour l'instant nous n'avons parlé que de la plongée à l'air qui est composé de 78% d'azote et 21% d'oxygène. À faible profondeur, il n'est pas rare que les opérateurs-plongeurs utilisent du Nitrox plutôt que de l'air standard pour faire les prises de vue. Le terme « Nitrox » vient de la contraction des mots NITRogen (azote en anglais) et OXYgen. La plongée au Nitrox est

Type de gaz	O ₂	N ₂	Prof. max
Nitrox 32/68	32 %	68 %	40 m
Nitrox 36/64	36 %	64 %	34 m
Nitrox 40/60	40 %	60 %	30 m

Figure 19 Plongée plaisir page 342

réalisée avec un air enrichi en oxygène et donc appauvri en azote. Cela permet d'améliorer la sécurité des plongées à faible profondeur car c'est l'azote qui, comme on l'a vu, est en cause dans les accidents de décompression. Également, moins d'azote à évacuer = une fatigue diminuée après la plongée. En revanche l'oxygène devient toxique à grande profondeur. Pour les plongées dans les grandes profondeurs, les plongeurs utilisent un autre mélange, le Trimix, qui permet de réduire la quantité d'azote et d'oxygène dans le mélange en rajoutant de l'hélium ce qui réduit leurs effets négatifs²⁷

6. La narcose

Dans « Le Monde du Silence » Cousteau explique qu'au-delà de trente mètres l'« ivresse des profondeurs » fait son apparition. En effet, comme l'azote n'a pas la même pression partielle que l'oxygène, la proportion des deux gaz change. L'azote sous pression devient narcotique, avec un effet similaire à l'alcool : une somnolence, une tendance à se sentir en confiance, à vouloir rester plus longtemps, plus profond. Avec de l'expérience, un grand nombre de plongées et une meilleure condition physique on ressent moins les effets de l'ivresse des profondeurs. D'où l'importance de s'entraîner et d'évoluer dans des profondeurs correspondant à son niveau de formation. Un autre problème est que la caméra peut être lourde et complexe. Le cocktail Narcose + Caméra est très dangereux car l'opérateur perd la notion du temps et ses facultés cognitives. Il peut rester longtemps sur un réglage sans regarder son manomètre ou la montre de plongée par exemple, ou aller chercher une prise de vue beaucoup trop profonde, la limite à ne pas franchir est parfois fine.

²⁷ (Gualbert, 2015)

7. Le recycleur



Figure 20 : Recycleur au salon de la plongée

Pour l'instant nous n'avons parlé que des circuits ouverts, c'est-à-dire que l'air s'échappe après expiration. Mais il existe aussi des circuits fermés : les recycleurs. Il est important d'en parler car ils sont très utilisés par les opérateurs sous-marins. Ce mécanisme permet de purifier l'air expiré pour en retirer le dioxyde de carbone CO_2 grâce à un filtre à chaux et l'enrichir en oxygène.

Les avantages des recycleurs sont multiples : ils ne font pas de bulles, ce qui est très pratique pour approcher de espèces farouches en animalier ou pour réaliser des contre-plongées sans voir ses propres bulles. Ils sont silencieux ce qui rend la prise de son possible. Il n'y a pas d'effet poumon-ballaste ce qui fait que le fait de respirer n'affecte pas la flottabilité et donc la stabilité de la prise de vue. La consommation d'air passe de 20 à 1 litre par minute ce qui fait

que les plongées sont beaucoup plus longues : on peut rester plusieurs heures pour filmer une espèce. Enfin, comme le mélange azote/oxygène est ajusté à chaque profondeur les temps de paliers sont beaucoup plus faibles. Par exemple, une plongée d'une heure à 30m en recycleur induira une décompression de 11 minutes. En circuit ouvert, le temps autorisé à 30m sans faire de palier est de seulement de 10 minutes et il faudrait théoriquement 74 minutes de palier pour faire une plongée d'une heure à 30m !

Aujourd'hui, les recycleurs modernes sont sûrs, à condition d'être déjà un plongeur expérimenté et d'avoir été parfaitement formé à leur utilisation. Denis Lagrange, réalisateur et directeur de la photographie de nombreux films de documentaires et de fictions sous-marin (parmi ses très nombreux projet, on peut citer le film « Planète Océan » de Yann Arthus Bertrand et la série « Planète Bleu II » de la BBC) était l'un des premiers à utiliser les recycleurs civiles, il témoigne :

« En plongée profonde, la première année où j'ai acheté un recycleur, c'était en 1998 (les premiers recycleurs civils sont sortis en 1997) on était cent et sur ces cent il y a eu dix morts la première année, c'était un peu de la découverte »²⁸ Aujourd'hui, les recycleurs, certes plus sûr ont toujours un cout très important, comptez une dizaine de milliers d'euros. Un investissant qu'il faut réussir à amortir. « On loue cinq cents euros par semaine, mais souvent [les productions] ne veulent pas payer les capteurs Oxygène. Un capteur oxygène, c'est soixante-dix euros, il y en a trois donc deux cents euros. » Les capteurs oxygène tombent souvent en panne et il faut les changer régulièrement : « Sur l'ancien modèle de recycleur que j'avais, l'électronique tombait tout le temps en panne. Il fallait l'envoyer en réparation, pour cinq cents euros, mais avancer cette somme ne t'amortie pas la machine, ça te paye juste l'entretien. » L'usage du recycleur doit donc être réservé aux projets où il est absolument nécessaire : « Quand je n'en ai pas besoin en studio, je ne prends pas de recycleur, sauf si j'ai un plan en contre plongée où il ne doit pas y avoir de bulles. »

²⁸ Entretien réalisé le 9 janvier 2024



Figure 22 : forêt de Kelp issue du film

8. Et l'apnée ?

« La Sagesse de la Pieuvre » est un film sorti en 2020 sur Netflix qui a reçu l'oscar du meilleur film documentaire. Il raconte l'histoire d'amitié entre une pieuvre et l'apnéiste Craig Foster dans une forêt de kelp. Pendant un an il a filmé en apnée des images avec des petites caméras d'action. Parmi ces caméras, il utilisera surtout l'Olympus T6. Il s'agit d'un appareil photo compact (11x6x3cm) pouvant réaliser des vidéos dans un format UHD de 3840 x 2160p en 30 images par seconde avec un petit capteur 1/2,3", le zoom optique interne permet de changer de focale



Figure 21 : Olympus TG6 (image amazon)

(équivalent 25-100 mm en plein format 24 x 36mm) mais dans un codec 8bit en H264. Or, pour ses productions, Netflix impose des caméras ayant au minimum une définition en 4k cinéma soit du 4096x2160 et des codecs professionnels comme l'Apple Pro Res, Craig sera donc rejoint par le caméraman Roger Horrocks. Ce dernier utilisera un recycleur afin d'éviter de faire des bulles, et

filmiera Craig en train de filmer la pieuvre à l'aide d'une RED Dragon dans un caisson Nauticam. Disposant d'un capteur super35, il utilisera le zoom Nikon Nikkor 17-55mm avec une ouverture constante T2.8 pour avoir une large gamme de focales sous l'eau. Couplé à une vitesse d'enregistrement de 70 img/s en 6k, la RED lui permet de filmer de très beaux plans de créatures marines en surface malgré leur furtivité.²⁹

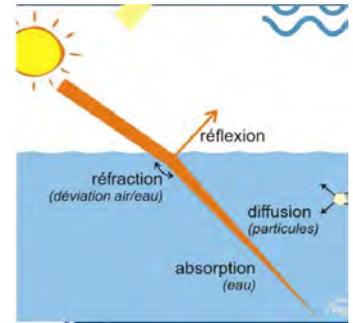
« La sagesse de la pieuvre » est donc un film mixte, utilisant à la fois la prise de vue en apnée et la prise de vue en plongée. Dans le film Craig explique que l'avantage d'être en apnée est que cela permet une meilleure connexion avec les animaux marins. L'absence totale d'équipement (pas même une combinaison dans une eau à 8 degrés !) lui permettait une meilleure agilité avec sa caméra de toute petite taille, dans le film il fut en mesure de réaliser des autoportraits en se cadrant avec la pieuvre dans sa main à une profondeur de plusieurs mètres sous la surface. En complément des images de Craig, Roger utilisera la très pratique fonction de « l'enregistrement en mémoire tampon circulaire » de la RED Dragon. Celle-ci permet d'enregistrer en continu dans une mémoire temporaire qui se vide au fur et à mesure. Au moment d'appuyer sur le bouton REC, cette mémoire tampon est « gelée » et sauvegardée sur la carte. Avec cette fonction l'opérateur est capable d'enregistrer un événement imprévisible après qu'il ait eu lieu, ce qui fait économiser de la donnée. Cette fonction est extrêmement pratique en documentaire animalier. Philippe Ross m'a d'ailleurs confié qu'il aurait rêvé avoir ce système pour le tournage d'« Océans » pour filmer les sauts de baleines qui avait été tourné en pellicule, les caméras numériques n'étant pas encore assez performante à l'époque du film, entre 2005 et 2009. Les opérateurs avaient eu beaucoup de mal à savoir où et quand les baleines allaient sauter. Ils ont utilisé un format d'image plus large pour se donner la possibilité de recadrer en post-production sur la pellicule.³⁰

²⁹ (Wood, 2021)

³⁰ Entretien réalisé le 23 mai 2024

CHAPITRE 2 : LA RÉFRACTION

Quatre phénomènes optiques sont à prendre en compte lorsque l'on veut filmer sous l'eau : la réfraction et la réflexion, l'absorption et la diffusion. Chacun de ces phénomènes va influencer sur la qualité de l'image et il est nécessaire de les comprendre pour mieux les maîtriser.



Réfraction et réflexions, leurs conséquences sur la prise de vue subaquatique

1. Introduction

La célérité, ou vitesse de propagation de la lumière dans le vide est $c_0 = 299\,792\,458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ que l'on peut arrondir à $3 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Dans les milieux translucides et transparents cette vitesse est inférieure et est fixée par l'indice de réfraction $n = \frac{c_0}{v}$. L'indice de réfraction de l'air n_{air} est égale à 1.008. Dans l'eau, la vitesse de propagation de l'onde lumineuse est moindre que dans l'air, lorsqu'elle est pure n_{eau} est égale à 1.3300.

À cause de cette différence de vitesse, se produit sur la surface de séparation entre l'air et l'eau (que l'on nomme le dioptre) un double phénomène de la lumière qui se sépare en une onde réfléchie et une onde réfractée qui pénètre dans le second milieu en changeant de direction.

Prenons un rayon lumineux qui se déplace dans l'air venant du soleil et qui entre dans l'eau. Comme la vitesse de la lumière est moins grande dans l'eau que dans l'air, et que l'indice de l'eau est supérieur à celui de l'air, alors l'angle du rayon réfracté se rapproche de la normale au dioptre³¹. Cette déviation donne l'illusion que les objets vus dans l'eau depuis l'air semblent plus proches qu'ils le sont vraiment.

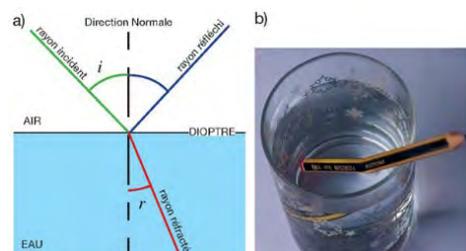


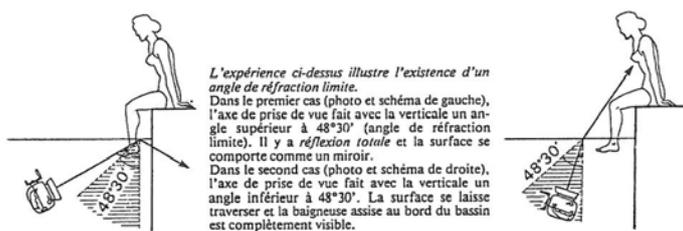
Figure 23 : Schéma de la réfraction de l'eau.
Crédit : CNRS

³¹ La normale est le plan perpendiculaire au dioptre qui passe par le point de contact entre l'onde incidente et le dioptre

2. La réflexion et ses effets

Comme une partie des rayons lumineux sont réfléchis, une partie ne pénètre jamais dans l'eau. On a donc une diminution de la quantité de lumière naturelle disponible dès la surface qui diminue d'autant plus en fonction de la position du soleil. Tant qu'il est au-dessus de 30° de l'horizon, les pertes par réflexions ne dépassent pas 10%. Mais lorsqu'il est plus bas, les pertes par réflexions augmentent très vite. Également, lorsque la caméra est sous l'eau et que le sujet est à la surface, il faut faire attention à ne pas dépasser un angle de réflexion totale³².

En effet, l'eau ayant un indice de réfraction plus élevé que l'air, on dit que l'eau est un milieu plus réfringent que l'air. Or dans le cas où les rayons viennent du milieu le plus réfringent (un rayon venant de l'eau et traversant la surface) il existe un angle d'incidence limite à partir duquel il n'y a plus de réfraction, c'est-à-dire quand $i_2 > 90^\circ$. On parle de réflexion totale³³. L'eau se comportera alors comme un miroir si l'angle entre la prise de vue subaquatique et la surface est trop étroit.



L'expérience ci-dessus illustre l'existence d'un angle de réfraction limite.
 Dans le premier cas (photo et schéma de gauche), l'axe de prise de vue fait avec la verticale un angle supérieur à $48^\circ30'$ (angle de réfraction limite). Il y a réflexion totale et la surface se comporte comme un miroir.
 Dans le second cas (photo et schéma de droite), l'axe de prise de vue fait avec la verticale un angle inférieur à $48^\circ30'$. La surface se laisse traverser et la baigneuse assise au bord du bassin est complètement visible.

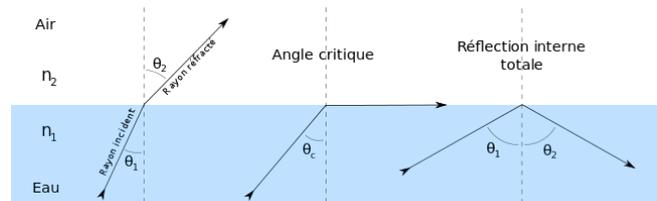


Figure 24 Schéma mémoire FFESSM

³² (Eskenazi, 1990)

3. Première solution : le Hublot plan

En prise de vue sous-marine, le plus simple est d'utiliser une vitre pour filmer au travers que l'on appelle un hublot plan.³⁴ C'est la solution qui était utilisée au début du cinéma pour les premières immersions de caméra (cf. Chapitre 1) car elle est simple à mettre en œuvre.

Cependant, à cause du phénomène de réfraction entre l'eau et l'air, l'angle de champ va se réduire et causer ainsi une augmentation de la focale. C'est le phénomène de grossissement.

Avec la relation Snell-Descartes $n_{air} \times \sin i_{incident} = n_{eau} \times \sin i_{réfracté}$ on peut trouver pour chaque angle de champ dans l'air α_{air} l'angle de champ équivalent dans l'eau α_{eau} (on néglige la vitre dans ce calcul car on admet que les rayons sortants sont parallèles à ceux entrants).

On obtient la formule suivante : $\alpha_{eau} = \sin^{-1} \left(\frac{n_{air}}{n_{eau}} \times \sin \left(\frac{\alpha_{air}}{2} \right) \right)$

On peut ensuite utiliser la formule $Distance\ Focale\ en\ mm = 0.5 \left(\frac{largeur\ capteur}{\tan(0.5 \times \alpha_{eau})} \right)$ pour calculer la focale de l'objectif dans l'eau au travers d'un hublot plan. Cela nous donne le tableau suivant pour un objectif plein format 24x36mm :

Angle de champ horizontal dans l'air (en degré)	Angle de champ horizontal dans l'eau en degré	Focale dans l'air en mm	Focale dans l'eau en mm	Facteur de grossissement
2	1,5	496	659	1,330
5	3,8	198	264	1,331
10	7,5	99	132	1,332
20	15,0	102	137	1,339
30	22,4	67	91	1,351
40	29,8	49	68	1,368
50	37,1	39	54	1,391
60	44,2	31	44	1,423
70	51,1	26	38	1,465
80	57,8	21	33	1,520
90	64,2	18	29	1,593
100	70,3	15	26	1,691
110	76,0	13	23	1,827
120	81,3	10	21	2,019

En orange : équivalent d'une focale moyenne de 50mm en super35 pour le cinéma traditionnel
 En rouge : valeurs dépassant l'angle de réfraction limite, ce qui empêche les rayons extrêmes de traverser la vitre

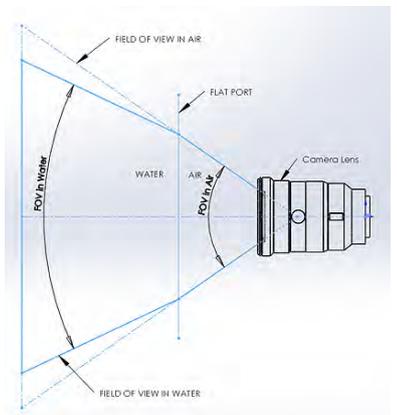


Figure 25: <https://www.subspace.ch/fr/uw-optics-expertise>

³⁴ (Foquin, s.d.)

On montre à l'aide de ce tableau que le facteur de grossissement tend vers 1,33 lorsque la focale augmente et qu'il croît lorsque la focale diminue. Pour les longues focales on peut l'arrondir à 1,33 car l'image est encore homogène. Pour un angle de champ plus grand, aux environs de 60° , des phénomènes de distorsion et d'aberrations vont apparaître. Comme la lumière arrive de l'eau, le milieu le plus réfringent, vers l'air qui est dans le caisson, il existe un angle de réfraction limite, 48° de l'axe optique donc un angle de champ de 96° dans l'air, à partir duquel les rayons sont totalement réfléchis. En conclusion on ne pourrait de toute façon pas dépasser un angle de champ de $67,9^\circ$ dans l'eau.

La mise au point

En supposant que l'image soit homogène (et ce n'est vrai que pour les longues focales), le grossissement étant environ de 1,33%.

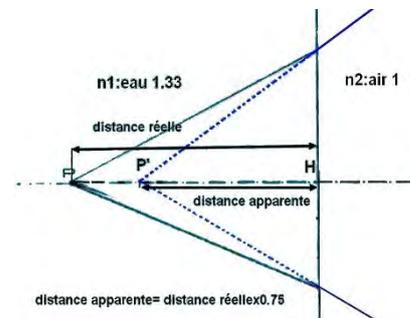
Un point P vu à travers le hublot plan H donne un point virtuel P' dont la position nous est donnée par la formule³⁵ :

$$P'H = PH \frac{N_2}{N_1}$$

Ici si l'on prend $N_1=1,33$ qui est l'indice de l'eau et $N_2=1$ pour l'air dans le caisson (encore une fois nous négligeons la vitre dans ce calcul) on obtient la formule suivante :

$$P'H = PH \times 0,75$$

P' sera plus proche du caisson. On nomme ainsi « distance apparente » la distance de l'image virtuelle de l'objet dans l'eau qui est donc 25% plus proche de la vitre du caisson que sa distance réelle. C'est cette nouvelle valeur dont on doit se servir pour effectuer la mise au point de l'image.



La distorsion

Les angles d'incidences des rayons qui traversent la vitre sont différents en fonction de leur distance de l'axe optique. Le rayon qui traverse la vitre en étant confondu avec l'axe optique n'est pas dévié, et plus on s'éloigne, plus les rayons vont se réfracter et donc localement le grossissement sera de plus en plus important. Visuellement on pourra observer un phénomène de distorsion de l'image en « coussinet ».³⁶

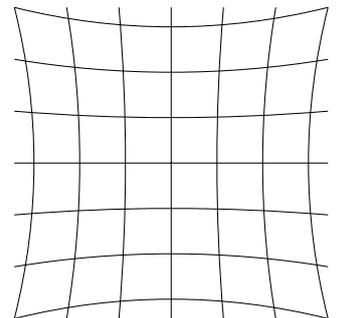


Figure 26 Distorsion en coussinet d'un cadrillage rectiligne Par WolfWings – Travail personnel, Domaine public, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1388853>

Les aberrations

Les aberrations sont l'ensemble des « défauts optiques donnant d'un point une image non assimilable à un point identique ». On notera ainsi la formation d'aberrations sphériques, les rayons lumineux situés aux extrémités du champ vont former une image non pas sur le capteur, mais devant lui. La perte de point sera de plus en plus prononcée au fur et à mesure que l'on s'écarte de l'axe optique et l'image sera floue sur les bords.

Le phénomène est d'autant plus visible que l'ouverture de l'objectif est grande et que la focale est courte. Également dans notre calcul d'angle de champ nous avons négligé la présence du verre, or il constitue un troisième milieu. Le verre, tout comme l'eau est milieu dispersif, c'est-à-dire que l'indice de réfraction dépend de la longueur d'onde du rayon et cette dispersion est dépendante de l'inclinaison du rayon entrant dans le milieu. On observe donc un phénomène d'« irisations colorées » sur les bords de l'images

³⁵ (Thomas, 2014)

³⁶ (Foquin, s.d.)

car c'est ici que les rayons sont le plus réfractés et où cette irisation est particulièrement visible.



Figure 27 : Photo réalisée avec une GoPro 10 en réglage linéaire, ce qui correspond à une focale d'environ 20mm en plein format (24x36mm) l'angle de champ horizontal passe ainsi de 84° dans l'air à 58° dans l'eau, soit une focale équivalente de 33mm. Plongeur : Philippe Dufour

On constate sur les objets blancs du bord de l'image des aberrations chromatiques.



Vignettage

Plus l'angle d'incidence des rayons est élevé, plus la quantité de lumière réfléchi est importante et donc il y a moins de lumière réfractée. Cela implique donc que l'image sera mieux exposée au centre que sur les bords. Le phénomène de vignettage est visible sur les focales très courtes, je n'ai pas constaté de vignettage sur mes plans tournés à la Gopro dans le cadre de ma partie pratique de mémoire avec une focale de 20mm équivalent plein format 24x36mm.

Conclusion

Pour toutes ces raisons, l'usage d'un hublot plan doit être réservé aux plans mi-air/mi-eau ou aux longues focales et à la macrophotographie. On retrouve un hublot plan sur les Splash-bag par exemple, qui permet de réaliser des plans jusqu'à un ou deux mètres en dessous de la surface. Attention cependant sur les plans mi/air mi/eau, la focale sera différente et il faudra trouver une ouverture et une distance de mise au point qui couvre le sujet dans l'air et le sujet dans l'eau ou utiliser une demi-bonnnette pour rapprocher le plan net sur la partie de l'image qui est sous l'eau.

Figure 28 SplashBag de La Sous-Exposition que j'ai pu tester sur un tournage en piscine



Figure 29 : Mi air / mi eau réalisé avec un hublot plan. Crédit : Sous-Exposition

4. DEUXIEME SOLUTION : LE DOME

Le dôme, ou « hublot sphérique » est l'outil plus couramment utilisé pour pouvoir filmer correctement sous l'eau en agissant comme un élément optique supplémentaire : un dioptre sphérique. Comme le centre du dioptre est dans le milieu le moins réfringent, il va se comporter comme une lentille divergente. L'avantage d'utiliser un dôme est qu'il corrige les phénomènes de réfraction.

La focale avec un dôme est la même dans l'air et dans l'eau. Voici une photographie que j'ai réalisée avec mon propre dôme lors d'un tournage, on constate que la perspective est identique dans l'air et dans l'eau. On peut donc utiliser des courtes focales.



Figure 30 Panasonic GH5 avec Leica 8-18mm/f2.8-4.6 et dôme Seafrog 6" à une focale de 8mm et à f4.0. MOP sur l'infini

La mise au point

Lorsqu'une caméra est dans un dôme, elle filme en réalité une image virtuelle créée par le dôme qui se comporte comme une lentille divergente. La caméra fera la mise au point sur l'image virtuelle qui est plus proche de la caméra que la position réelle du sujet.

Voici un schéma qui permet de calculer la position de cette image en optique géométrique³⁷

AB: sujet

A'B': image virtuelle

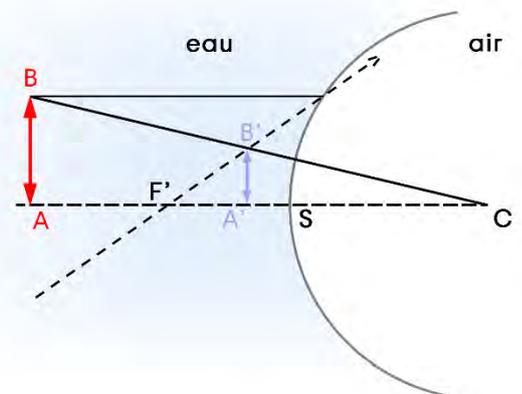
C: centre du dioptre

F': foyer image

Pour les formules suivantes on définit également les indices de réfraction suivants :

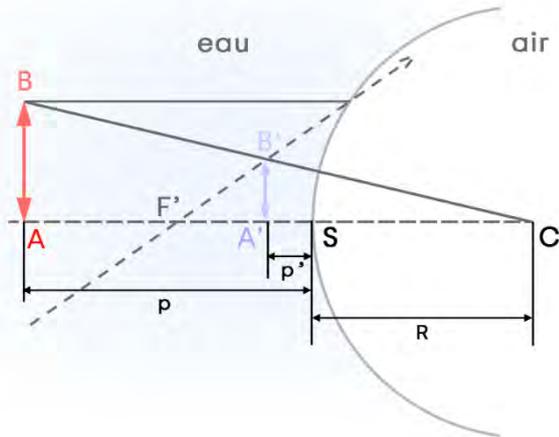
$$N = N_{\text{eau}} = 1,333$$

$$N' = N_{\text{air}} = 1,0008$$



³⁷ (Thomas, 2014)

Définissons la distance p comme la distance entre le sommet du dôme S et le point objet A , la distance p' comme la distance entre le sommet du dôme S et le point image A' , et R le rayon du dôme, c'est-à-dire la distance entre son sommet S et son centre C . On obtient le schéma suivant :



Pour calculer la distance de l'image virtuelle, il faut utiliser la formule de conjugaison du dioptre sphérique avec origine au sommet :

$$\frac{n'}{p'} - \frac{n}{p} = \frac{n' - n}{R}$$

La distance de l'image virtuelle p' est égale à :

$$p' = n' \times \frac{p \times R}{n \times R + (n' - n) \times p}$$

Dans notre cas :

$$p' = 1,0008 \times \frac{p \times R}{1,333 \times R + 0,3322 \times p}$$

Quand l'objet est situé à l'infini, l'image est au foyer image :

$$p' = SF' = \frac{N' \times R}{N' - N}$$

On obtient ainsi que $p' = \frac{1,0008 \times R}{1,0008 - 1,333} = -3,034 \times R$ donc $p' \approx -3R$

À présent définissons D comme la distance entre l'image virtuelle A' et le centre du dôme. On obtient alors si l'objet est à l'infini que $D = 4R$

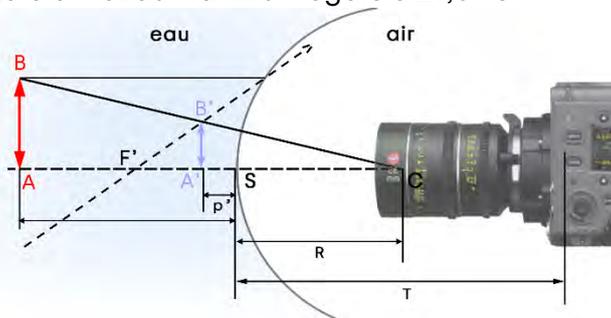
Ainsi, pour un objet situé à l'infini, l'image virtuelle sera approximativement à une distance égale à 4 fois le rayon du dôme. Approximativement car dans ces calculs nous avons négligé l'épaisseur et l'indice de réfraction du verre constituant le dôme, ce qui n'a pas un impact significatif en pratique.

Application

Prenons un dôme d'un diamètre de 6 pouces (comme mon dôme Seafrog) d'un rayon d'environ 7,62 cm. À l'aide de la formule de distance de mise au point, j'ai constitué le tableau suivant avec pour rappel « p » la distance entre l'objet et le dôme et « p' » la distance entre l'image virtuelle et le dôme, on obtient les valeurs suivantes :

p (cm)	p' (cm)
1	1
2	2
5	5
10	11
15	23
20	46
25	118
26	155
27	219
28	355
29	840
30	-3032

Pour ce dôme un objet situé à l'infini donne une image située à environ $4 \times 7,62 = 29,04$ cm. Après cette distance, l'image sera rejetée de l'autre côté du dioptre et il sera impossible de faire le point dans le dôme. Pour trouver la valeur de la distance de mise au point entre le capteur et l'image du dôme il faut ajouter à « p » la distance entre le sommet du dôme et le plan capteur de la caméra, on nommera cette distance T. N'importe quel sujet dans l'eau sera net pour une distance de mise au point qui sera, au minimum égale à T et au maximum égale à $29,04$ cm + T



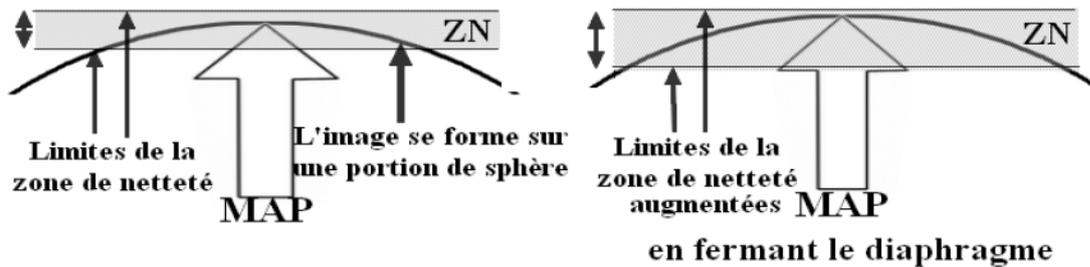
En conclusion, il faut choisir des optiques qui ont une distance de mise au point minimale égale ou inférieure à 4 fois le rayon du dôme (2x le diamètre) auquel on ajoute la distance capteur/sommet du dôme pour avoir le point à l'infini.

Idéalement, il faut choisir une optique qui permette d'avoir le point jusqu'au sommet du dôme pour faire de la macrophotographie.

Pour utiliser des optiques qui n'ont pas une distance de mise au point minimum suffisante, on peut utiliser des bonnettes qui vont raccourcir la distance minimum de mise au point ou « décaler » volontairement l'objectif à l'aide de cales placées entre la monture et l'optique.

La courbure de champ

Comme l'image virtuelle produite par le dôme n'est pas plane, le « plan » de mise au point n'est pas un plan comme en prise de vue terrestre mais une **portion de sphère**. En filmant un objet plan comme une mire avec un dôme, on observera une perte de point sur les bords de l'image. On peut réduire ce défaut de mise au point en fermant le diaphragme.



Précision une chose : cela ne veut pas nécessairement dire qu'en prise de vue face à une scène sous-marine les bords de l'image seront nécessairement flou avec un dôme. Il faut juste prendre en compte ce paramètre et ajuster la distance de mise au point en fonction de la position du sujet dans l'image. En revanche, des phénomènes d'aberrations et de distorsions vont être présents, mais dans des quantités moindres qu'avec une vitre plan.

Également, on peut noter que plus le dôme est grand par rapport à la taille du capteur, moins la courbure de champ est importante pour une même focale.

Pour un plan mi air / mi eau, il sera préférable de prendre un dôme plus grand car la peau de l'eau sera « tordue » si elle n'est pas alignée avec l'axe optique. Les grands dômes sont utilisés par les photographes surfeurs pour limiter ce phénomène.



Figure 31 : Peau de l'eau déformée par le dôme

Solutions pour limiter la courbure de champ

Dans les années 90, Leif Samuelsson a eu l'idée d'utiliser un presseur dorsal courbé dans un appareil photo argentique pour que le film soit incurvé dans la caméra et que cette courbure corresponde à celle du dôme. Ce système permettait de corriger le défaut de mise au point sur l'axe horizontal uniquement. En cinéma, un tel système pour les caméras argentiques aurait pu voir le jour. Pawel Achtel m'a expliqué que pour créer une caméra cinéma parfaitement adaptée pour la prise de vue sous-marine, qui pourrait utiliser les optiques terrestres derrière un dôme, il faudrait imaginer un capteur numérique de forme sphérique, malheureusement, imaginer un tel système coûterait beaucoup trop cher en recherche et développement.

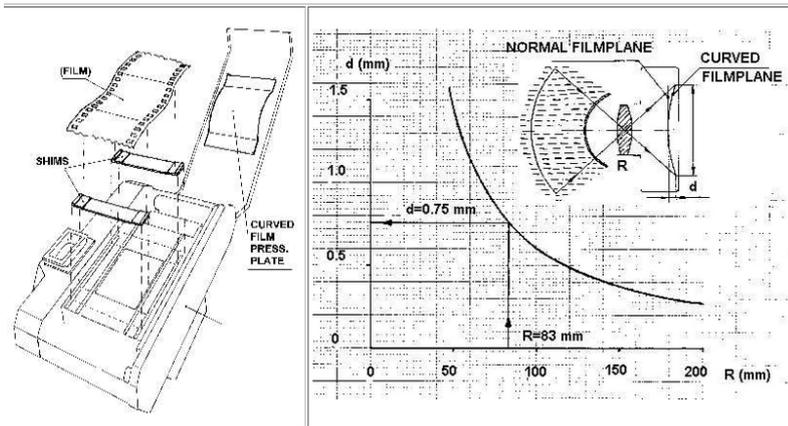


Figure 32 : Appareil photo à presseur dorsale incliné par Leif Samuelsson ;
Crédit : swipnet.se

Pupille d'entrée

Pour utiliser un dôme dans ses conditions optimales, il faut placer la caméra de façon que le centre du dôme C soit confondu avec la **pupille d'entrée de l'objectif**. Il s'agit de l'image du diaphragme vue par la face avant de l'optique. On l'appelle aussi en anglais le « no parallax point » Le point autour duquel on peut tourner la caméra sans que cela ait un impact sur la perspective car c'est ici que tous les rayons lumineux se croisent dans l'optique.

Point nodal ou pupille d'entrée ?

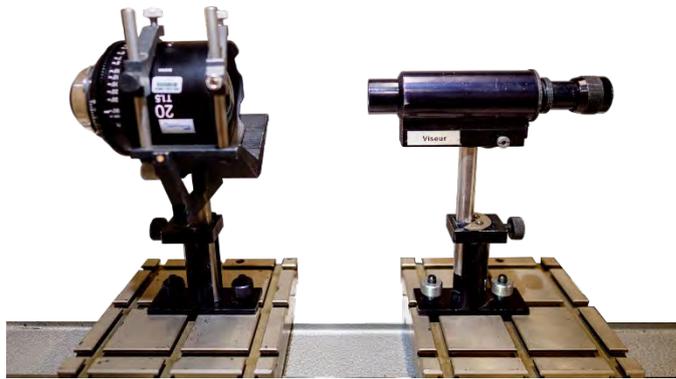
En préparant ce mémoire, je me suis fait piéger par le jargon technique. En effet, les opérateurs utilisent le terme « point nodal » pour désigner la pupille d'entrée. Or les points nodaux désignent d'autres points remarquables en optique qui sont hors sujet dans le cas de la prise de vue sous-marine.

Ce vocabulaire vient certainement du début du cinéma où l'on utilisait une « tête nodale » pour faire des rotations de caméra sans que cela n'affecte la parallaxe. Grâce à cette tête qui place l'axe de rotation de la caméra sur la pupille d'entrée, on pouvait mettre devant la caméra une peinture sur vitre transparente devant une zone de l'image à « remplacer ». Ainsi on pouvait réaliser un panoramique sans que la peinture ne bouge dans l'image. C'est un effet visuel utilisé notamment par Charlie Chaplin dans « les temps modernes » en 1936



Figure 33 : Photos illustrant l'effet spécial des temps moderne, une peinture sur vitre est placée devant la caméra au premier plan de la scène. La caméra est positionnée sur une tête nodale ce qui fait qu'opérateur peut panoter sans que le spectateur ressente la présence de la peinture par les variations de parallaxe

Mesure de la pupille d'entrée en laboratoire



Pour mesurer les lentilles S_1 et S_2 qui sont les deux lentilles extrêmes de l'optique on va placer l'optique sur un banc optique gradué avec le diaphragme refermé. On veille bien à ce que l'optique soit alignée, sans angulation et centrée avec le viseur. Ensuite, on va placer un coton-tige sur un autre support qui va venir toucher la lentille

arrière en son centre. On prend de la **poudre de lycopode** (ce sont les spores d'une mousse qui ont la particularité d'avoir une dimension bien déterminée avec une forme circulaire et qui ne sont pas abrasifs) on va en déposer à la surface de la lentille avant en son centre pour la matérialiser.



Figure 34 : Lycopodes sur la lentille arrière

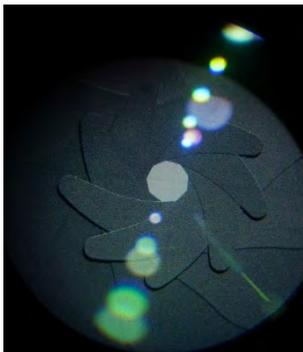
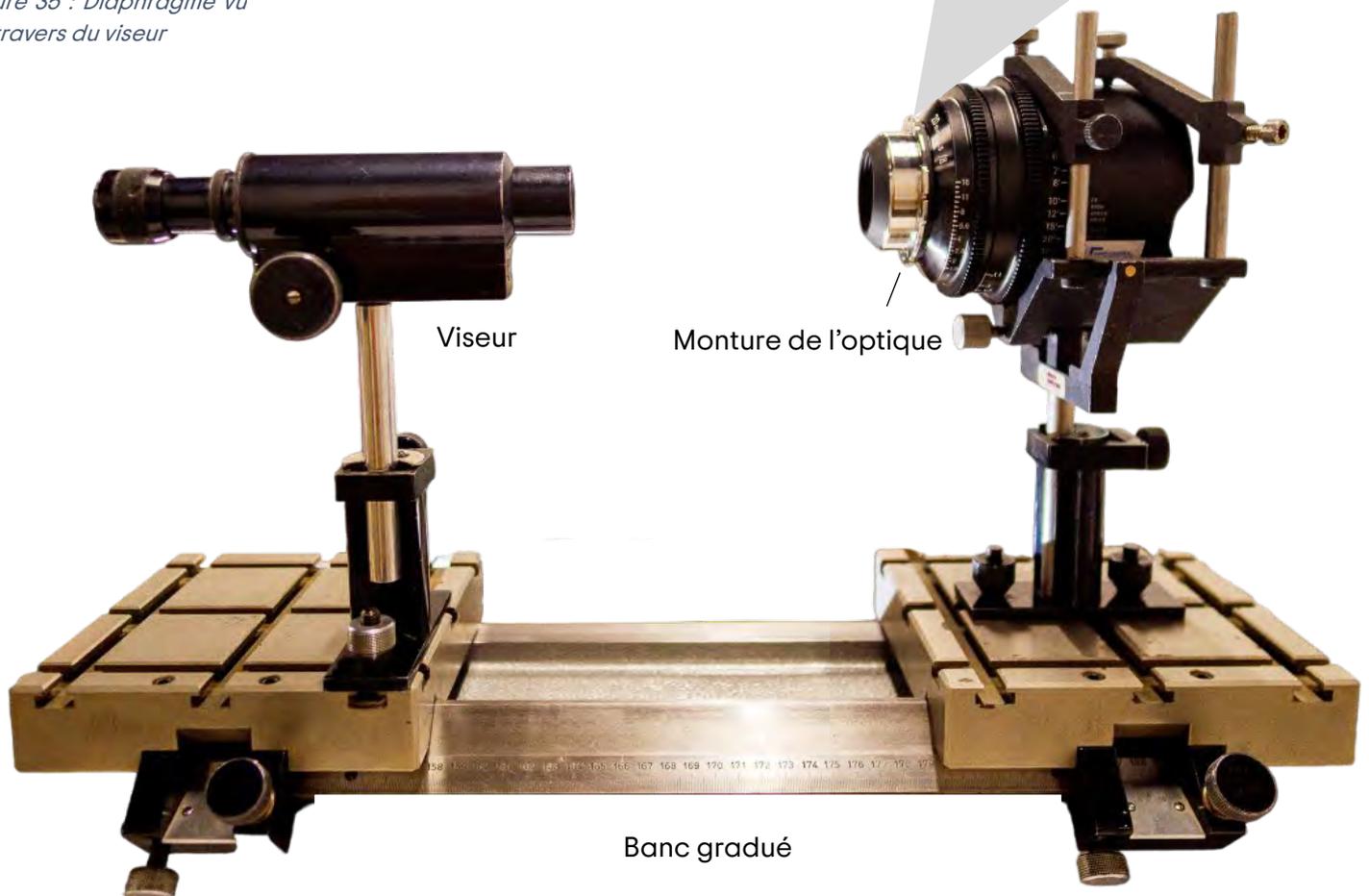
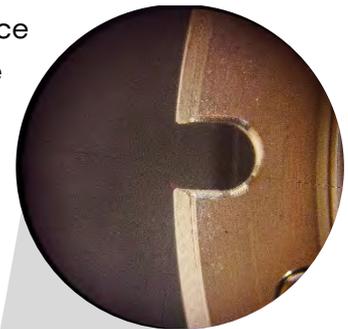


Figure 35 : Diaphragme vu au travers du viseur

À l'aide d'un **viseur**, on pourra mesurer la distance des lycopodes. Le viseur est un système optique donnant une image nette d'un objet situé à une distance fixe de sa première lentille et seulement à cette distance-là. On déplace le viseur sur le banc gradué jusqu'à ce que les lycopodes soient nets au travers de celui-ci et on note la valeur



Viseur

Monture de l'optique

Banc gradué

mesurée. On va ensuite avancer le viseur jusqu'à ce que ce soit le centre du diaphragme qui soit net. On note cette deuxième valeur. On connaît ainsi la distance entre la pupille d'entrée P_E et la frontale S_1 . On enlève ensuite délicatement l'optique sans toucher au coton-tige et on avance le viseur pour obtenir S_2 lorsque le bout du coton-tige est net. À ce stade on connaît la distance S_1S_2 et la position de P_E .

À partir de là, on va choisir un repère à l'extérieur de l'optique duquel il sera pratique de mesurer la distance avec la pupille d'entrée lors des essais caméra. Avec Pascal Martin, nous avons choisi arbitrairement le point M qui représente la zone de contact de la monture PL avec le corps caméra de l'optique mesurée, (on pourrait très bien aussi mesurer l'extrémité avant du fut en métal qui entoure la frontale par exemple, la démarche reste la même). On retire le coton tige et son support. On place l'optique dans l'autre sens pour placer des lycopodes sur la lentille arrière cette fois. On note la nouvelle valeur du viseur pour S_2 , et on va faire une translation horizontale du support du viseur vers la gauche ou la droite de façon à être aligné cette fois avec la monture de l'objectif. On note la valeur de M et on connaît ainsi la distance S_2M .

5. Les moyens alternatifs aux dômes et aux vitres plans ?

Il existe deux autres méthodes pour faire une image sous-marine et que nous testerons pendant les essais :

Les optiques Nikonos

Les optiques Nikonos ont été inventés par Nikon pour leur boîtier photo argentique du même nom. Le Nikonos a la particularité de ne pas disposer de caisson, le boîtier peut directement aller dans l'eau. L'optique est immergeable et se fixe au corps du boîtier grâce à un joint torique pour l'étanchéité. Dans le cadre de ce mémoire, et sur les conseils de Pawel Achtel, j'ai acheté une optique Nikonos 15mm. Il s'agit d'une optique qui est calculée spécialement pour l'indice de réfraction de l'eau. Il est donc moins sujet aux aberrations qu'une optique avec un dôme mais ne peut être utilisé que dans l'eau ! Il s'agit d'une optique plein format pouvant ouvrir jusqu'à f2.8. Sur les cotés de l'optique se trouvent deux bagues, l'une permettant de changer la distance de mise au point et l'autre le diaphragme, en tournant les bagues, s'affiche sur les graduations de l'optique la distance et l'étendue de la zone de netteté.



Les Wetlens

La wet lens est un élément optique que l'on rajoute par-dessus le hublot plan d'un caisson pour agrandir l'angle de champ de l'optique

Pour nos essais nous utiliserons la wet-lens WWL-C 130 qui permet de passer d'un angle de champ en diagonale de 84° pour un 24mm à 130° pour un 28mm.



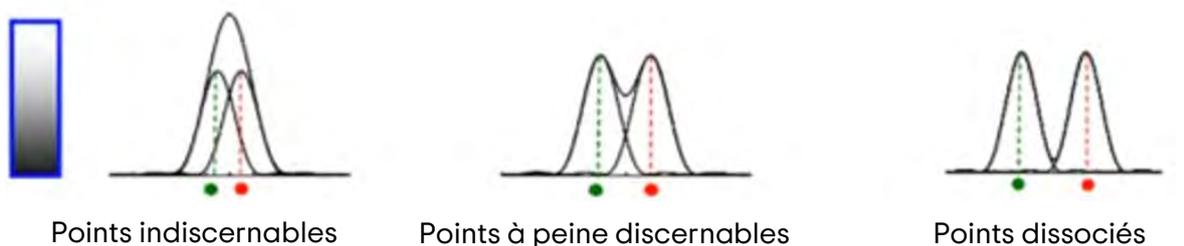
CHAPITRE 3 : LES ESSAIS OPTIQUES SOUS-MARINS

Introduction à la fonction de Transfert de Modulation ou FTM.

Utilisée en optique depuis les années 70, la fonction de transfert de modulation est une technique d'analyse d'image qui permet de mesurer les qualités optiques des objectifs en déterminant leur capacité à transmettre les fréquences spéciales en fonction du contraste

Lorsque la lumière en provenance de deux points lumineux traverse un système optique, l'image qu'en fera le système ne sera pas parfaite, on dit que le système ne possède pas un stigmatisme rigoureux. Si les points sont trop rapprochés ils ne seront pas « résolus » correctement par le système optique (l'objectif).

Lorsque la distance D est trop faible entre les deux points lumineux, les images qui en seront faites par le système optique seront confondues, c'est-à-dire que les deux points ne seront pas distinguables. Il faut donc augmenter la distance D entre les points pour que leurs images soient correctement résolues. Voici un schéma qui représente la répartition en intensité du phénomène. À gauche, l'image des points par le système optique ne permet pas de les distinguer tandis que sur le schéma de droite ils le sont. Le sommet des courbes représente le pic d'intensité lumineuse reçue par le capteur et la base des courbes l'absence de lumière. On appellera la valeur mesurée en ordonné la **transmission**.



Pour les trois courbes, voici ce que l'on observerait sur un écran :

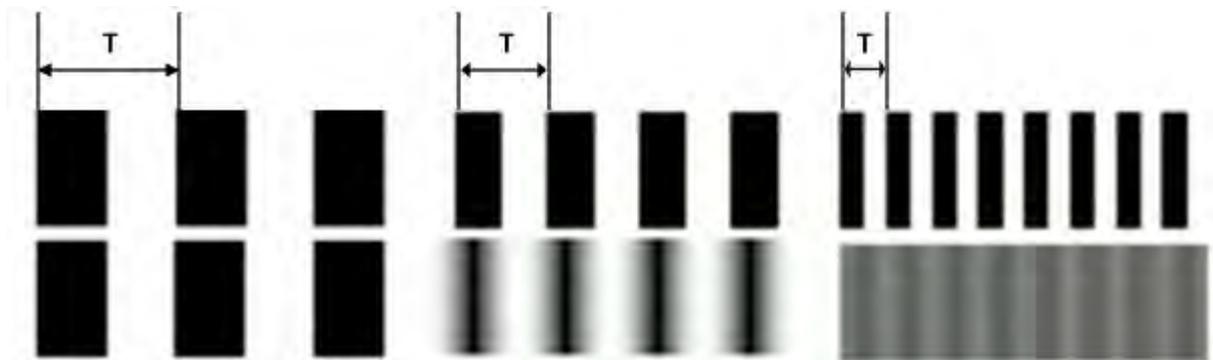


L'idée derrière la FTM est de créer une mire qui nous permette de pouvoir observer le phénomène et de mesurer la limite de résolution du système optique. Les mires qui permettent de faire cette mesure sont généralement constituées d'une alternance de rectangles blancs et noirs de plus en plus fin.



Sur la ligne du haut est représenté le motif la mire. Sur la ligne du bas nous avons l'image de la mire par le système optique.

La FTM mesure la résolution à partir de la fréquence spatiale. Pour définir la fréquence spéciale il faut déterminer une période. Nous prendrons comme période la distance T qui sépare une transition du blanc vers le noir de la prochaine transition du blanc vers le noir :



On peut constater qu'au fur et à mesure que ces lignes se rapproche, la période diminue et donc la fréquence spéciale augmente puisque $F=1/T$. Visuellement on peut dire que les lignes perdent en netteté quand la fréquence augmente et qu'elles tendent vers une sorte de gris uniforme. On peut conclure que **le contraste diminue lorsque la fréquence spatiale augmente**.

La fonction de transfert de modulation

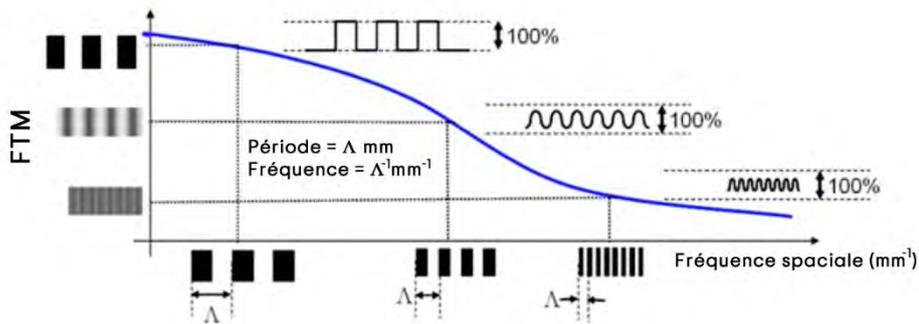
Définissons d'abord la modulation :

$$\text{Modulation} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \text{ Avec } I \text{ l'intensité lumineuse}$$

Dans le cas d'une mire filmée par un objectif parfait, le minimum sera de 0 pour l'intensité du noir et 1 pour l'intensité du blanc. Dans le cas d'un système optique qui n'est pas rigoureusement stigmatique, la modulation sera de plus en plus faible au fur et à mesure que les barres se rapprochent, donc que la fréquence augmente, la modulation va finir par devenir nulle. Ainsi la modulation est « fonction » de l'espacement entre les barres (dépendante). Ainsi on peut définir la fonction transfert de modulation comme la modulation comme étant

$$\text{Modulation (en paire de lignes par millimètre)} = \frac{\text{Modulation de l'image obtenue}}{\text{Modulation de l'image idéale}}$$

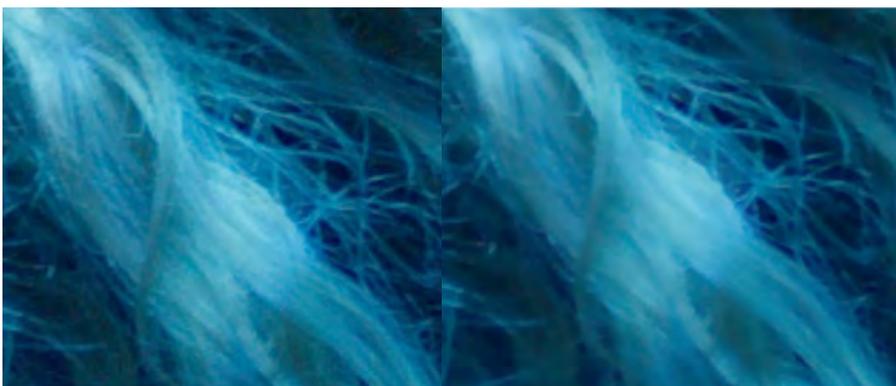
Traçons une courbe avec en abscisse la fréquence spatiale en paire de ligne par mm et en ordonnée la FTM, voici ce que nous allons obtenir pour un système optique devant une mire :



À l'origine, la fréquence est faible, les traits sont parfaitement dissociables par le système et la FTM est égale à 1. Lorsque la fréquence augmente, les traits commencent à être confondus. On appelle cette région les « hautes fréquences ». Ce sont les micro-détails qui sont préservés pas le système optique. Si l'on coupe les hautes fréquences, on perd ces micro-détails. OK

Les hautes fréquences sont très intéressantes à étudier pour les optiques cinéma car elles varient beaucoup d'une optique à l'autre : certaines sont réputés pour être plus « flatteuses » car plus douces pour la peau. Si l'on compare les FTM d'une optique réputée plus « douce » et de l'une réputée plus « sharp », on se rend compte que l'optique la plus douce coupe en réalité assez vite les hautes fréquences. Attention cependant, couper les hautes fréquences ne revient pas à appliquer un flou global sur l'image, car les forts contrastes sont préservés, ce sont les micro-contrastes qui disparaissent. OK

Voici une image extraite de ma partie pratique de mémoire, à gauche un l'image originale, à droite la même image en utilisant un filtre qui coupe les hautes fréquences (=micro-contrastes) sur le logiciel Davinci Resolve (plug-in texture pop)



On peut voir une perte de détail comme si l'optique était plus douce/moins performante.

Nous allons donc utiliser la FTM pour mesurer les performances des systèmes optiques en sous-marin. Ce qui va nous intéresser, c'est la différence qu'il y aura entre les optiques au centre et sur les bords de l'image.

Essais caméra



Figure 36 : Corps caméra sur une grande semelle pour pouvoir trouver la pupille d'entrée

Un jour avant le tournage, nous avons organisé nos essais chez le loueur. Le problème (sinon on pense que c'est l'optique) pour Jacques Ballard était d'adapter la semelle de sa caméra pour que le caisson Subspace puisse abriter la Sony Burano. En effet, la caméra doit être positionnée au centre du dôme. Nous reviendrons plus en détail sur la préparation du caisson dans la partie 4 du mémoire.

Ma mission était de mesurer les pupilles d'entrée des objectifs que nous avait mis à disposition RVZ. J'ai commencé par le Sigma FF 20mm car je pouvais comparer la valeur avec celle obtenue en laboratoire.

Pour trouver la pupille d'entrée si l'on ne dispose pas d'un viseur et d'un banc gradué, il faut placer la caméra sur une tête avec une grande semelle. Nous avons utilisé une tête O'connor qui précise le centre de l'axe de rotation du pied. On peut utiliser n'importe quelle caméra, du moment qu'elle dispose de la bonne monture et de la bonne couverture pour l'optique que l'on souhaite essayer.

Figure 37 : Une fois la pupille d'entrée trouvée, on marque un repère pour pouvoir la placer dans le dôme



On place deux repères, l'un à environ un mètre et l'autre à trois mètres de la caméra. Le deuxième repère peut être placé directement sur un mur par exemple. Une fois le pied bullé et la caméra en place, sur le monteur il faut veiller à ce que les deux repères soient confondus au centre de l'image, l'un derrière l'autre. En tournant la caméra sur son axe, on constate qu'à cause de la parallaxe, les deux points se décalent lorsque que l'on tourne la caméra. L'idée est de changer la position de celle-ci sur la semelle jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de changement de parallaxe lorsqu'on la fait tourner. Lorsque le centre du pied est aligné avec la pupille d'entrée de l'optique, les deux repères restent confondus peu importe leur position dans l'image et la rotation de la caméra sur l'axe horizontal.

Voici les valeurs que nous avons obtenues. La mesure trouvée en laboratoire était de 3.48cm pour le sigma FF 20mm

Optique	Distance de la pupille d'entrée par rapport au pare soleil (vu de dessus)
16-35mm Sony GM	20mm
20mm Sigma FF	3,4cm
Zeiss Suprême Prime 18mm	4cm
32mm Anamorphique X2 Atlas Orion	4,5cm (extrémité droite du pare soleil)
15-30mm Zeiss LWZ FF	3,7cm (en position 15mm)

Un moyen de confirmer approximativement cette valeur est d'observer directement la face avant de l'optique avec les yeux. Il faut que la « sensation » de profondeur du diaphragme visuellement corresponde à la valeur trouvée par le test. Ce que nous avons réalisé en laboratoire de façon plus précise

Fabrication de la mire FTM

Tout d'abord je suis allé chez Dxo, pensant que je pourrais me procurer une mire de test usagée qui pourrait être utilisée qu'une seule fois dans l'eau. Le problème, toutes les mires sont imprimés en papier et il y avait un grand risque que celui-ci se dissolve dans l'eau. J'ai donc fait imprimer une mire sur PVC 3mm d'épaisseur chez un imprimeur, H2Impression, impressions pour la décoration

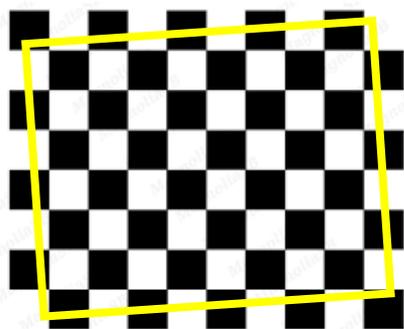


Figure 39 En jaune : motif de découpe pour que la mire finale ait un damier incliné

pour que la mire soit suffisamment grande pour couvrir l'ensemble du capteur. Jacques a décidé de réaliser une mire de façon à ce que l'on puisse avoir une distance pendant les tests, même avec les grands angles ou l'anamorphique. Il a prévu une quantité d'eau entre la mire et la caméra représentative d'un tournage, ainsi qu'une distance au dôme qui corresponde à une distance de mise au point convenable pour un tournage.

La taille maximum proposée par l'imprimeur était de 1m30 par 2m (une fois la mire découpée). Le motif de damier doit être imprimé droit pour qu'il soit aligné avec les têtes d'impression. J'ai ensuite découpé la mire à l'aide d'une scie à l'école avec un angle de 7°. C'est cette angulation qui permet de mesurer la FTM car les angles et les lignes ne sont plus alignés avec les pixels du capteur.

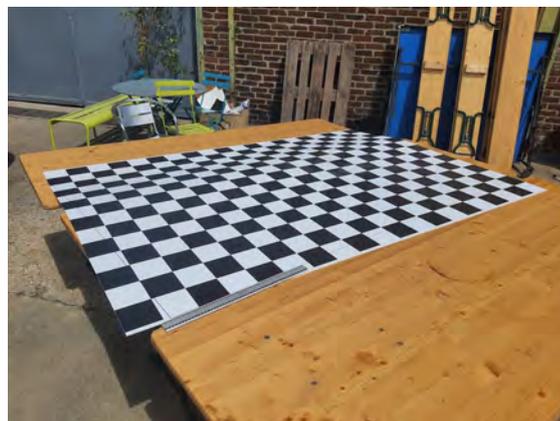


Figure 38 Découpe de la mire à Louis Lumière

Installation de la mire au Stade nautique Youri Gagarine

Le club de plongée de Ville-Juif en nous a gentiment mis à disposition la fosse à plongeurs d'une profondeur de 4,5m pendant une journée entière, cela nous permettait de pouvoir :

- Amener le matériel jusqu'à la fosse
- Préparer les caissons et la mire
- Installer la mire dans l'eau
- Faire les essais en ayant à disposition de multiples bouteilles de plongée et de l'équipement
- Sortir la mire, ranger et faire sécher le matériel.

Un directeur de plongée, Lionel Pivert, est également resté avec nous toute la journée pour assurer notre sécurité. Il m'a également aidé à installer la mire et tourner les essais.

L'installation de la mire dans l'eau fût assez complexe. D'une part, les murs de la fosse étaient inclinés ce qui n'était pas prévu. Nous avons trouvé comme solution d'accrocher la mire entre deux lignes d'eau au centre de la piscine (c'était l'endroit le plus éloigné des turbines pour éviter le courant) et nous l'avons attaché au sol avec deux ceintures de plombs. Jacques Ballard nous a suggéré d'utiliser des sandows autobloquants pour ajuster la tension dans les fils. La mire avait une flottabilité extrêmement positive et il fallut une heure de travail et plus de 20 kg de plomb pour pouvoir la maintenir au fond ! Un autre problème était que la mire n'était pas parfaitement droite. Lionel eu alors l'idée

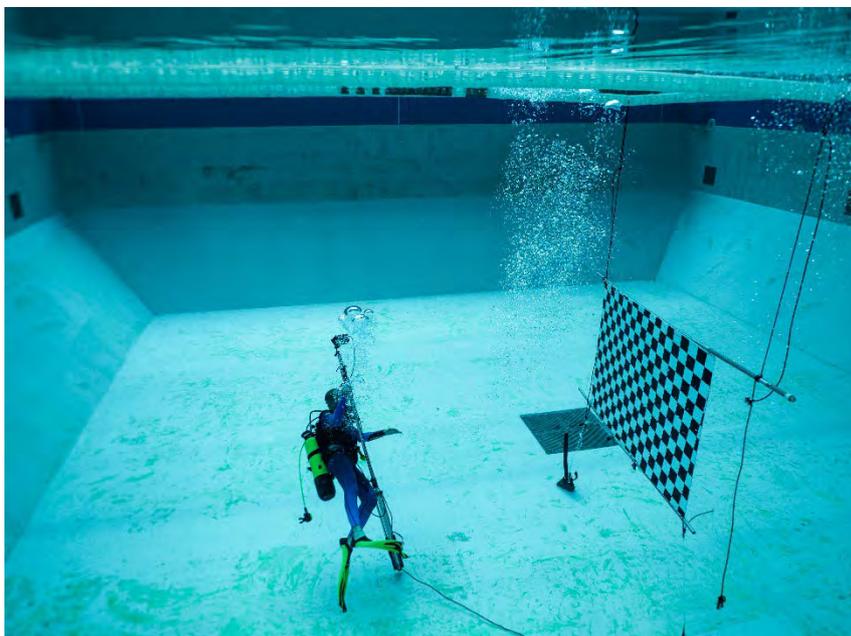


Figure 40 Installation des deux projecteurs LED – crédit photo : Pascal Martin

d'utiliser les barres de nage pour y accrocher la mire à l'aide de serre-câbles et de la suspendre entre deux lignes de nages. Grace à ce système, nous avons pu obtenir une mire plane. Elle n'était néanmoins pas aussi plane que si elle avait été plaquée contre un mur comme initialement imaginé.

J'ai ensuite installé les deux projecteurs de chaque côté de la mire. C'étaient les projecteurs LED que Jacques avait fabriqué pour The Deep House. Ils avaient un angle de faisceau suffisamment large pour couvrir toute la mire.

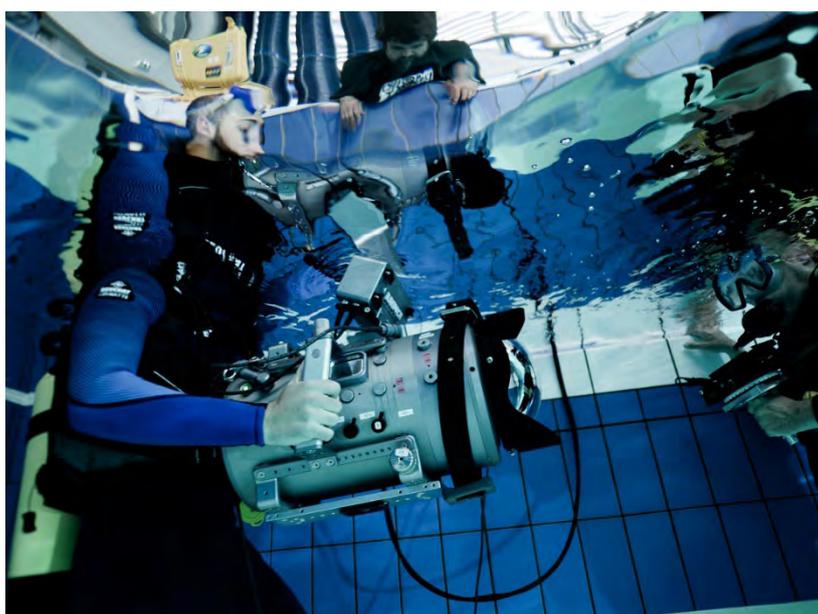


Figure 41 : Équilibrage du caisson Subspace

Le matériel

Le matériel testé était le suivant : (9'' = 9 pouces de diamètre)

CAISSON NAUTICAM & SONY A1		CAISSON SUBSPACE & SONY BURANO	
Objectif	Dôme / Lentille	Objectif	Dôme
Nikonos 15mm v2	∅	16-35mm Sony GM	9''
16-35mm Sony GM	8.53'' Acrylique	20mm Sigma FF	Verre BK7
16-35mm Sony GM	8.53'' Verre	32mm Anamorphique X2 Atlas Orion	
28mm Sony f2	Wet Lens	15-30mm Zeiss LWZ FF	

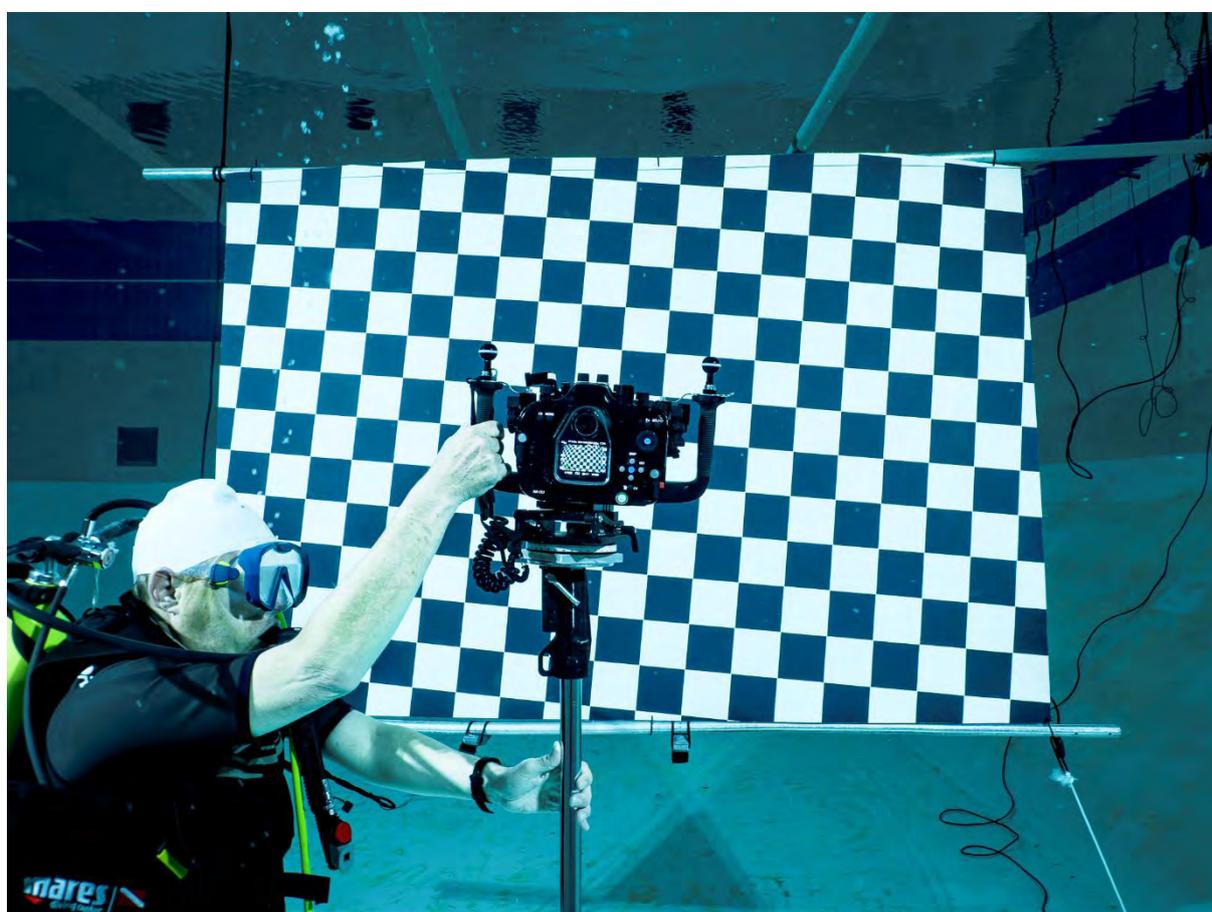


Figure 42 Test du caisson Nauticam avec un boîtier Sony A1 et l'optique Nikonos 15mm



Le tournage

Pendant le tournage, je faisais les tests avec un des deux caissons pendant que Jacques préparait le suivant. Sur la Burano, la caméra était positionnée dans le caisson de façon à ce que la pupille d'entrée soit alignée avec le centre du dôme. Il n'était pas possible de faire de même sur le caisson Nauticam car il aurait fallu une bague pour allonger la distance caisson/dôme que nous n'avions pas. Le 16-35 était positionné légèrement trop en arrière par rapport à la distance optimale avec le dôme.

La communication

Jacques pouvait nous parler directement dans un hydrophone (une enceinte sous-marine), en revanche pour pouvoir parler à Jacques, j'avais une tablette sur laquelle je pouvais écrire ou faire des signes à la caméra.

Limitation de l'expérience

Pour que le test de FTM soit réussi, il faut que le capteur soit bien parallèle à la mire. Pour ce faire, on utilise un miroir. Or, sous l'eau les aimants à l'arrière du miroir n'étaient pas assez forts pour qu'ils fonctionnent. Nous avons dû vérifier l'aplanétisme visuellement avec le retour image ce qui enlève de la précision aux tests.

Il aurait également été intéressant de tester les optiques à l'air libre pour pouvoir comparer les images obtenues. Cela permettrait de pouvoir isoler les défauts produit par l'eau et le dôme de ceux de l'optique elle-même.

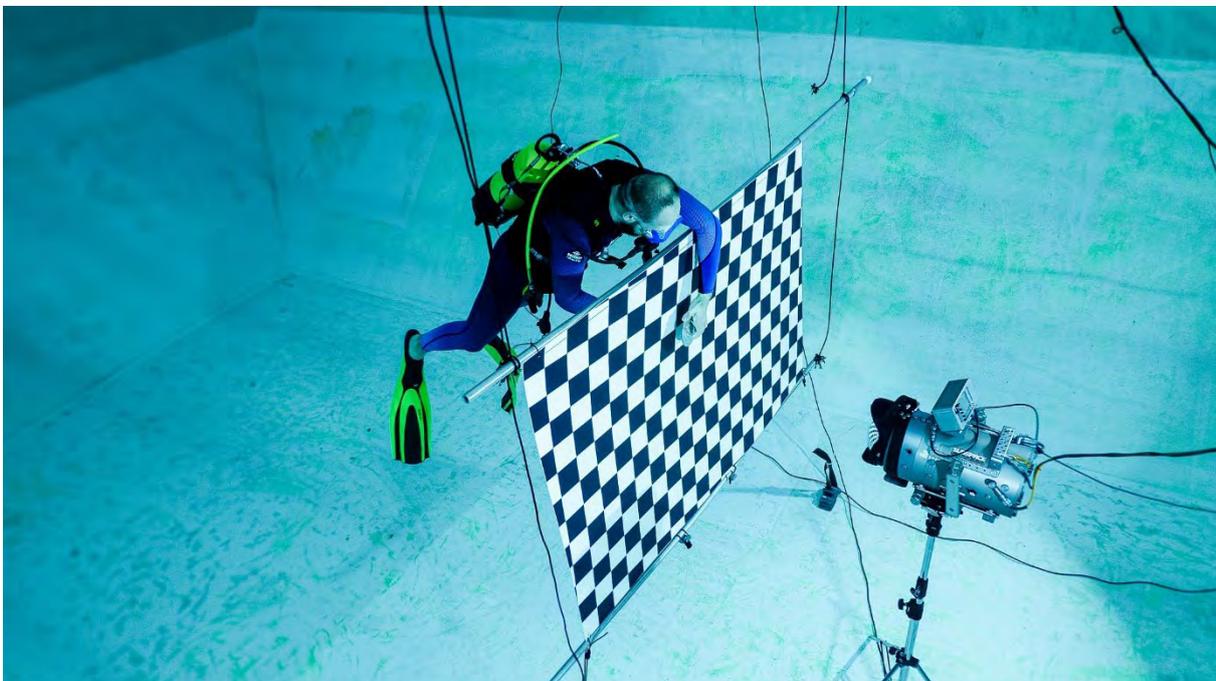
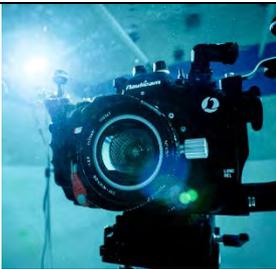
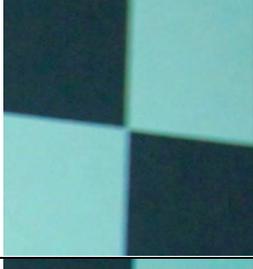
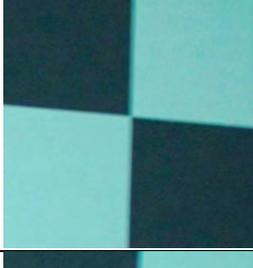
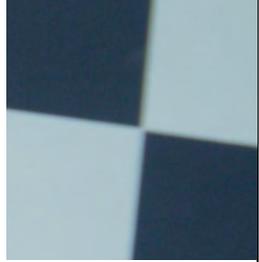


Figure 43 Vérification de l'aplanétisme à l'aide d'un miroir aimanté

SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

Les photographies dans la case « rendu » sont l'extrémité haute droite du cadre, l'échelle est identique sur toutes les photos

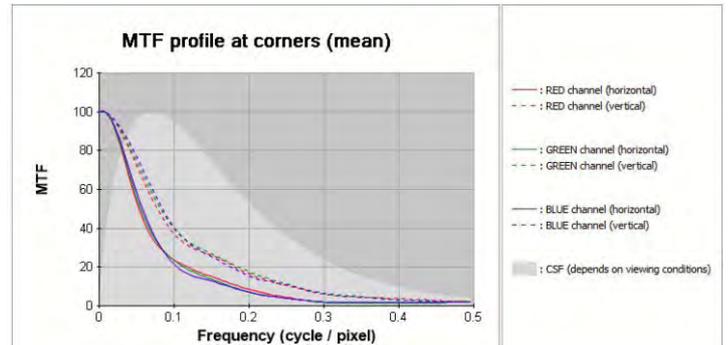
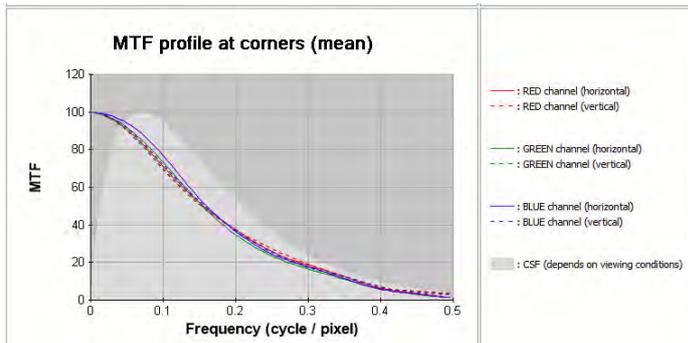
	CAMÉRA	OUVERTURE	OPTIQUE	FOCALE	RENDU	
	SONY A1	F4.5	15MM NIKONOS	15MM		
			16-35MM SONY GM DOME VERRE	16MM		
			16-35MM SONY GM DOME ACRYLIQUE	16MM		
			16-35MM SONY DOME VERRE	GM	18MM	
			16-35MM SONY DOME ACRYLIQUE	GM	24MM	
			28MM SONY WETLENS		28MM	

	CAMÉRA	OUVERTURE	OPTIQUE	FOCALE	RENDU
	BURANO	5.6	15-30MM ZEISS LWZ FF	15MM	
			16-35MM SONY GM	16MM	
			16-35MM SONY GM	35MM	
			20MM SIGMA	20MM	
			32MM ANAMORPHIQUE X2 ATLAS ORION	32MM	

Résultats de FTM sur DxO

On constate que pour le Sony a1, le Nikonos à le meilleur rendu aux extrémités de l'image. Pour les dômes ou la wetlens, on constate un vignetage et des aberrations chromatiques sur les bords qui sont plus prononcées

Voici la FTM pour les bords de l'image, entre l'optique nikonos 15mm et le zoom 16-35 sony GM derrière le dôme Nauticam en verre. On constate que l'optique Nikonos est capable de transmettre des plus hautes fréquences et est moins sujette à la distorsion.



TESTS DE FLARE



Figure 45 : 32mm Orion Atlas - essais de flare

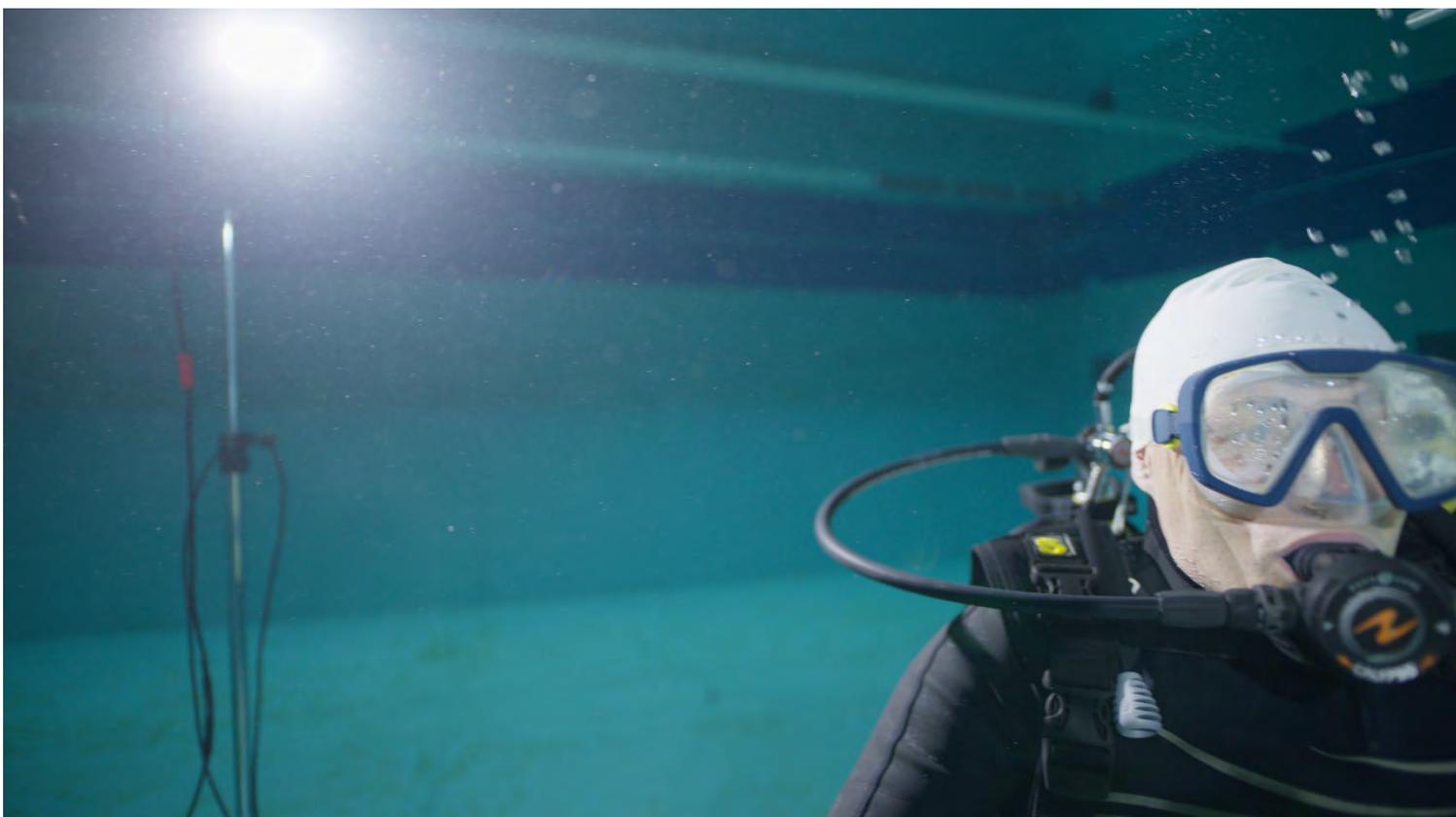


Figure 44 : 20mm Sigma FF - essais de flare

On peut noter que le sigma apporte beaucoup moins de flares colorés comme l'anamorphique, néanmoins, un effet subsiste tout de même par la diffusion de la lumière par les molécules d'eau et les particules en suspension. On remarque aussi que ces flares sont accompagnés de taches claires qui sont dus à de la poussière à l'intérieur du dôme.

CHAPITRE 4 : L'ABSORPTION DE L'EAU ET SON INFLUENCE SUR LE RENDU DES COULEURS

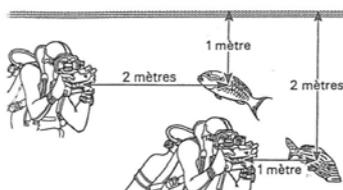
Introduction

En interagissant avec les ions et les électrons sous l'eau, la lumière perd de son énergie. Ce phénomène d'absorption a lieu dans de l'eau parfaitement pure mais est beaucoup plus important quand l'eau est chargée, avec des sédiments par exemple. L'absorption modifie la qualité de la lumière, c'est-à-dire sa composition spectrale. Les infrarouges sont absorbés dès le tout premier mètre. Les radiations correspondant au rouge, avec une longueur d'onde de 650 à 700nm sont presque complètement absorbées par une couche d'eau de 6 mètres d'épaisseur. Vient ensuite l'orange qui disparaît entre 9 et 12m, puis le jaune entre 12 et 25m et le vert entre 25 et 37m. Le bleu est la dernière couleur à disparaître vers les 100m.

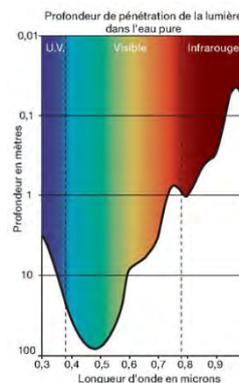
Cette tendance à la monochromie est bien plus visible sur les images qu'à l'observation visuelle directe. En effet, le cerveau cherche à compenser la perte des couleurs et met en jeu des phénomènes d'adaptation et de mémorisation que les capteurs ne font pas³⁸

Pour filmer les carnations sous l'eau et avoir un bon rendu des couleurs en lumière naturelle, il est donc nécessaire de rester très proche de la surface.

De plus il n'y a pas seulement la distance entre la surface et le sujet qui joue mais également la distance entre le sujet et la caméra. On a donc absorption = distance surface/sujet + distance sujet/caméra.



L'absorption des couleurs se fait à la fois en verticale et à l'horizontale. Sur ce dessin, dans les deux situations l'absorption est identique. En revanche les images seront différentes car il faut prendre aussi en compte le phénomène de diffusion qui va détériorer la lumière.



³⁸ (Eskenazi, 1990, p. 3)



Essais de mire colorée

Pour pouvoir mettre en pratique le phénomène d'absorption j'ai profité du stage avec la FFESSM pour réaliser avec mon binôme Pierre Letailleur une remonté de 15m jusqu'à la surface en filmant une mire de couleur. En faisant cet essai moi-même, j'ai ainsi pu connaître tous les paramètres de la caméra et les conditions météorologiques dans lequel il a été pris.

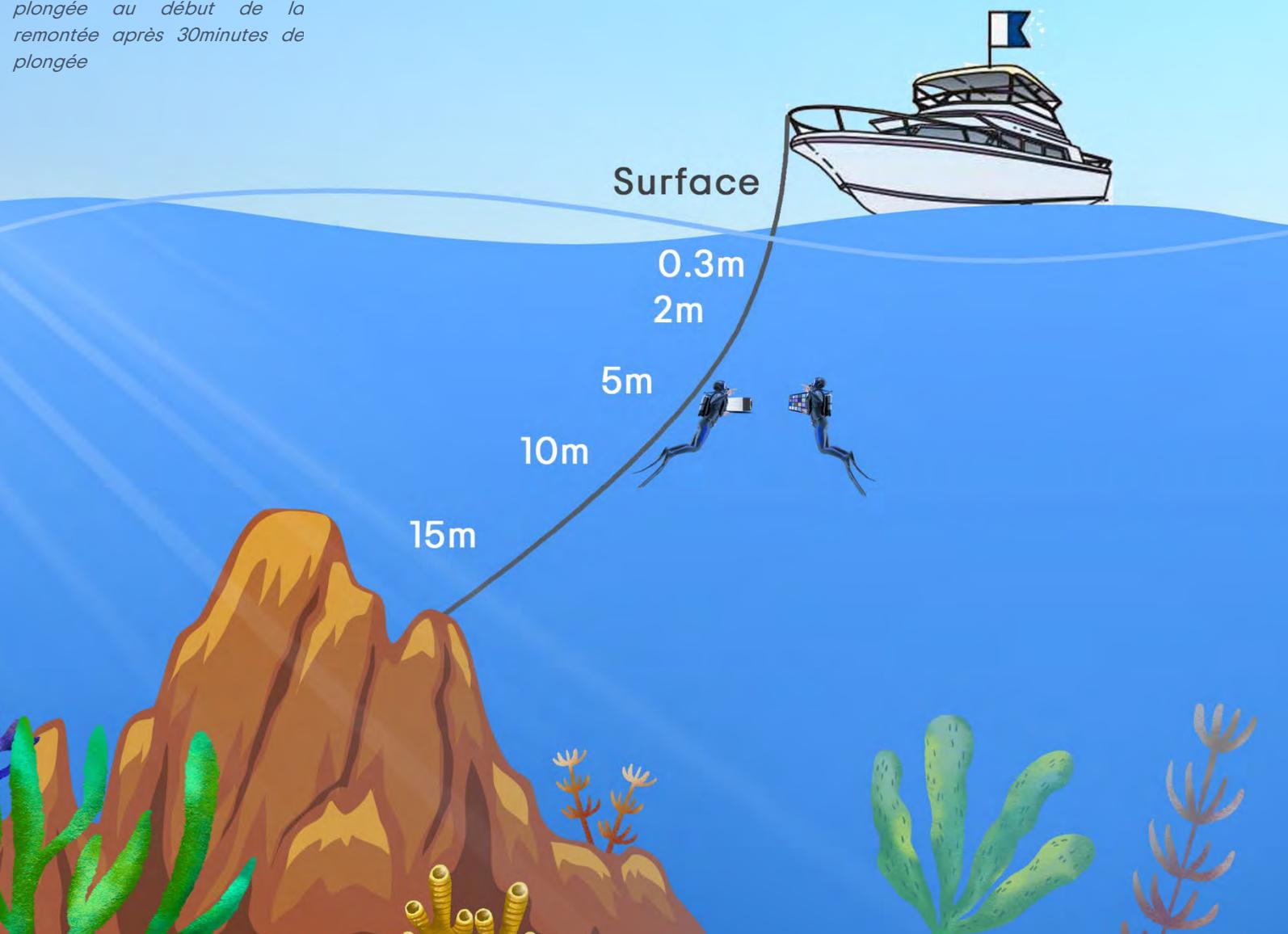
La mire colorée contient les couleurs standards : les primaires rouge vert et bleu de la synthèse additive de la lumière, les couleurs primaires de la synthèse soustractive, les carnations de peau (en haut à gauche) et d'autres couleurs remarquables en terrestre.



Déroulé de l'expérience

Après 30 minutes de plongée nous sommes remontés le long d'une corde et nous avons fait des arrêts à différentes profondeurs (voir schéma ci-dessous) puis une dernière prise de vue l'air libre à 10cm au-dessus de la surface. Entre le premier et le dernier enregistrement, il s'est écoulé 12 minutes. J'ai commencé chaque prise en filmant la montre de plongée pour connaître la profondeur.

Figure 46: Ma montre de plongée au début de la remontée après 30 minutes de plongée



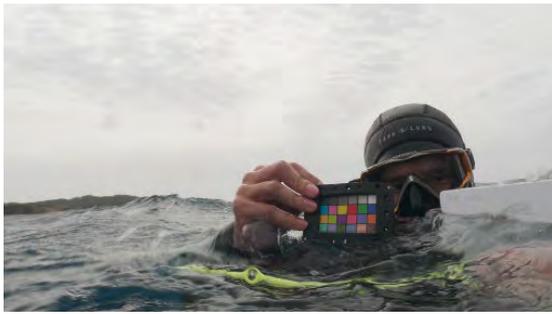


Figure 47 Photo du ciel prises juste après la remonté en fin de plongée

Le choix de la balance des blancs

Tout d'abord ce jour-là il faisait un temps gris nuageux et les nuages étaient relativement immobiles et pas de risque de fausse teinte. J'ai donc choisi de placer ma balance des blancs en nuageux soit 6300K et nous avons décidé de faire l'expérience à la remonté plutôt qu'à la descente car la mer était agitée.



Figure 48 L'expérience s'est déroulée sur la corde du bateau de plongée

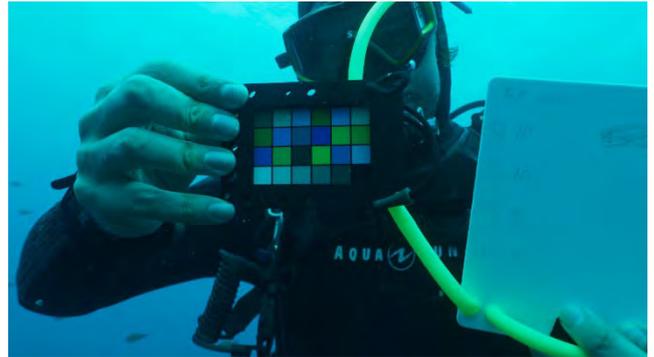


Figure 49 : Photogramme de la mire filmée à 5m Plongeur : Pierre Letailleur

Choix d'exposition

Les essais ont été fait sans éclairage artificiel. Afin d'observer l'augmentation de la luminosité pendant la remonté, j'ai choisi exposé mon image correctement à -15m (selon la mesure de la luminosité globale de mon image par mon appareil photo) ce qui nous donne une image avec un diaphragme à f5.6 pour 400 EI et une vitesse d'obturation égale à 1/50. En remontant à la surface, l'image est devenue sur exposée. En sortant de l'eau pour faire la dernière prise de vue, la mire était complètement blanche, j'ai fermé le diaphragme à f20 sur cette dernière prise pour que l'on puisse voir les couleurs de la mire.

Présentation des résultats

J'ai choisi de vous présenter ces tests sous deux formes. Une version où la variation de l'exposition est compensée et la version des rushes sans transformations à l'étalonnage.

Pour compenser les variations d'exposition, j'ai utilisé uniquement les outils de lift, gamma et gain de Davinci Resolve. Mon écran était réglé en noir et blanc (en réglant l'éclat numérique sur 0 dans les paramètres de la carte graphique). J'ai utilisé la mire de 14.9m comme image de référence dont je n'ai utilisé que la partie avec les cases contenant des niveaux de gris pour faire les comparaisons d'exposition avec les autres plans.

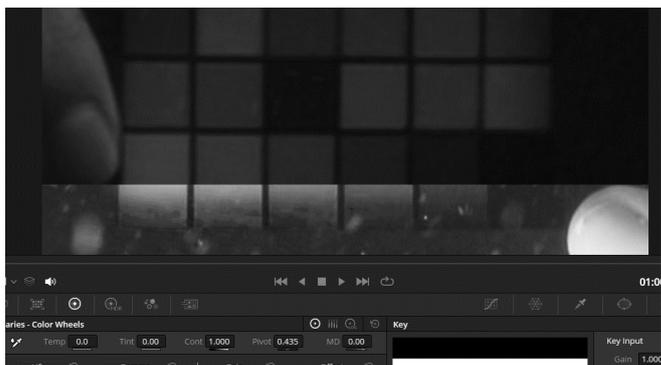


Figure 50 : Étalonnage sur Davinci Resolve.

En haut : l'image de référence aligné sur la partie grise de la mire, en bas l'image à étalonner.

L'écran d'étalonnage est en noir et blanc.

Limitation de ces essais

L'absorption des couleurs se mesure à la fois entre la mire et la surface mais aussi avec la distance avec la caméra. À la base, je voulais tendre un fils dont je connaissais la distance pour conserver la même distance mire/caméra pour toutes les prises de vues. Malheureusement, à cause du courant dans l'eau, il n'a pas été possible d'obtenir une distance fixe. Comme je connais la taille du capteur, de l'angle de champ et de la mire, en supposant qu'elle soit parallèle au capteur, ce qui est une approximation, on obtient les distances suivantes :

Profondeur (m)	-14.9	-10	-6.9	-1.9	-0.3	+0.1
Distance mire/caméra (m)	0.22	0.23	0.38	0.25	0.34	0.43
Épaisseur totale d'eau	-15,12	-10,23	-7,28	-2,15	-0,64	0,53

Également la houle a rendu la stabilisation difficile. Parfois la mire était plus haute que la caméra et inversement. L'angulation de la mire est légèrement différente sur chaque prise ce qui peut avoir un impact sur le rendu des couleurs et leur luminosité.

Information sur la prise de vue :

Caméra : Panasonic GH5 dans un caisson avec un dôme 6 pouces SeaFrog acrylique

Optique : Olympus 12-40mm f2.8, ici en 12mm avec une ouverture choisie de 5.6

Codec : 4:2:2 10bit 100mbit/s

Définition : 1920x1080

Img/s : 50

Vitesse : 1/100

Ouverture : 5.6

Sensibilité : 400 ISO

Pour l'espace de couleur, je me suis en Panasonic Vlog. J'ai créé une LUT de conversion en REC709 pour l'affichage. Cette LUT a été créée dans l'espace de travail ACES qui est celui qui a été utilisé également pour l'étalonnage des images présentées dans les pages suivantes.

Exposition équilibrée à l'étalonnage

+0.1m

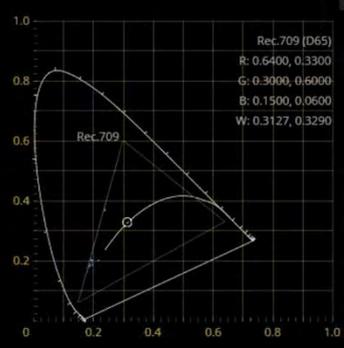
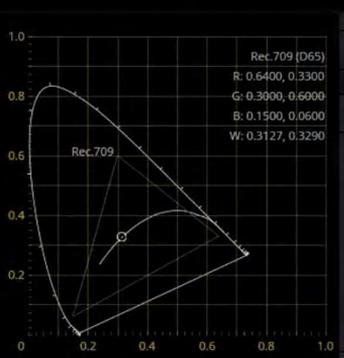
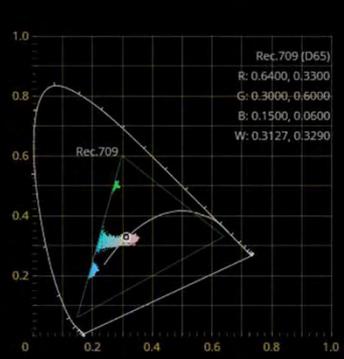
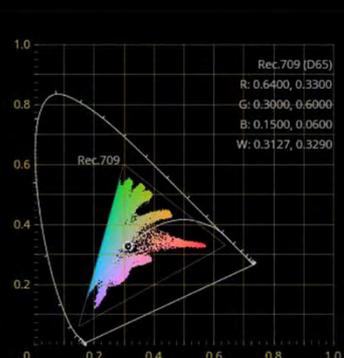
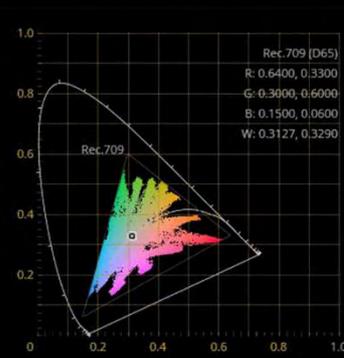
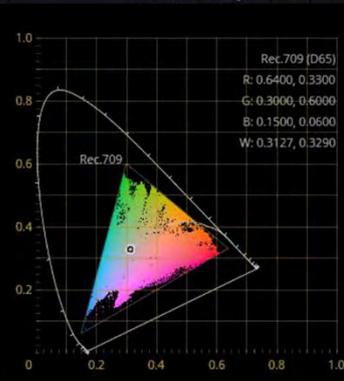
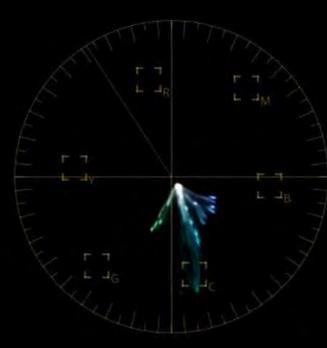
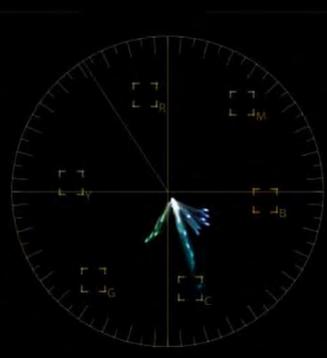
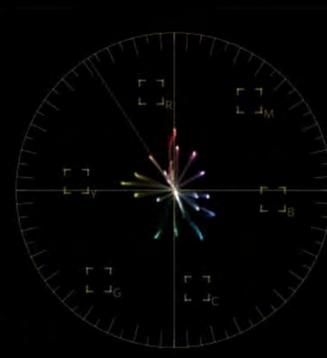
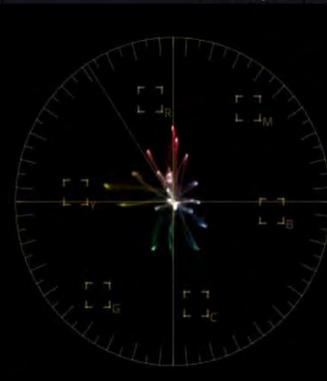
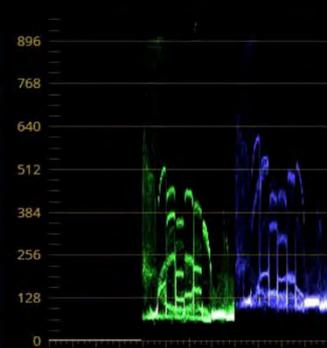
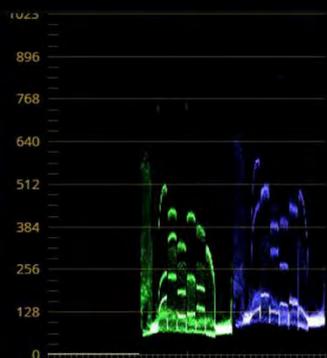
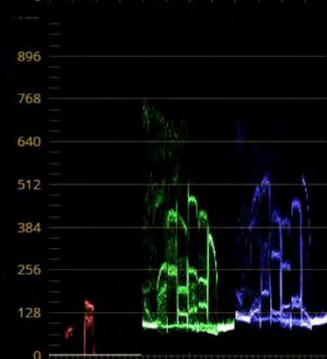
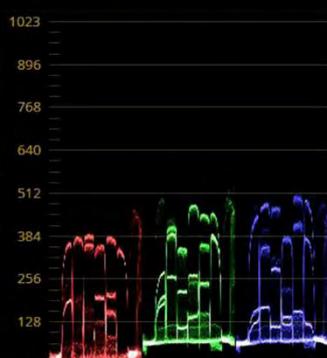
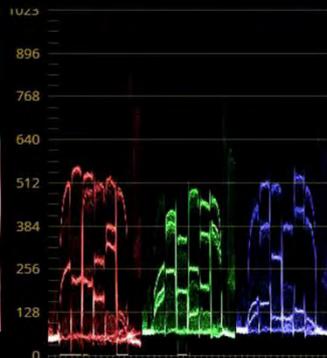
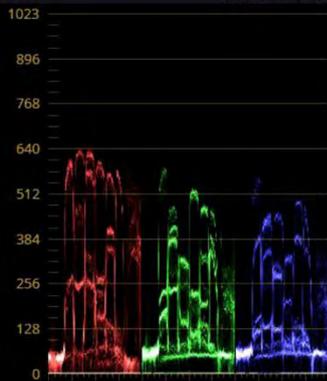
-0.3m

-1.9m

-6.9m

-10m

-14.9m



Exposition non équilibrée à l'étalonnage

+0.1m $\phi 20$

-0.3m $\phi 5.6$

-1.9m

-6.9m

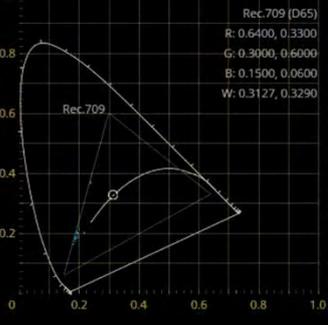
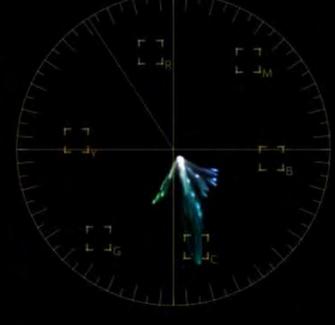
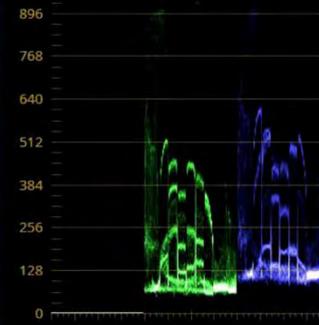
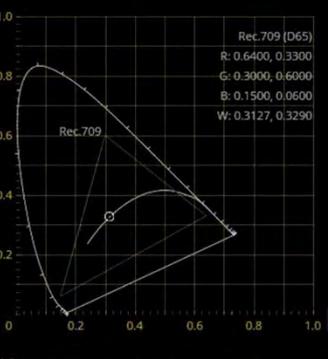
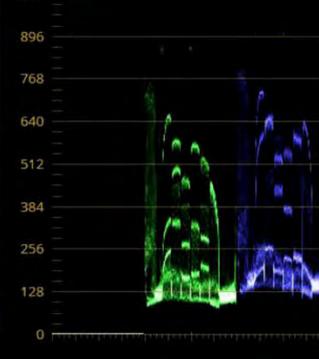
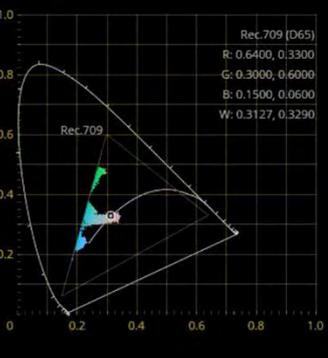
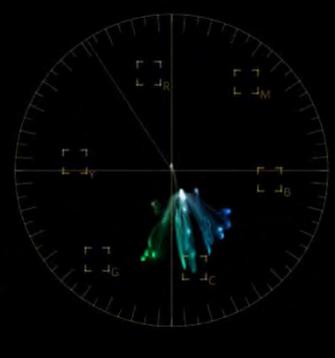
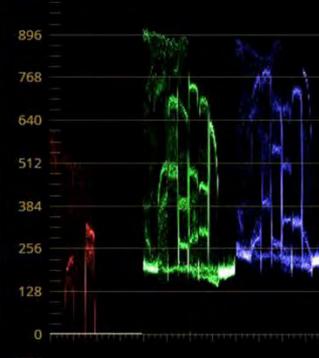
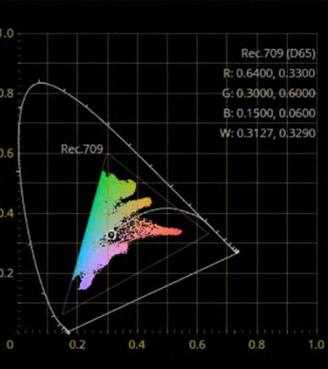
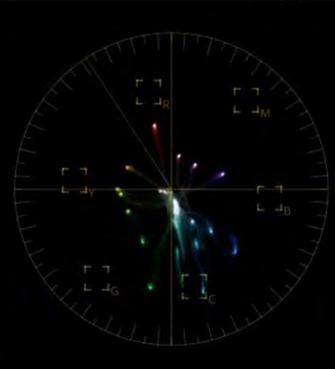
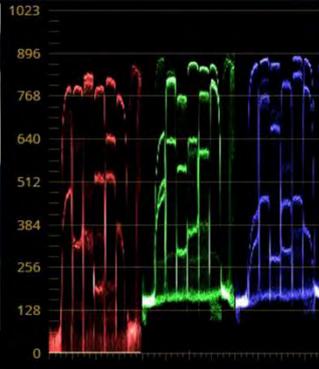
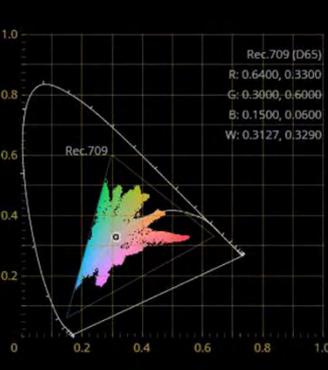
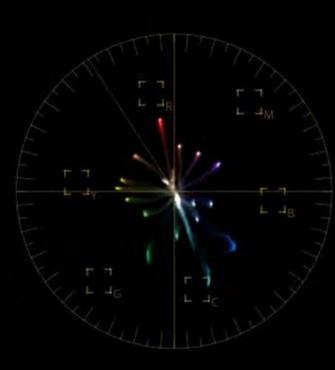
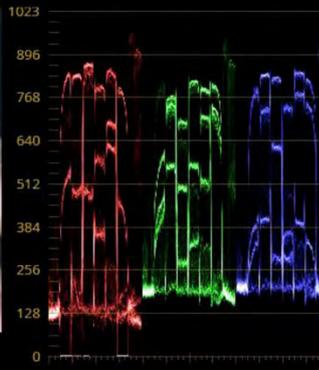
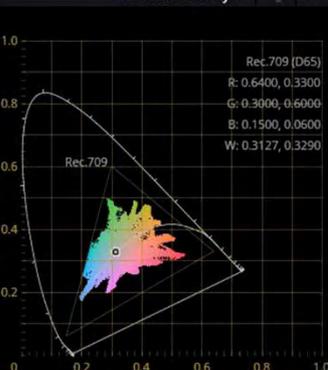
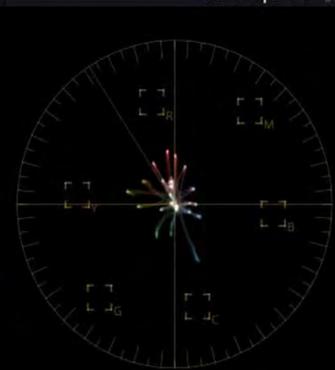
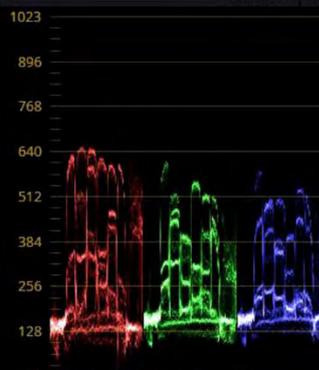
-10m

-14.9m

Parade

Vectorscope

CIE Chromaticity



Avant propos avant analyse

Avant d'analyser les résultats, il faut noter que notre cerveau utilise beaucoup le contexte pour juger d'une couleur. Voici par exemple la couleur du jaune de la mire à 14.9 m vu sur un fond blanc (code HEX : #016621) :



Si vous allez voir cette couleur en contexte sur la mire vous aurez une sensation colorée beaucoup plus proche du jaune car vous savez que cette case à cet endroit-là correspond au jaune. Votre cerveau utilise à la fois le souvenir de ce que doit rendre la mire dans des conditions normales (photo ci-dessus à droite) mais aussi les autres couleurs de l'image qui sont aussi affectées par la couleur cyan de la lumière. On peut faire un lien avec la célèbre illusion visuelle du cube coloré. Sur cette image, le carré au centre de la face ombrée est de la même couleur que le carré central de la face éclairée du dessus.

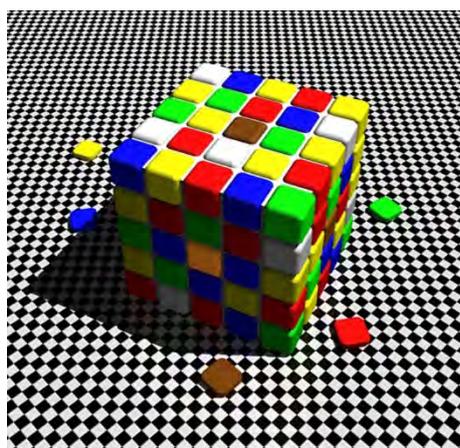


Figure 51 : Illusion du cube coloré par Dale Purves et R.Beau Lotto 2002. Crédit : researchgate.net

Pour faire cette analyse, je me sers donc à la fois de mon ressenti en contexte mais également d'un outil « pipette » d'un logiciel d'analyse d'image qui permet de voir la couleur telle qu'elle est encodée dans le fichier PNG que j'ai exporté depuis le logiciel d'étalonnage. Les fichiers PNG me servant pour l'analyse et présents sur les deux pages précédentes sont encodés en RVB 8bit dans un espace de couleur REC709.



Figure 52 : couleur rouge de la mire à 14.9m sur photoshop

Analyse des résultats obtenus

D'une manière générale, toutes les couleurs se rapproche progressivement du bleu/cyan au fur et à mesure de la descente et sont plus ou moins affectés en fonction de la présence de rouge dans leur composition.

On constate ainsi que le rouge se densifie entre la surface et 1.9m pour devenir un marron très foncé et complètement disparaître dès 10m. Le vert reste encore relativement stable même si sa teinte se rapproche progressivement du cyan. Le bleu n'est pas encore affecté de manière significative. Pour les couleurs complémentaires le cyan visuellement semble se refroidir, le magenta devient un bleu-cyan et le jaune devient vert. On notera également les deux premières cases de la mires, représentant des carnations. Elles prennent une teinte jaune verte dès 2m. On peut voir que le doigt placé (sans faire exprès) à 6.9m est d'une teinte cyan. À 14m, le cyan devient un cyan bleu froid, on est très loin de la belle couleur orangée de la peau à la surface !

À l'aide des outils d'analyse des couleurs du logiciel d'étalonnage, on est en mesure de réaliser une analyse plus objective et ainsi mieux comprendre ce qui se produit concrètement dans l'image.

Sur l'oscilloscope, qui montre l'intensité lumineuse de chaque pixel sur les canaux rouges vert et bleu, on constate que chaque canal va progressivement baisser en luminosité. Les rouges descendent très vite et le canal se vide jusqu'à sa disparition complète à 10m ! Avec une image enregistrée en REC709, toute l'information dans les rouges serait perdue et donc impossible à corriger. Attention cependant à ce que l'on analyse, c'est l'interprétation par la science des couleurs ACES d'un espace plus grand, le Panasonic Vlog sur un moniteur REC709. Si l'on demande au logiciel de ne pas faire de conversion vers le REC709, l'image prend un aspect « plat » (figure 1) mais les outils affichent à nouveau la présence du rouge. À noter qu'il est tout à fait possible de faire revenir le rouge dans l'Aces car il s'agit d'une conversion non destructive. L'information est toujours présente mais n'est pas affichée par le logiciel. La grande question est de savoir quelle correction effectuer pour retrouver une image correcte à 14m.

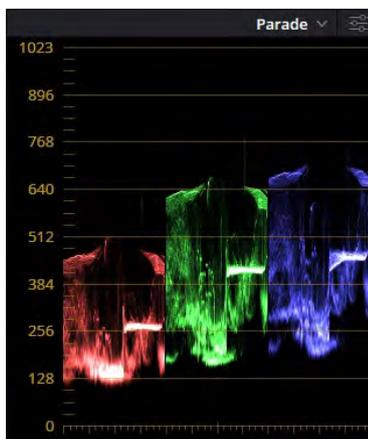
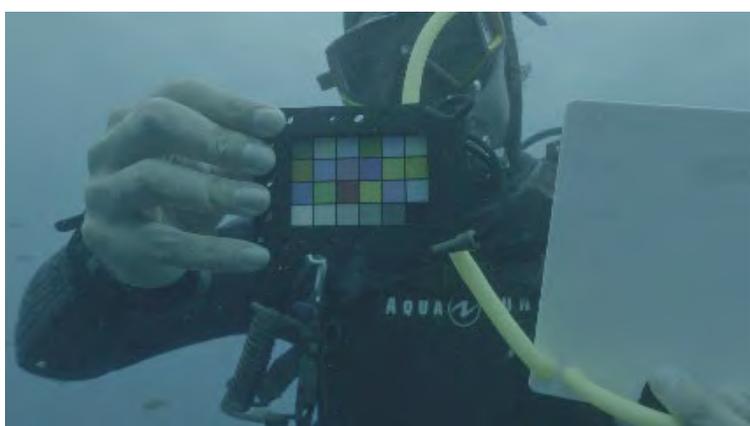


Figure 1 : Photogramme de la vidéo + parades de la mire -10m en Vlog sans conversion vers écran REC709

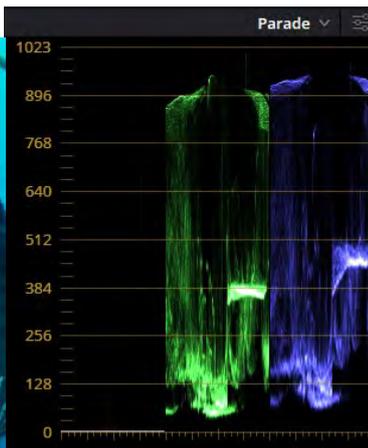
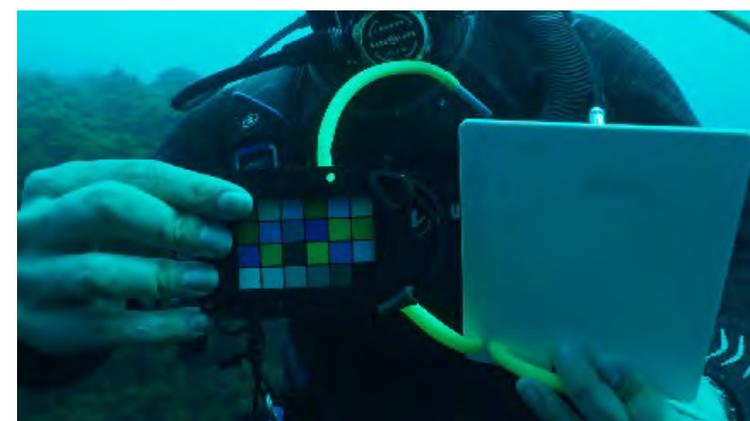


Figure 2 : Photogramme de la vidéo + parades de la mire -14m en Vlog avec conversion dans l'ACES vers REC709 par défaut sur Davinci Resolve

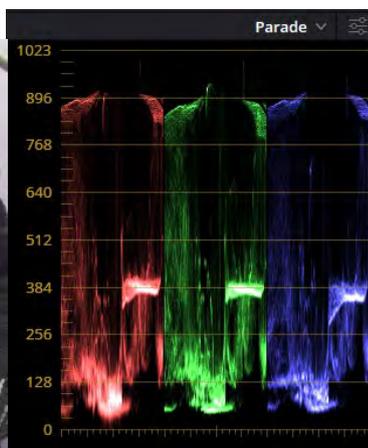
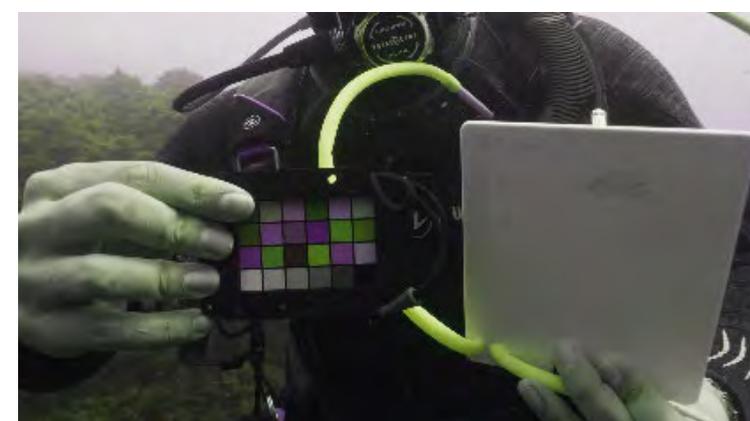


Figure 3 : Même image que figure 2 mais avec une parade corrigée en utilisant le blanc de référence sur la mire

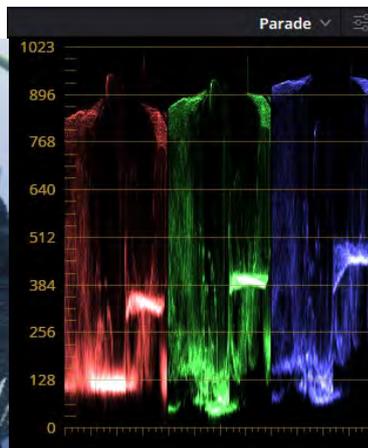


Figure 4 : Même image que figure 2 mais avec une parade corrigée manuellement avec l'offset de chaque canal pour conserver une homogénéité des couleurs

Sur la figure 3 j'ai pris le blanc de référence de la mire comme base pour que Davinci rééquilibre automatiquement tous les canaux en modifiant la balance des blancs, la teinte et l'offset de chaque canal. C'est une transformation très similaire à celle que l'on pourrait faire directement au tournage à l'aide de la sélection d'un blanc de référence dans la caméra dans le menu de la balance des blancs.

Le choix de la balance des blancs

Pour faire la balance des blancs en milieu naturelle, on peut utiliser ainsi un blanc de référence, une plaque en plastique que l'on peut présenter à la caméra. Dans le menu « Balance des blancs » on peut ainsi photographier le blanc et la caméra va choisir une balance des blancs correspondante.

Avant de commencer la remonté, j'ai fait une prise de vue avec un blanc de référence. En analysant les métadonnées, j'ai trouvé que la caméra avait choisi comme balance des blancs 8800k Voici les images obtenues :

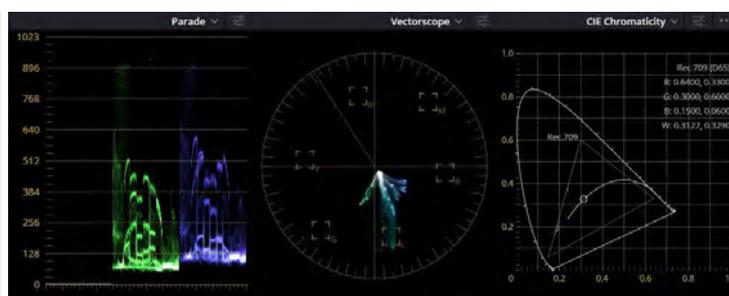
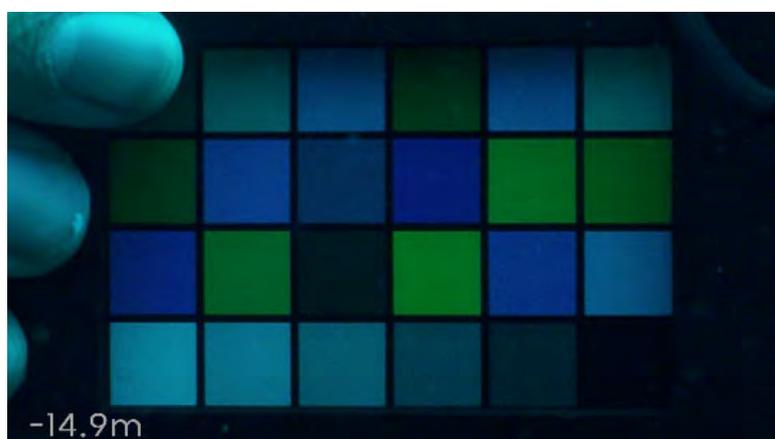


Figure 55 : Balance des blancs en nuageux et mire à 30cm de la caméra

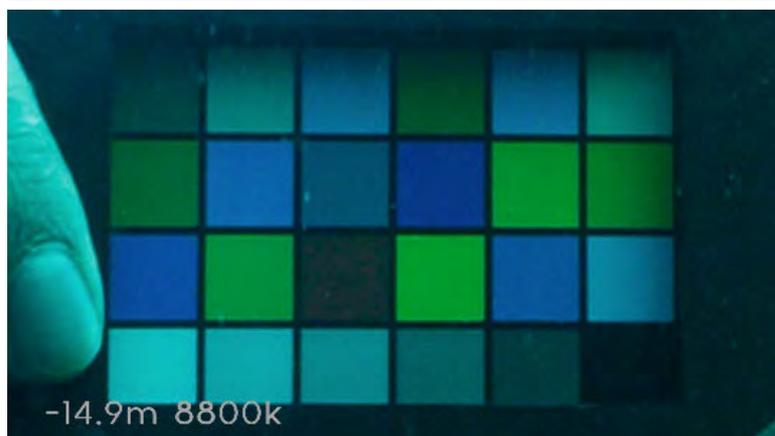


Figure 54 : Balance des blancs à l'aide d'une carte blanche de référence à 30cm de la caméra

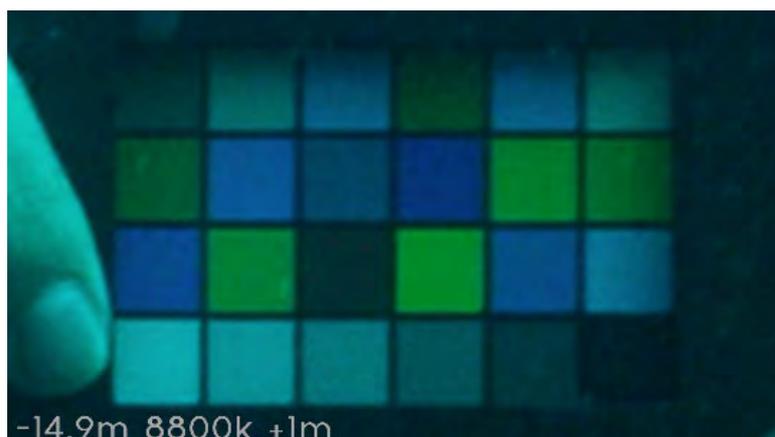


Figure 53 Même que figure 3 avec une distance de 1m avec la caméra

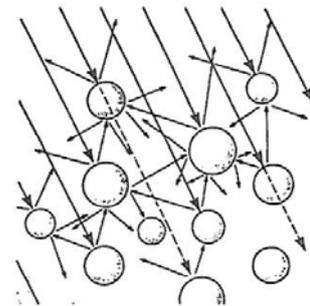
On voit ainsi que l'utilisation d'une carte blanche augmente la sensation de couleur, autre fait intéressant, elle augmente ainsi par la même occasion la luminosité de l'image, car je n'ai pas touché à l'exposition entre les deux prises de vue. Sur les parades on peut voir que les hautes et les basses lumières sont mieux alignés, on note une réapparition du rouge de manière très légère. Pour ma part je considère que l'utilisation d'un Preset créé à partir d'un blanc de référence dans la caméra donne un meilleur point de départ à l'étalonnage pour réaliser une image correcte.

CHAPITRE 5 : DIFFUSION DE L'EAU ET SES IMPACTS ESTHÉTIQUES

En pénétrant dans l'eau, la lumière interagit avec les molécules qui la compose, c'est ce que l'on appelle la diffusion. Les molécules d'eau se comportent comme des minuscules diffuseurs qui renvoient une partie du rayonnement dans toutes les directions. Dans le régime de Rayleigh, applicable lorsque les objets diffusants, comme les molécules d'eau, sont beaucoup plus petits que la longueur d'onde de la lumière, celle-ci est diffusée de manière isotrope (sans direction privilégiée). L'intensité de cette diffusion est inversement proportionnelle à la quatrième puissance de la longueur d'onde. Cela signifie que, dans le spectre visible, la lumière bleue est diffusée quatre fois plus que la verte et seize fois plus que la rouge. Ce phénomène de diffusion explique également pourquoi le ciel apparaît bleu.³⁹

La couleur de l'eau dépend également de ce qui la compose : le plancton absorbe la lumière bleue via la photosynthèse, la couleur de l'eau en devient beaucoup plus verte. Les particules en suspension augmentent la diffusion et la diminuent la profondeur de pénétration dans l'eau de la lumière. Ainsi, plus l'eau est chargée (cela dépend énormément de la météo s'il s'agit d'un milieu naturel) et moins sa coloration est flatteuse. Également, l'absorption des couleurs est beaucoup plus importante dans une eau chargée ce qui implique une baisse du niveau de luminosité.

La diffusion sous l'eau par les particules qui la compose est similaire en cinéma avec l'effet que pourrait produire une machine à fumée en terrestre : elle entraîne une diminution du contraste et une diminution de la profondeur de champ, avec des arrière plans plus claires et moins contrastes que les avant plan. Cette diffusion permet de rendre visible les rayons lumineux qui la traverse, que ce soit les rayons d'une source artificielle ou le soleil. Les rayons du soleil, réfractés par la surface, s'animent avec les vagues et créent des motifs caractéristiques dans le bleu de l'eau. Tout comme en terrestre avec de la machine à fumée, il faut faire attention à ce que les rayons soient filmés à contre-jour pour qu'ils deviennent visibles.



Également, tout comme l'absorption, la diffusion est dépendante de la distance entre le sujet, la source de lumière mais aussi de la caméra. Plus la distance entre le sujet et la caméra est importante et plus les micro-contrastes (ou micro-détails) de l'image vont disparaître, les noirs vont se décoller et prendre la teinte de l'eau. Également les objets plus clairs et plus saturés comme les bouteilles de plongée jaune vif vont « baver » sur le reste de l'image, comme le ferait un filtre de diffusion que l'on placerait devant une optique en terrestre (comme un « Fog » par exemple). La baisse de contraste peut devenir tellement importante dans des mauvaises conditions qu'il sera très difficile de reconstruire l'image

³⁹ (Frigerio, 2015, pp. 74-75)

en post-production car il faudra tellement étirer le signal que des artéfacts vont très vite apparaître. Également, la diffusion ambiante sera exacerbée par l'étalonnage comme le montre les photos ci-dessous :



Figure 56 : Photogramme d'un plan réalisé d'un plongeur à 15m de profondeur et à une distance de 4 m de la caméra, soit une distance parcourue par la lumière de 19m. À gauche, le rush VLOG vu en REC709 dans l'ACES, à droite, le rush reconstrasté (lift gamma gain + balance des blancs).

Sur le photogramme de droite on voit bien que l'étalonnage met en valeur la forte diffusion des hautes lumières par l'eau comme on peut le constater sur la palme du plongeur.



PARTIE 3.
LE DÉCOR
NATUREL

CHAPITRE 1 : LA PRÉPARATION D'UN CAISSON SOUS-MARIN

Introduction

Durant mon voyage à Sydney pendant trois mois, j'ai pu faire mes premiers pas en tant qu'opérateur sous-marin. Néanmoins, j'ai pu ramener que quelques plans mais pas assez pour en constituer un film, l'idée principale était vraiment de me former à la prise de vue sous l'eau. Je n'avais en effet à l'époque pas d'idée de fils conducteur ni de scénario à proprement parlé. C'est au salon de la plongée qui se tient tous les ans à Paris que j'ai appris l'existence du stage vidéo de la FFESSM (Fédération Française d'Étude des Sports Sous-Marins). J'ai donc participé à ce stage car il me permettait de me former auprès de vidéastes spécialisés et de passer du temps sous l'eau pour faire des images en ayant cette fois-ci une idée d'un fil conducteur pour un documentaire. Mon intention était de filmer les récifs dans une recherche esthétique autour du décor naturel. Ce deuxième travail intervient en complément de la fiction réalisée pour ma quatrième partie sur les décors artificiels. Je pourrais ainsi me servir des images réalisées pour illustrer les pages qui vont suivre.

L'idée derrière ce court documentaire et de montrer comment le monde sous-marin nous permet en tant qu'opérateur de nous approprier la troisième dimension. Par le travail de la lumière et des mouvements de caméra, je voudrais faire perdre au spectateur les notions de haut et de bas et de montrer la très grande richesse des mondes sous-marins. Je voudrais ainsi mettre en valeurs les différences qu'il y a en le milieu naturel australien et méditerranéen, que ce soit en couleur, en lumière, en décor, et par leurs populations très différentes d'animaux marins.

Ainsi, pour filmer ces images, je me suis rendu pendant une semaine sur l'île de Porquerolles, située non loin de la côte d'Azur près de Toulon pour découvrir l'une des plus belles réserves naturelles des côtes françaises. Le stage de la FFESSM nous permettait d'être logés et nourris sur place. Y étaient organisées sept plongées réparties dans la semaine, avec un bateau et un directeur de plongée qui nous amenait sur les sites. J'ai pu ainsi travailler en binôme avec d'autres vidéastes avec comme mission de réaliser un film documentaire. Cette semaine de tournage fut pour moi l'occasion de me confronter à un décor naturel pour illustrer ce chapitre.

Le choix de la caméra

Réussir une prise de vue sous-marine, c'est réussir à garder le contrôle sur son image, or en prise de vue en décor naturel, différents éléments vont venir contraindre le cadreur dans ses ambitions, la première est sa capacité à manier sa caméra dans l'espace

Pour réaliser une prise de vue en décor naturel, on peut travailler avec un matériel plus ou moins compacte en fonction de son budget et de la possibilité ou non d'être en équipe. Un

caisson plus gros peut être plus difficile à manier, ce qui peut engendrer des efforts physiques plus grand et une plus grande équipe.

C'est pourquoi il est courant d'utiliser, notamment en documentaire, des appareils plus petits comme des boîtiers photos/vidéo qui ont aujourd'hui l'avantage de proposer des formats d'enregistrements et des images compatibles avec les chaînes de post-production modernes. Par exemple on peut penser au Sony A1 qui dispose capteur plein format qui peut enregistrer jusqu'en 8k et sortir une image en 16bit 4,3K par la prise HDMI. Le caisson Nauticam permet de raccorder un moniteur/enregistreur comme l'Atomos si l'on dispose d'un caisson pour le moniteur lui-même. L'avantage des boîtiers sous l'eau et qu'ils chauffent peu, sont légers (souvent moins de deux kilos) et consomment peu d'électricité (mon Panasonic GH5 à une autonomie de plus deux heures, 10.2W.h contre 45W.h pour la Sony Venice par exemple, ce qui me permet de réaliser une journée entière sur la même batterie, soit deux plongées sans avoir besoin d'ouvrir le caisson). Surtout, les caissons des boîtiers sont très compacts (un caisson Nauticam pour le Sony A1 fait 12,5cm de profondeur contre 50cm minimum pour le caisson Mk2700 de SUBSPACE pour caméra cinéma), ce qui est sécurisant car il faut moins d'effort pour les manipuler sous l'eau donc le plongeur fatigue moins. Un matériel complet de prise de vue sous-marine (avec les bras articulés et les lampes) tient dans une glacière que l'on peut stocker facilement à l'arrière d'un zodiac. Un opérateur peut ainsi plonger sans avoir besoin d'assistants contrairement à un plus gros caisson contenant une caméra cinéma classique qui demande un soin et une équipe dédiée.

Afin de pouvoir pratiquer la prise de vue en décor naturel dans le cadre de ce mémoire, j'ai décidé d'utiliser mon propre boîtier Panasonic GH5. Il permet de filmer en Panasonic V-Log échantillonné en 10bit ce qui donne des images qui peuvent être facilement étalonnées. La seule contrainte est qu'elle ne donne de bons résultats qu'à sa sensibilité nominale, à savoir 400ISO, au-delà le bruit apparaît dans les basses lumières et on ne profite pas de toute son étendue utile, ce qui est crucial pour un tournage sous-marin où il existe de gros écart de luminosités entre la surface et le fond marin. J'ai choisi cette caméra pour sa très faible consommation ainsi que pour sa très bonne stabilisation mécanique du capteur (crucial quand le caisson est plus petit et donc moins stable), et enfin pour la possibilité d'afficher une LUT sur l'écran ce qui permet de mieux exposer ses images sous l'eau sans cellule. Également, le capteur micro 4/3 faisant la moitié de la taille d'un capteur plein format cinéma, les objectifs sont plus légers également (il existe des objectif Leica et Olympus de bonne qualité pour la monture M4/3). Le dôme est donc plus petit que sur un caisson de boîtier plein format et comme j'ai constaté, le 12mm (équivalent 24mm en plein format) ne couvre qu'une partie du dôme et donc l'image finale à un rendu vraiment net sur tout le dôme.

L'équilibrage du caisson

La stabilisation est le premier critère pour juger de la qualité d'une image sous-marine. En effet sous l'eau le stabilisateur, c'est l'opérateur ! Un plongeur, avant même d'avoir une

caméra entre les mains, doit avoir une position parfaitement neutre, c'est-à-dire qu'il ne doit ni remonter, ni descendre. Il doit être dans un état d'apesanteur. Cet état est atteint lorsque le plongeur est correctement lesté à l'aide de plombs proches du centre (de gravité ?) du corps (sur une ceinture autour de la taille par exemple). Une fois ce travail fait, il lui suffit d'utiliser son « poumon ballaste », c'est-à-dire utiliser les 3 à 6 litres d'air présents dans ses poumons pour monter ou descendre et se déplacer dans l'environnement marin. La caméra n'échappe pas à la règle et donc elle doit être neutre, voire légèrement négative pour qu'elle ne gêne pas la stabilisation du plongeur.

Pour ma part, j'ai choisi un caisson SeaFrog qui, pour un prix de moins de mille euros tout compris (caisson, dôme, poignés) est deux à six fois moindre que ceux des autres marques car il est en plastique et non aluminium ou en acier. Au-delà des questions de fragilité (le caisson n'est pas résistant aux chocs et n'est étanche que jusqu'à 40m contre 100m pour les caissons haut de gamme) le caisson, rempli d'air, à une flottabilité extrêmement positive. Il faut donc le lester comme on lesterait un plongeur.

Rappelons qu'un plongeur est toujours dans la même position (sur le ventre et légèrement incliné à l'horizontal), il n'a donc besoin d'être équilibré que sur un axe. En revanche la caméra doit, dans la mesure du possible, être neutre sur les trois axes pour ne pas « rouler », (pencher à gauche ou à droite) ou « tanguer » (pencher devant ou derrière). C'est particulièrement important pour maintenir un cadre fixe sur plusieurs secondes. Même si on peut compenser avec les mains une caméra qui « pic du nez », j'ai remarqué que l'effort que l'on doit faire pour y parvenir crée des vibrations et des secousses qui se voient sur l'image. Comme pour une grue de cinéma, il faut qu'un caisson sous-marin puisse se tenir avec « deux doigts » sans efforts. Cette étape d'équilibrage est plus ou moins nécessaire en fonction du modèle car la plupart des fabricants veillent à équilibrer les masses grâce à un choix judicieux du matériau.

1. L'équilibrage du caisson SeaFrog :

Le principe d'Archimède, nous dit que tout corps plongé dans un fluide subit de la part de celui-ci une poussée verticale, dirigée de bas en haut égale au poids du volume de fluide déplacé.

Si la poussée d'Archimède est supérieure au poids réel, la flottabilité est positive

Si la poussée d'Archimède est égale au poids réel, la flottabilité est neutre

Si la poussée d'Archimède est inférieure au poids réel, la flottabilité est négative

Pour calculer la flottabilité du caisson il faut connaître la masse volumique de l'eau dans lequel évoluera le caisson. L'eau pure à 4° à une masse volumique d'un 1kg, l'eau de mer à une masse volumique de 1,025kg/litre.

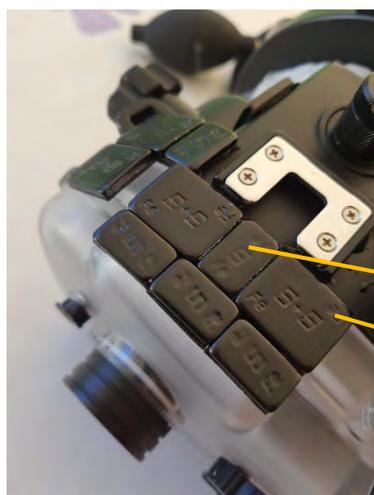
En plongée on distingue le **poids réel** qui est le poids du corps à l'air libre du **poids apparent** qui est le poids du corps une fois immergé. (Ici on utilise le mot poids pour parler de masse qui se mesure en kg).

Mise en pratique : j'ai immergé dans une bassine remplie à ras bord d'eau salée le corps caméra et calculé la différence entre le poids de l'eau récoltée en dehors de la bassine et le poids du caisson lui-même. Cette différence nous donne la poussée d'Archimède. Pour un caisson plus gros, on peut utiliser un porte bagage sur lequel on accroche la caméra que l'on immerge dans un port par exemple. Le poids indiqué est le poids apparent. C'est le poids à compenser pour que la caméra soit neutre dans l'eau et ne coule plus.

J'ai ainsi calculé qu'il fallait 800 grammes de plomb pour équilibrer le dôme à lui seul ! J'ai trouvé comme solution d'enrouler et de coller une tresse de plomb pour rideaux autour de celui-ci avec le bon poids. L'avantage de cette technique est qu'elle permet de répartir le poids autour du dôme sur les trois axes.

Ensuite, j'ai utilisé des petits plombs de 5 et 10 grammes qui servent normalement à alourdir les jantes des voitures de sports et ainsi équilibrer la partie du caisson qui se situe au niveau du corps caméra.

J'ai immergé la caméra dans un port d'eau salée et calme sans courant et j'ai fait des essais pour ajuster finement la position des plombs dans les trois dimensions. Le processus est similaire à l'équilibrage d'un stabilisateur pour la prise de vue terrestre.



J'ai fixé de la patafixe et du gaffer pour déterminer le meilleur positionnement des plombs et leur nombre puis une fois un équilibre trouvé, j'ai collé définitivement les plombs avec de l'adhésif. Ainsi la caméra est neutre quand mon zoom Olympus 12-40 f2.8 est dans sa focale la plus courte soit 12mm. Avec ce caisson je n'ai pas la possibilité de changer de focale sous l'eau, il faudrait un dôme muni d'une bague de zoom.

La prochaine étape est d'équilibrer les bras articulés qui serviront pour porter les deux phares LED sous l'eau. Pour cela on peut acheter chez PhotoDenfert de la mousse incompressible qui viennent se placer comme des brassards sur les articulations. On peut également fabriquer soi-même des ballasts à l'aide d'une portion de tube pvc. Des deux côtés du tube sont vissés des bouchons. Avant d'embarquer sur le bateau, on peut profiter d'un moment sur le port pour immerger une première fois la caméra et ouvrir les ballasts pour faire rentrer un peu d'eau et ainsi obtenir une flottabilité neutre des lampes.

Grace au travail d'équilibrage, la caméra ne coule pas lorsque l'on fait un panoramique haut/bas ou bas/haut et on peut manipuler les bras sans que cela ne joue trop sur la stabilité. Pour ma part mes lampes étaient petites et légères, je n'ai pas ressenti de gêne les manipulant dans l'eau. Par contre il était important de les placer judicieusement pour ne pas qu'elle fasse tomber la caméra vers l'avant ou vers l'arrière. Voici un tableau avec leurs caractéristiques :



Nom du modèle	I-Torch Video 2000	WeeFine Smart Focus 3000
Année de sortie	2015	2020
Température de couleur	5000 kelvins	5000 kelvins
Angle du faisceau	110° sur terre / 90° dans l'eau	110° sur terre / 90° dans l'eau
Nombre de niveaux d'intensité	4 niveaux (100%, 75%, 50%, 25%)	4 niveaux (100%, 75%, 50%, 25%)
Indice de rendu des couleurs	Ra>80	Ra>80
Intensité lumineuse	2000 lumens	3000 lumens
Poids	380 grammes dans l'air, 190 dans l'eau	505 grammes dans l'air, 260 dans l'eau

CHAPITRE 2 : DES DÉCORS QUI OBEISSENT A DES LOIS DIFFERENTES DU MONDE TERRESTRE

Le cadrage d'un plan face aux contraintes du décor naturel.

Un élément qui va être particulièrement prédominant quant à la qualité esthétique d'un cadrage, autre que sa stabilisation, est l'élégance de sa composition. Or, la nature des fonds marins pousse les opérateurs à repenser leurs méthodes pour créer une image structurée et à hiérarchiser les éléments dans l'image en fonction des intentions de mise en scène.

En prise de vue terrestre, les constructions humaines facilitent souvent la construction d'un cadre. On utilise les lignes droites verticales et horizontales présentent naturellement dans notre architecture qui, grâce à la perspective se rassemblent vers l'infinie dans la représentation en deux dimensions que l'on en fait. On peut ainsi placer ces lignes dites de forces et de fuites pour encadrer un sujet et raconter une histoire. Les milieux terrestres naturels, bien que plus anarchiques que les constructions humaines, sont soumis à la gravité et il est possible d'en faire une représentation structurée (on peut représenter la verticalité des arbres dans une forêt grâce aux nombres lignes verticales par exemples). La visibilité étant, sauf météo exceptionnelle, plutôt bonne sur terre, nous pouvons structurer le cadre à l'aide d'une nature fuyant vers l'horizon dont la forme se simplifie dans ce cas pour ne former d'une ligne que l'on peut placer en bas du cadre comme un socle, une base en bas la photographie.

1. Des contraintes poussant à la frontalité et à un mauvais point de vue

À cause de la mauvaise pénétration de la lumière dans l'eau, il est rare de pouvoir prendre de la distance avec un sujet marin. Or, c'est justement avec de la distance que nous sommes en mesure de filmer des structures rocheuses ou une épave qui permettra de situer le spectateur dans l'espace. Il est parfois important de réaliser un plan d'ensemble pour situer l'action, ce qui n'est malheureusement pas toujours possible puisque la visibilité dans l'eau est extrêmement dépendante de la météo et de la présence de sédiments. L'image en perd son contraste et devient moins lisible. De plus, en augmentant la distance avec le sujet on perd également les couleurs qui deviennent plus fade. Cette contrainte nous pousse en tant qu'opérateur à se rapprocher au détriment de la profondeur de champ. Si le film concerne les animaux marins, qui sont souvent à proximité des édifices rocheux en quête de nourriture, les cadres deviennent rapidement frontaux et les plans finissent par tous se ressembler les uns aux autres. La nature marine déborde du champ de toute part lorsque la valeur est trop serrée. Les animaux, les roches et les végétaux dessinent des courbes et des formes rondes dans tous les sens qui se prêtent mal à l'exercice d'être encadré par une image. La forme rectangulaire du cadre, plus large que haute a du sens en prise de vue terrestre pour filmer des structures horizontales sur la base qu'est le sol. En revanche la vie

sous la mer se déploie verticalement sur des murs inclinés, il est rare qu'elle se prête à l'exercice d'un cadre plus large que haut. Durant ma semaine de stage, nous avons pu visionner les clichés du groupe qui faisait un stage de photographie. Les compositions des images étaient plus cohérentes que les nôtres en stage vidéo. Tous les vidéos avaient un rapport 16/9 - 1,77 et les photographes étaient en plutôt en format 2/3 vertical ou 3/2 horizontal ce qui était un format carré qui se prête mieux pour les motifs des récifs de la méditerranée.

Un autre cas de figure doit entrer dans le choix du format : les herbiers et les sols sablonneux peuvent nous aider à construire des compositions similaires à celle du monde terrestre. Le bleu de l'océan peut devenir le ciel et les herbiers peuvent jouer le rôle d'une forêt aquatique qui se perd vers l'horizon.



Figure 57 : Requin-tapis sur les sols sablonneux à Sydney. Ces étendues de sables permettent de servir de l'horizon pour construire un cadre

De plus, l'opérateur ayant maintenant la possibilité de se déplacer dans les trois dimensions, cette nouvelle gestuelle peut l'enfermer dans la facilité. Certes, plus besoin d'une grue pour faire un travelling montant ou descendant mais il devient tentant de réaliser toutes ses prises de vue en plongée ! Une bonne habitude de plongeur est de rester à bonne distance des reliefs et des zones à visiter, afin de les préserver d'un éventuel coup de palmes qui peut soulever tous les sédiments et empêcher toute prise de vue. Cette habitude limite la saturation de l'azote dans le corps car elle impose une profondeur plus faible avec moins de variations, ce qui limite le temps de désaturation et donc la fatigue après la plongée.

Cette bonne pratique sécurisante peut entrer en conflit avec les ambitions d'une prise de vue sous-marine réussie. Un réalisateur de documentaire a besoin de créer un lien émotionnel fort entre l'animal et spectateur. Il doit donc placer la caméra au même niveau

que la créature. Dans le cadre de ce mémoire j'ai pu rencontrer à Sydney Nays Baghai, réalisateur australien de films documentaires sous-marins. Il m'a conseillé de filmer les requins au niveau de leurs yeux, comme d'égal à égal. Dans un film classique, cela ne vous viendrait pas à l'idée de filmer les acteurs en plongée durant tout le film ! Une position en hauteur vis-à-vis des animaux nous met à distance de ceux-ci et implique un rapport de force qui trahit la présence de la caméra et donc du plongeur. J'y trouve personnellement beaucoup de parallèle avec un autre type de prise de vue en trois dimensions : la prise de vue aérienne. Un plan en drone trahit la présence de la machine car il est filmé toujours très haut par rapport au décor (pour éviter les lignes électriques ou les branches des arbres) et en plongée avec un léger traveling avant (comme le plongeur qui fait des travelings avant parce qu'en réalité il se laisse porter par le courant). Ainsi en sous-marin comme en aérien, les ambitions de cadrages se heurtent aux limitations que l'on s'impose pour sa sécurité et celle du site. Le choix du cadrage se justifie non plus par la mise en scène mais par une contrainte technique que le spectateur ignore. Il ne faut pas oublier que le plongeur est un animal gigantesque comparé à l'échelle du vivant marin. Une prise de vue sous-marine trop ambitieuse peut facilement nuire au sujet que l'on veut filmer et l'on peut très facilement casser une gorgone, déposer des particules partout ou aveugler le poisson que l'on veut filmer avec trop de lumière. Le cadreur sous-marin doit renoncer très souvent à des idées de plans pour son film afin préserver ce pourquoi il est venu filmer.

Pour contrecarrer cette fatalité, et parce que, comme nous venons de le voir, un cadre est difficile à composer dans cet univers. Il faut repenser sa manière d'approcher un site. Au lieu de chercher un sujet, on peut penser le décor comme sujet et faire tout en fonction de lui. Il faut avoir l'œil pour dénicher un espace qui permettra de placer son corps imposant dans une position confortable et de trouver un cadrage à la bonne hauteur avec des éléments qui alimentent judicieusement notre composition⁴⁰. On peut par exemple filmer au travers d'un trou, ou se servir de la géométrie d'une alcôve pour créer un avant plan et un arrière-plan qui vont structurer l'image et créer un parcours à explorer pour l'œil du spectateur. On va ainsi chercher à désaxer la caméra du relief pour lui donner du volume, du contraste et de la texture. Également, s'il n'y a pas d'horizon, pourquoi s'imposer de filmer horizontalement dans un univers où les notions de haut et de bas peuvent être affranchies. Il faut donc être créatif et ne pas hésiter à adapter l'inclinaison pour trouver celle qui rend le sujet et son décor harmonieux dans la composition. Après une semaine de tournage passée sous l'eau je me suis rendu compte que j'hésitais beaucoup moins à débiller mes plans.

⁴⁰ (Edge, 2010)

2. La prise de vue en macro

Paradoxalement, face à immense paysage, les photographes aiment utiliser un téléobjectif pour en extraire qu'une toute petite partie, mais qu'il est facile d'organiser dans un cadre. En sous-marin les longues focales sont peu utilisées à cause de la distance qu'elles rajoutent avec le sujet. En revanche elles s'avèrent très utiles lorsqu'elles sont faites pour un cadrage macro. On peut utiliser un porte-bonnette, appelé « support macro » qui permet d'ajouter ou d'enlever une dioptrie pour raccourcir la distance minimale de mise au point



Figure 58 : Porte-bonnette Nauticam
<https://www.aditech-uw.com/image/catalog/smc-2-3.jpg>

3. « Shoot Up ! »⁴¹

C'est une phrase que répète inlassablement Martin Edge dans son livre « The Underwater Photographer ». En effet, un bon moyen de créer de la cohérence dans une image est de ne pas hésiter à cadrer les sujets en contre plongée. Cela nous force à mieux réfléchir notre point de vue sur un sujet. La surface est un excellent arrière-plan qui recontextualise la scène. On peut retrouver ainsi une perspective atmosphérique qui donne un effet de dégradé progressif vers le blanc sur les arrière-plans lumineux. Une difficulté de ce type de cadre, outre que le décor ne permet parfois pas d'être en dessous du sujet, est que les bulles soufflées par le cadreur peuvent entrer en collision avec la caméra pendant leur remontée ou entrer dans le champ. J'ai ainsi raté beaucoup de prises à cause des turbulences causés par mes propres bulles. Même en tenant la caméra à bout de bras, les bulles créent des courants qui font bouger le cadre. Une solution que j'ai trouvée, autre

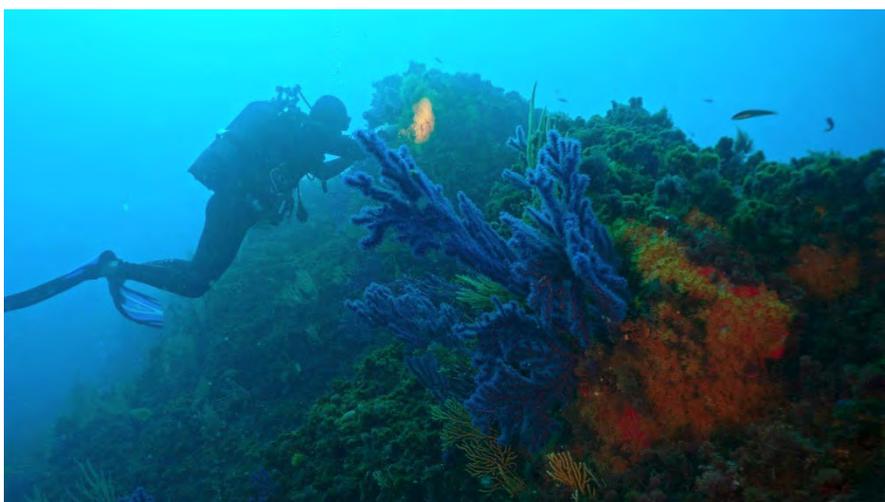


Figure 59 : Plan tourné en contre plongée à Porquerolles

⁴¹ Si l'on doit trouver une traduction en français, ce serait : « Cadrez vers le « eau » ! »

que d'arrêter de respirer ce qui est contre indiqué en plongée, est de souffler lentement des petites bulles qui ne créent pas un courant fort. Un autre gros désavantage que j'avais pour faire des contres plongés et que je ne disposais pas d'un moniteur externe. Or en documentaire professionnel, cet outil est indispensable car il permet d'être plus précis dans son cadre (l'image est beaucoup plus grande et moins polluée par des reflets grâce à un cache). Plus besoin d'aligner son corps avec l'appareil : on peut placer la caméra en dessous de soi pour faire une contre-plongée en restant en apesanteur au-dessus des récifs.

La lumière naturelle

Il est difficile de parler de choix de cadre sans les mettre en relation avec les choix de lumière tellement les deux thèmes sont intrinsèquement liés en prise de vue sous-marine. La beauté de la lumière naturelle joue un rôle essentiel dans le choix du cadre de par sa nature moins clémente qu'en terrestre.

1. Les couleurs du monde marin

La lumière naturelle du soleil est la principale source lumineuse dans les décors sous-marins naturels. Or, comme nous l'avons vu au chapitre 2, cette lumière est en partie absorbée par l'eau. C'est pourquoi les tournages en décor naturel se font souvent très proche de la surface, pour préserver le rouge qui disparaît fortement dès 5m.

Comme nous l'avons vu au chapitre précédent, la couleur dans un milieu marin dépend de la profondeur de l'objet observé mais aussi de sa distance avec la caméra. Pour filmer en lumière naturelle, la courte focale est d'une grande aide pour réduire la distance entre la caméra et les animaux marins au premier plan et conserver ainsi leur couleur. Il est bon à savoir que la vie marine exploite cette mauvaise transmission des couleurs à son avantage :

En effet, dans le milieu aérien, la très bonne transmission des couleurs a influé sur la sélection naturelle : les animaux terrestres utilisent plutôt des couleurs sobres, souvent du marron ou du vert, pour ne pas attirer les prédateurs. Les couleurs vives existent mais elles sont souvent cachées où doivent être déployées (ex : le paon). En revanche en milieu marin, les couleurs vives sont absorbées par l'eau très vite dès quelques mètres. Les animaux peuvent donc arborer des couleurs très saturées sans craindre d'être aperçus par des prédateurs qui nagent à distance des récifs. Ainsi les documentaristes comme Denis Lagrange, m'ont indiqué qu'ils utilisaient des courtes focales, pour que les animaux situés au premier plan des images puissent conserver toute la richesse de leurs couleurs vives.

2. Le contraste

En effet, la surface de l'eau agit comme un grand diffuseur qui fait perdre beaucoup de contraste, ajoutez un cadrage en plongée, et l'image peut perdre tout son intérêt. Il faut donc trouver des moyens de faire revenir de la densité dans les ombres. Une solution est de privilégier, à l'inverse, les cadrages en contre plongée vers la surface.

Mais ce type de plan peut lui aussi devenir un énorme challenge pour la caméra, surtout en numérique, car l'image se retrouve dans l'extrême inverse avec des très hautes lumières qui saturent le capteur et des ombres très denses. Ce qui fait que si le sujet de la prise de vue n'est pas la surface elle-même, le reste de l'image devenant très sombre peu perdre de son intérêt. Heureusement avec les étendues utiles des capteurs modernes, et des formats d'enregistrements qui le permette, on est en mesure d'obtenir des images en légère contre plongée très satisfaisantes avec un contraste correct.



Figure 60 : Sur cette photo prise à contre à 15m de profondeur pendant une journée nuageuse, j'ai mesuré 4 diaph sur la surface de l'eau au fond de l'image, et -2 diaph dans les zones d'ombres. J'ai utilisé la cellule intégrée de ma caméra en mode point précis pour pouvoir viser une zone de l'image et mesurer son exposition

Panasonic GH5 avec olympus 12-40 f2.8 400ISO 1/100s

Personnellement, j'ai appris pendant cette semaine sous l'eau à utiliser les éléments rocheux du décor comme des drapeaux ou des caches qui peuvent bloquer une partie de la lumière pour mettre en avant mon sujet. J'ai également masqué des zones en post production pour accentuer les zones d'ombres pour diriger le regard du spectateur dans l'image.

J'en viens ainsi à parler **d'espace négatif** en termes de lumière. Un reproche que je pourrais faire aux prises de vue sous-marines, c'est qu'elles sont souvent trop claires. Or on a besoin d'utiliser des zones d'ombre dans l'image, déjà parce que la densité fait beaucoup de bien au rendu des couleurs, mais aussi parce le regard du spectateur se déplaçant des zones d'ombre vers la lumière, l'obscurité permet de créer un chemin à parcourir dans l'image.

En conséquence, le chef opérateur sous-marin est en recherche permanente de contraste et de reliefs qui vont bloquer et filtrer la lumière pour la refocaliser, ne serait-ce qu'un minimum.

3. La balance des blancs

Pour pouvoir réaliser un plan large en lumière naturelle tout en conservant une qualité des couleurs correcte, il est nécessaire d'adapter la balance des blancs de la caméra. Le mieux est d'utiliser un blanc de référence. On peut utiliser une mire ou une planche prévue à cet effet du moment qu'il s'agit d'une surface avec un blanc neutre. On sélectionne dans le menu de la balance des blanc l'enregistrement d'un Preset et l'on prend une mesure du blanc. En revanche, cette balance n'est correcte que pour la profondeur et la distance caméra/sujet de ce blanc de référence et dépend également de la météo à la surface (s'il fait nuageux ou ensoleillé).

Si l'on choisit d'inclure la surface dans le champ elle présentera une coloration plus chaude car étant un sujet de profondeur nul : l'absorption de la couleur par l'eau ne se fera que sur la distance qui sépare la surface de la caméra. Enfin, il ne faut pas oublier que les couleurs dans l'eau sont grandement influencées par la couleur du ciel en surface en fonction de la météo. Autrement dit, avec les fausses teintes la balance des blancs sera imparfaite et donnera des résultats différents pour chaque plan, ce qui implique de devoir faire des



Figure 61 : Pierre Letailleur avec la mire coloré et un blanc de référence

ajustements à l'étalonnage. Pour ma part je dispose de 4 préréglages différents dans ma caméra, enregistrés sur des profondeurs entre 10 et 20 m pendant cette semaine où le temps est resté nuageux et où les sites de plongée étaient similaires. Quand sur notre parcours de prise de vue nous changions d'ambiance lumineuse ou de profondeur de manière significative, il m'arrivait de prendre deux minutes pour faire une nouvelle balance des blancs avec l'aide de mon binôme.

Enfin ajoutons que l'heure de la prise de vue à également son importance. En fin de journée, le couché du soleil vient apporter du rouge qui permet de retrouver des couleurs très satisfaisantes à faible profondeur. Cependant, la lumière descend plus rapidement sous l'eau qu'à l'air libre à cause de la forte inclinaison du soleil par rapport à la surface : une grande partie de la lumière est perdue car réfléchiée par la surface de l'eau.



Figure 62 : Des caustiques au fond d'une piscine.

Crédit :

questions2physique.

4. Les caustiques

À faible profondeur, la lumière du soleil, passant au travers de la surface trouble, créer des paternes lumineuses sur les fonds marins, que l'on appelle des caustiques. L'exemple le plus parlant des caustiques est le motif que l'on peut observer au fond d'une piscine pendant une journée ensoleillée. Les caustiques sont causés par la réfraction de la lumière au moment du changement de milieu. Le dioptre formé par la surface de l'eau est convexe par endroit ce qui focale les rayons lumineux et augmente la luminosité localement.

Ces figures évoluent au cours du temps au rythme des vagues ce qui apporte énormément de vie aux images sous-marines.

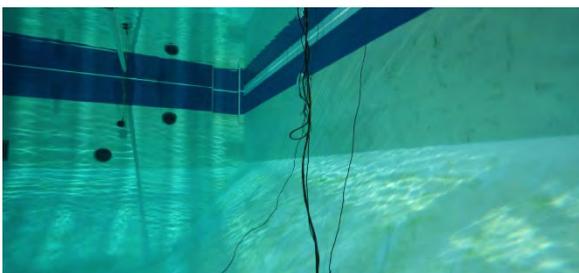


Figure 63 : À la fin de notre tournage à la piscine de Villejuif nous avons constaté des caustiques au fond de l'eau lorsque le soleil s'est levé. Plus la profondeur est importante, puis les caustiques sont défocalisées et finissent par devenir flou. La lumière devient tamisée.

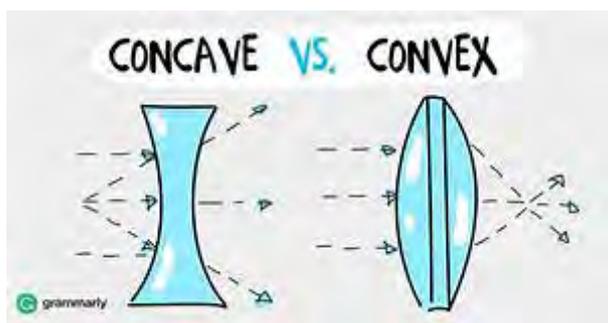


Figure 64 : La surface de l'eau si elle est agitée se comporte comme un dioptre sphérique localement ce qui focalise la lumière dans l'eau. Crédit : lopticomaroc

La lumière artificielle

1. La lumière d'appoint sur bras articulés

Comme nous l'avons vu précédemment, la lumière naturelle sous l'eau est très souvent insuffisante pour représenter la beauté de la nature marine. C'est pourquoi il est nécessaire de l'aider avec de la lumière artificielle.

Contrairement aux photographes qui utilisent des flashes sous l'eau, en vidéo sous-marine sont utilisés des phares avec une lumière continue. Ces projecteurs sont constitués généralement d'une ou plusieurs LED blanches très puissantes. Contrairement à une ampoule à incandescence, qui fonctionne en chauffant un filament dans un gaz qui empêche son incandescence, la LED fonctionne par le passage d'électrons dans un semi-conducteur une « diode », ils y rencontrent des trous d'électrons (emplacements où des électrons pourraient exister). Lorsque les électrons se recombinent avec ces trous, ils libèrent de l'énergie sous forme de lumière, on appelle ce phénomène l'électroluminescence. Les électrons ne consommant que l'énergie qu'ils sont capables d'emmagasiner, les pertes sont réduites avec un minimum de dégagement de chaleur et un maximum de lumière, le tout associé à une faible consommation.

En prise de vue sous-marine, la LED est refroidie par l'eau ambiante, on peut donc se permettre d'utiliser des sources très puissantes (plusieurs milliers de lumens pour une consommation de moins de 100 watts⁴²), à la condition qu'elles ne soient jamais allumées à l'air libre sinon la chaleur les endommagerait !

Modeler la lumière sous-marine

Pour rappel, en milieu naturel, on utilise généralement deux lampes sur des petits bras articulés que l'on peut ajuster avec des systèmes de papillons de serrage sur des rotules.

On peut ainsi trouver une force de serrage qui permet de garder les lampes droites et fixes mais sans les bloquer pour pouvoir les ajuster pendant la plongée.

⁴² Le Phare vidéo Keldan 8M à un rendement de 76 lumens par watt

Ces bras articulés sont en réalité des bras de déport qui ont plusieurs avantages. Le premier est qu'en déportant la lumière, on crée un angle avec la caméra et la lumière devient plus rasante. On rajoute ainsi des volumes et des textures à l'image. Un autre avantage très important est que les phares, s'ils sont déportés et disposent d'un angle avec la caméra, n'éclairent plus les particules qui se trouvent proches de la caméra. Or les particules peuvent ruiner une prise de vue en faisant sentir la présence d'un éclairage artificiel.

Pendant cette semaine de tournage, j'ai appris à positionner mes bras de façon que la Weefine soit ma key light et la vidéo 2000 ma lumière de contre. Pour ajuster le contraste de mon image il fallait que je règle ma keylight pour qu'elle puisse s'ajouter de manière harmonieuse à la lumière naturelle d'ambiance, souvent en contre.



Figure 65 : Sur ce photogramme, la Weefine est la Key light qui vient éclairer la Racasse d'une manière tamisée. La balance des blancs est modifiée à l'étalonnage pour simuler un plan de nuit

La lumière artificielle permet d'avoir beaucoup plus de contrôle et de cohérence sur la balance des blancs. En effet, dans le cas de sources d'appoint comme ici, je peux choisir une valeur qui sera un compromis entre les éléments du premier plan éclairés par des lampes à 5000k et le fond de l'image qui sera dépendant, comme on l'a vu, de la profondeur du décor, de sa distance à la caméra et de la météo. Dans un plan en contre-plongée où la surface est visible en arrière-plan sa température bleuté pourra être complémentaire de la source chaude au premier plan, si l'on choisi une balance des blancs dans la caméra inférieure à celle des lampes.

2. La lumière déportée

La lumière d'appoint n'est pas le seul outil à disposition pour un tournage de documentaire en lumière naturelle. Les opérateurs utilisent souvent les torches Keldan qui sont dimables et très puissant (45000 lumens pour leur modèle le plus lumineux). Ces lampes peuvent être

contrôlées à distance par une télécommande à ultrasons. On peut ainsi placer la lumière sur des pieds et les régler de plus la caméra. Ces torches sont modulaires et peuvent disposer de filtres pour ajuster leur température de couleur. Ces nouvelles sources sans fils ouvrent la possibilité de réaliser des tournages dans des lieux difficiles d'accès et qui ne possèdent pas de source de lumière naturelle comme des grottes sous-marines ou les grandes profondeurs.



Figure 66 : Torches Keldan avec télécommande à ultrason. Crédit : Keldan

3. Les couleurs de lumière alternatives pour l'animalier

Denis Lagrange m'a fait part d'une solution intéressante pour pouvoir filmer les espèces sans pouvoir les perturber avec de la lumière artificielle. Il travaille sur un projet de documentaire où les sources n'émettent qu'en ultraviolet et avec un capteur sensible à cette longueur d'onde précise. « Avec l'ultraviolet, il est maintenant possible de filmer vingt-quatre heures sur vingt-quatre avec cet éclairage. On peut filmer des animaux qui se fient à l'intensité lumineuse dans leur changement de comportement. »

CHAPITRE 3 : COMPARATIFS ARGENTIQUE/ NUMERIQUE A L'AIDE DU NIKONOS



En complément des tests sur la mire FTM, j'ai eu l'opportunité de comparer le Nikonos 15mm avec mon dôme SeaFrog. L'école dispose d'un appareil photo Nikonos IV. C'est un cas d'étude vraiment très intéressant car il est parfaitement étanche sans caisson jusqu'à 50m !

Cependant j'ai fait face à un problème de taille, l'intérieur de celui-ci était complètement rouillé ! En effet, lorsque les caissons/appareils

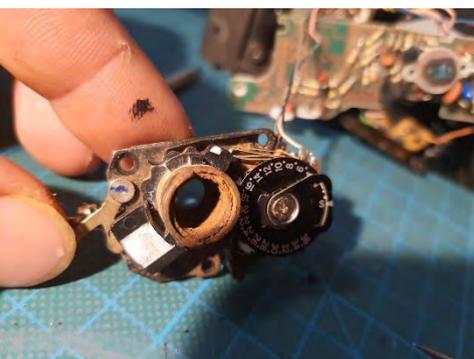


photo sous-marin ne sont pas rincés à l'eau claire juste après avoir été utilisé dans de l'eau de mer, le sel ronge les joints qui finissent par céder avec le temps ! J'ai donc du réparer le Nikonos, en faisant appel à une société spécialisée pour pouvoir remplacer les joints usés par des joints neufs. J'ai aussi démonté intégralement chaque pièce pour les tremper dans des bains vinaigrés pour faire partir la rouille (seules les pièces mécaniques étaient touchées heureusement, l'électronique était en bon état). Une fois les pièces

nettoyées, il m'a fallu plusieurs tentatives pour le remonter correctement, mais une fois ce travail laborieux terminé, le Nikonos était à nouveau opérationnel.

Figure 67 L'eau salée s'est accumulée et a fait rouiller les composants internes du Nikonos



Figure 68 Pellicule Portra 800
https://www.ateliers-marinette.fr/301-large_default/kodak-portra-800-35mm.jpg

La pellicule couleur que j'ai utilisé pour ces tests de Nikonos IV est la Kodak Portra 800. Le Nikonos est un appareil photo automatique qui fonctionne avec une cellule interne pour mesurer l'exposition. Afin d'obtenir plus de détail dans les basses lumières, j'ai choisi de régler la sensibilité à 400ASA au lieu de 800ASA, ce qui fait que les photos ont été surexposés d'un diaphragme. Au niveau du développement, le laboratoire m'a conseillé de faire un développement +1.

Le tournage :

Voici le dispositif pour la prise de vue sur le tournage. Le nikonos était fixé sur la griffe du GH5. J'utilisais une main avec les deux doigts sur les deux déclencheurs en même temps pour pouvoir prendre les deux photos en même temps.



Figure 69 : Photographie de la configuration des appareils photos pour la prise de vue en simultanée

Le scan de la pellicule

J'ai également réalisé le scan et l'étalonnage de la photo argentique même à l'école.

Pour le développement numérique des scans de pellicule, j'ai utilisé Adobe Lightroom. J'ai utilisé les courbes RVB, la balance des blancs et la teinte

J'ai ensuite étalonné la photographie en RAW du GH5 en utilisant l'outil comparaison de Lightroom, je me suis limité à un étalonnage primaire (courbes, balance des blancs) pour aligner la photo numérique sur celle argentique.



Figure 71 : Scan de la pellicule à l'ENS Louis Lumière

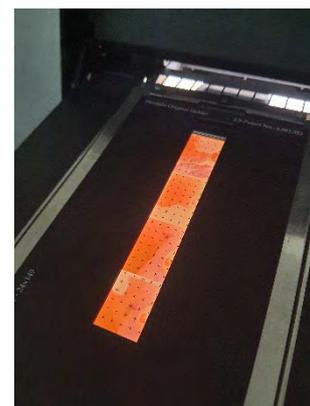


Figure 70 : Pellicule dans le scanner

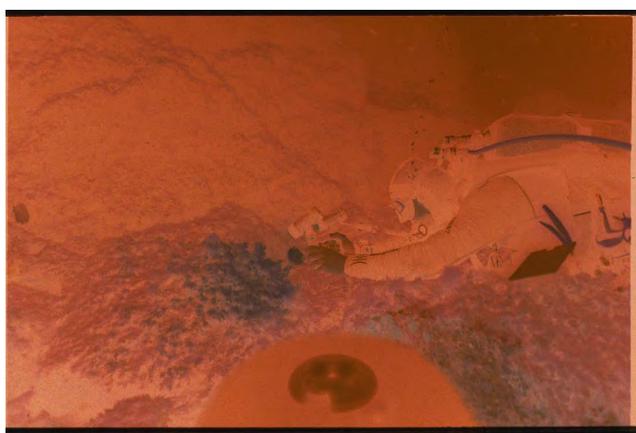


Figure 74 : Export du scanner avant développement



Figure 72 : Photo développée sur Lightroom, plongeur présent sur la photo : Pierre Letailleur

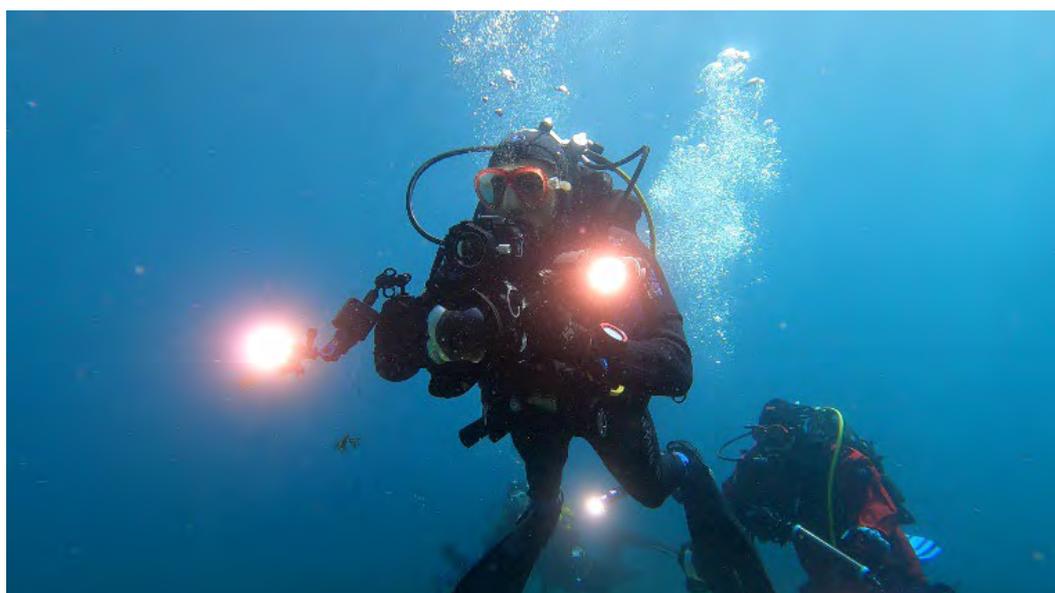


Figure 73 ci-dessous : Photographie du dispositif une fois dans l'eau. Plongeur : Pierre Brunon (crédit photo : Pierre Letailleur)

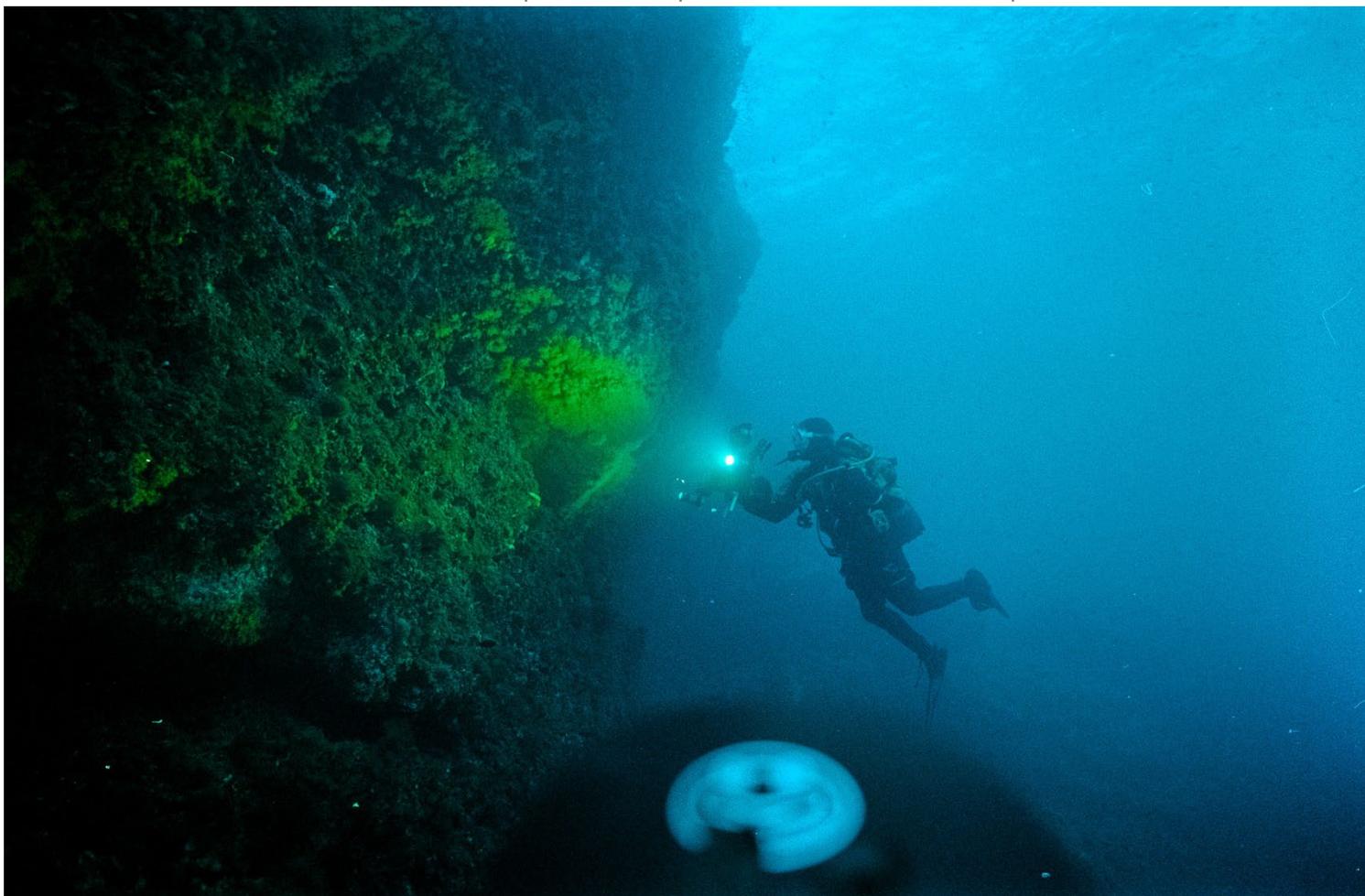


Figure 76 : Nikonos IV + 15mm v2 + Kodak Portra 800, exposition automatique réglée sur une sensibilité à 400ASA, Dev +1
Plongeur sur les photos : Baptiste Baltz

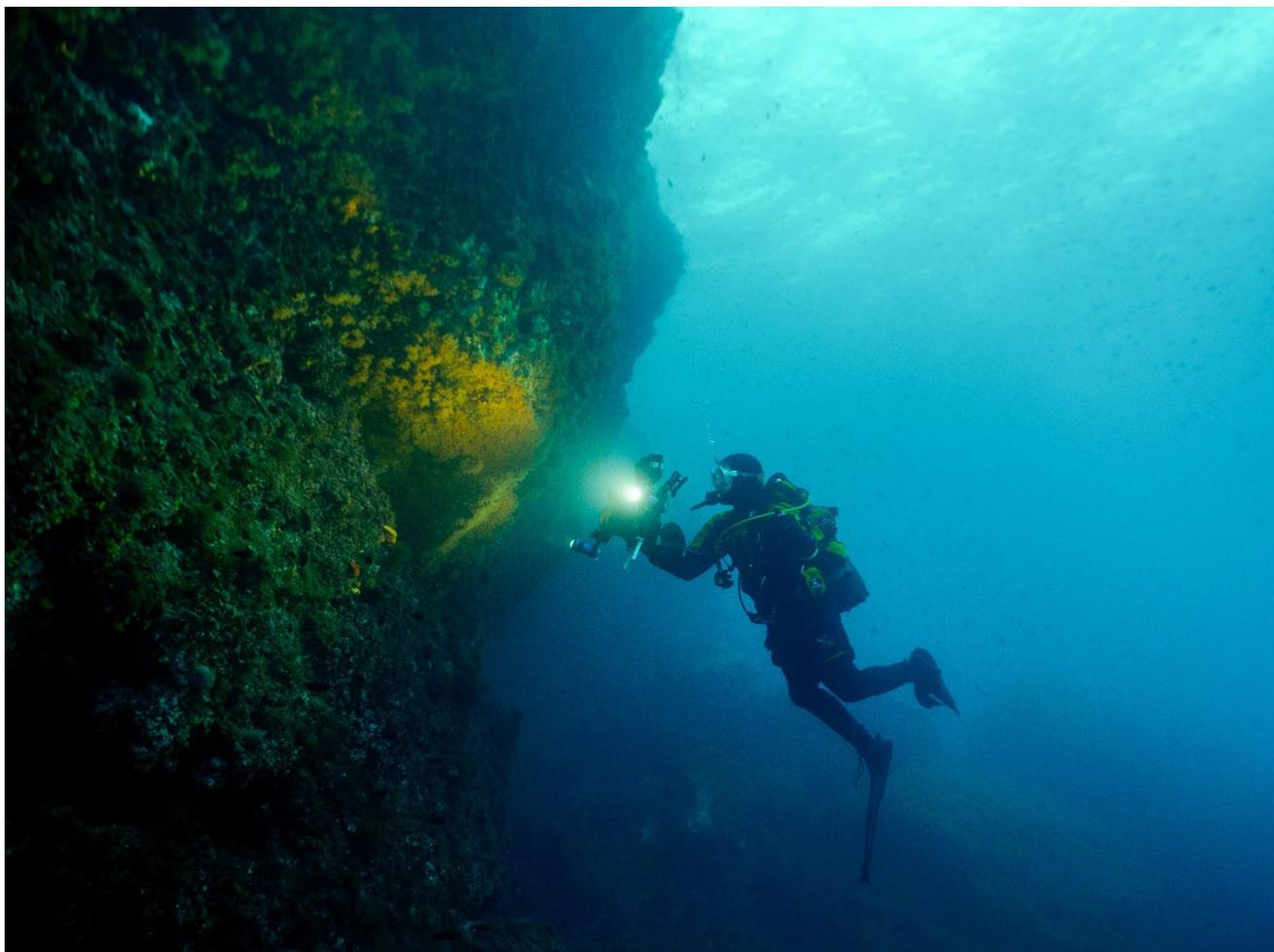


Figure 75 : Panasonic Gh5 + Leica 12mm f1.4 + SeaFrog 6" acrylique, Raw DNG, 12mm, 1/125s, f/3,2, 200ISO

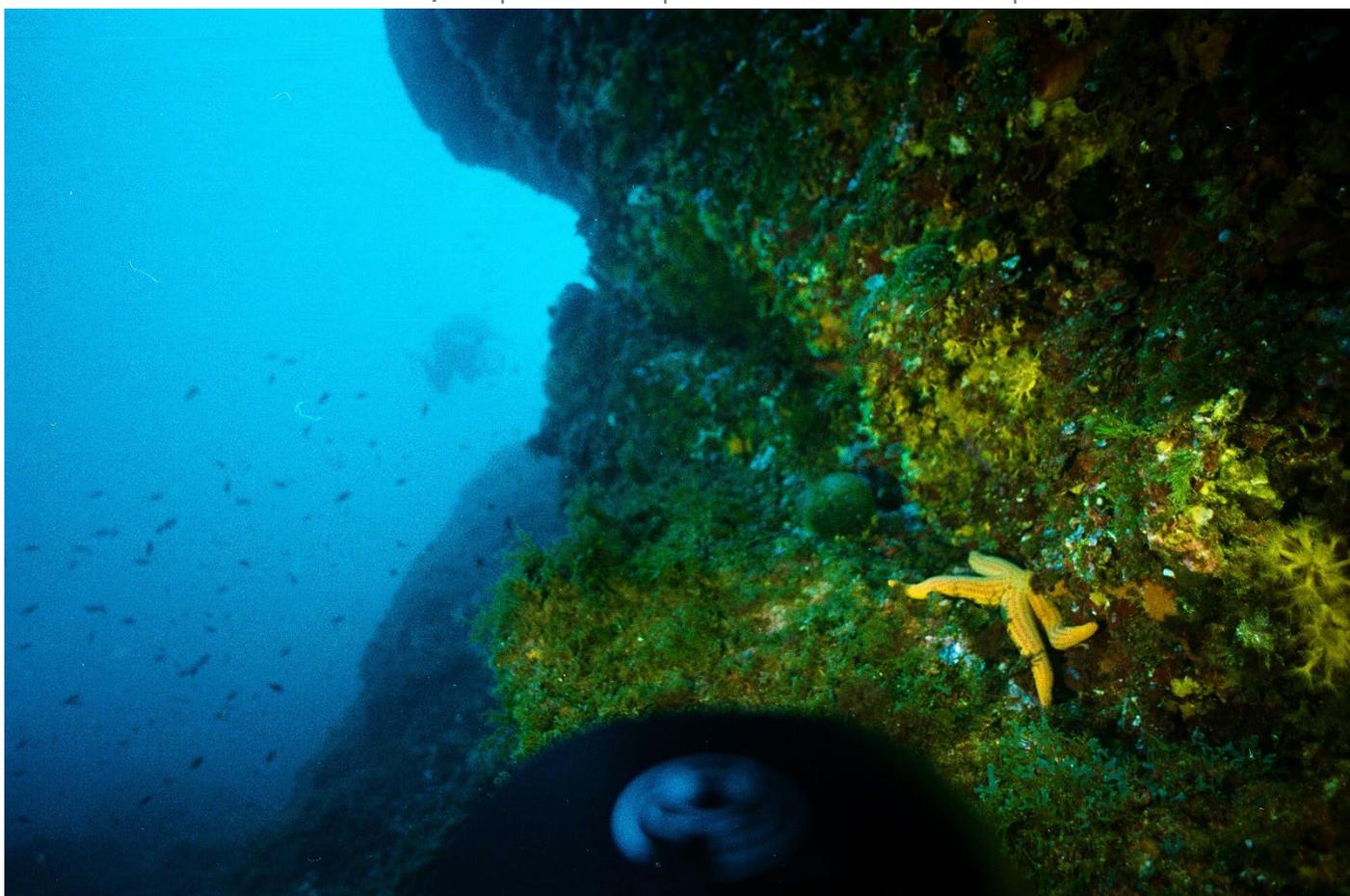


Figure 77 : Nikonons IV + 15mm v2 + Kodak Portra 800, exposition automatique réglée sur une sensibilité à 400ASA, Dev +1

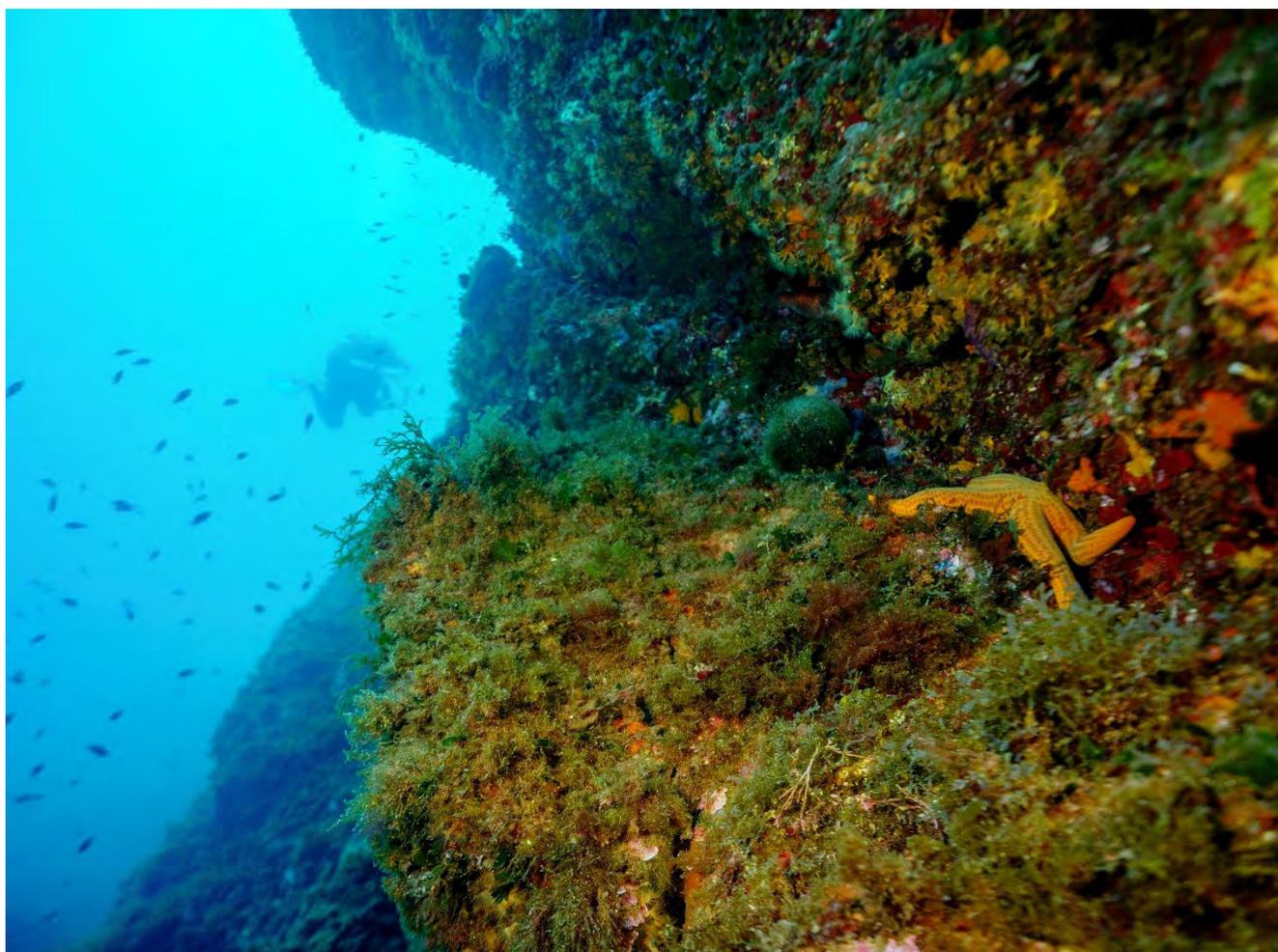


Figure 78 : Panasonic Gh5 + Leica 12mm f1.4 + SeaFrog 6" acrylique, Raw DNG, 12mm, 1/250s, f/4,5, 200ISO



Figure 80 : : Nikonos IV + 15mm v2 + Kodak Portra 800, exposition automatique réglée sur une sensibilité à 400ASA, Dev +1

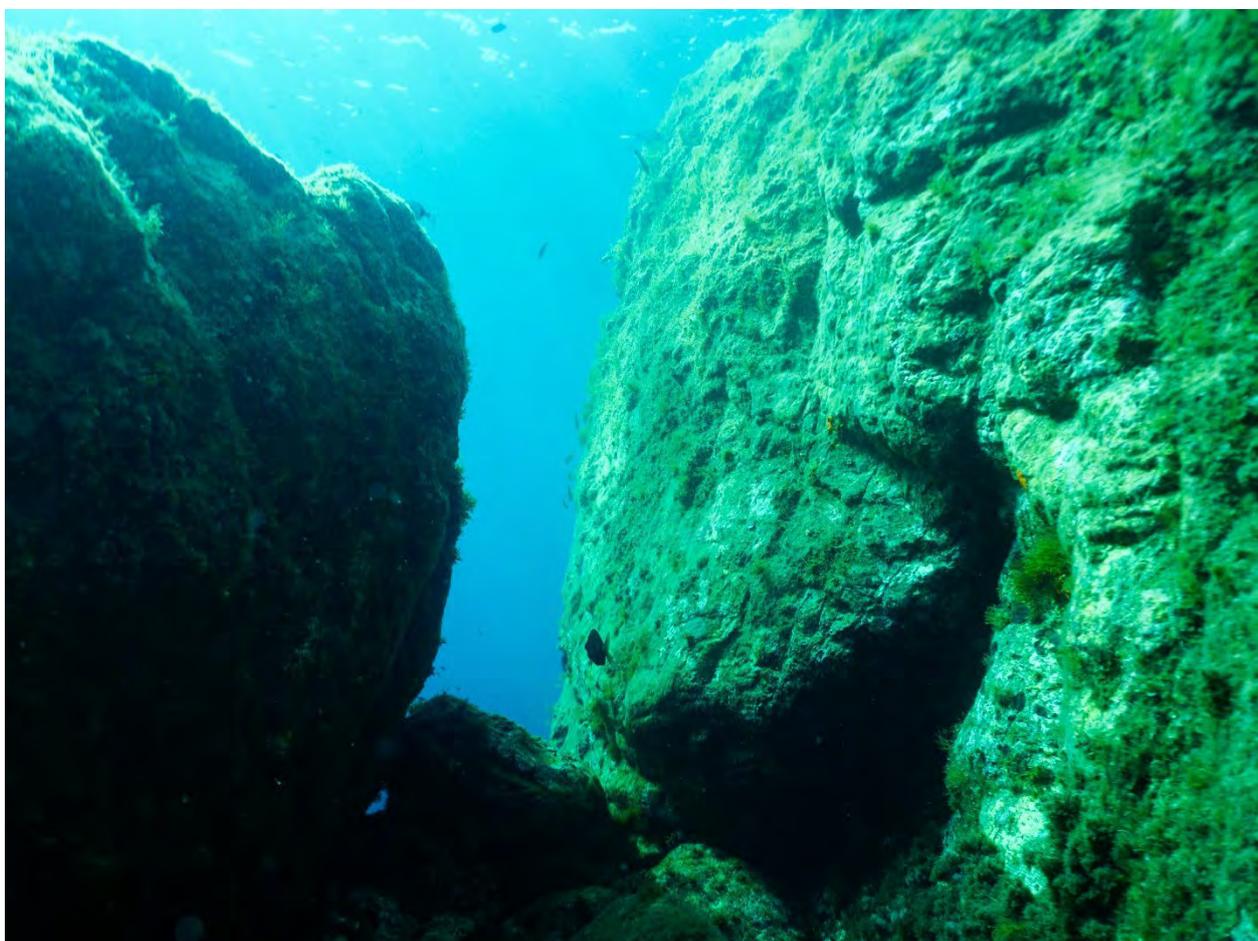


Figure 79 : Panasonic Gh5 + Leica 12mm f1.4 + SeaFrog 6" acrylique, Raw DNG, 12mm, 1/250s, f/4,5, 200ISO

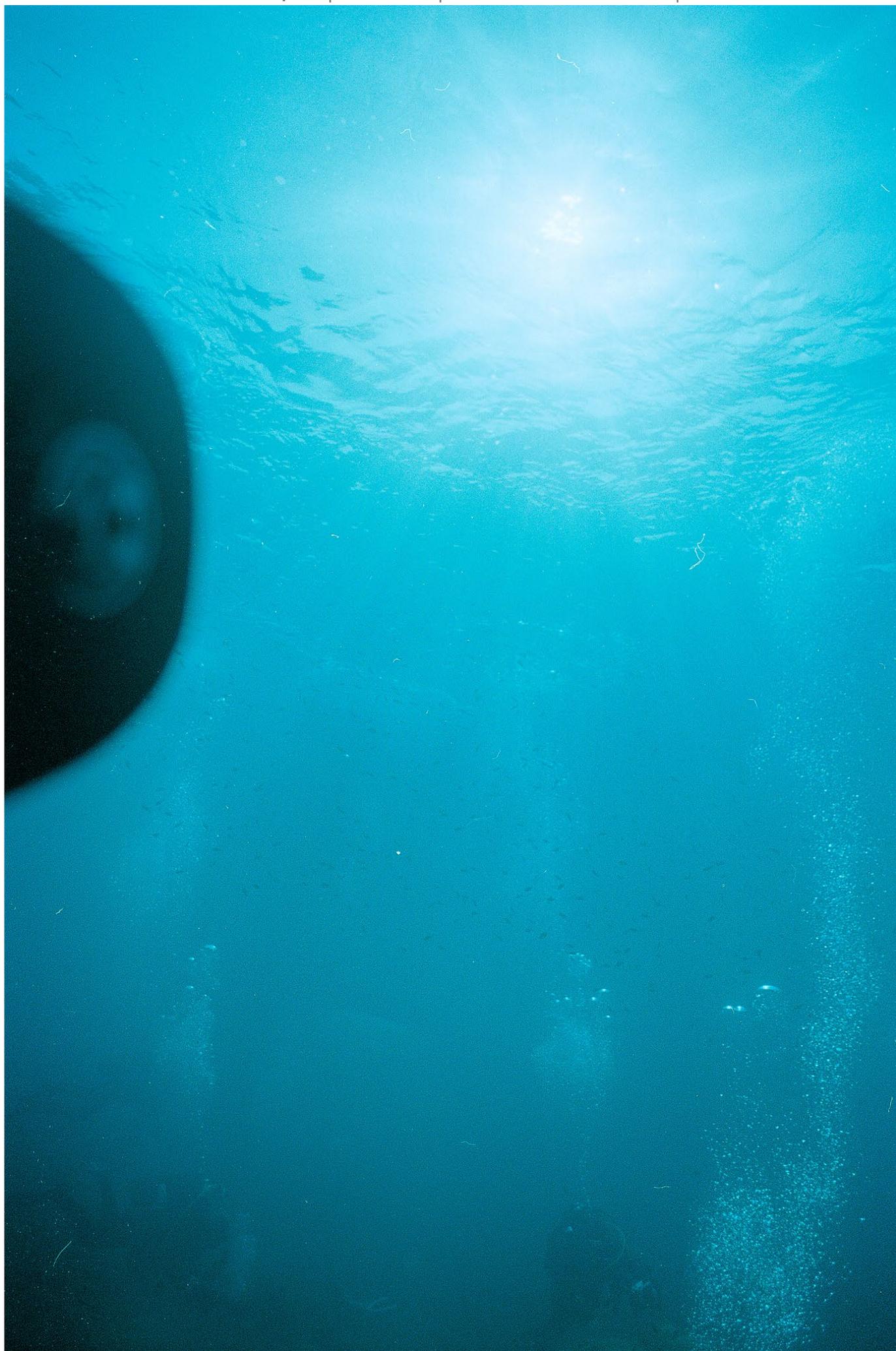


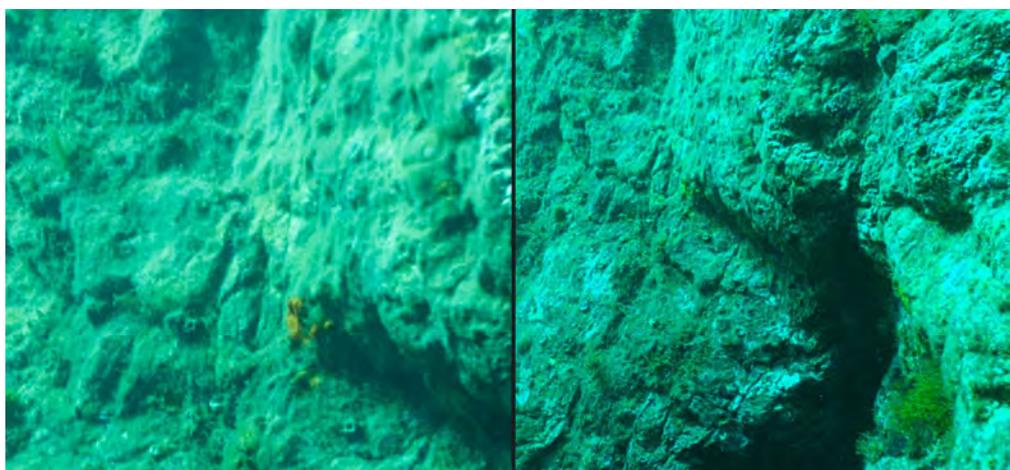
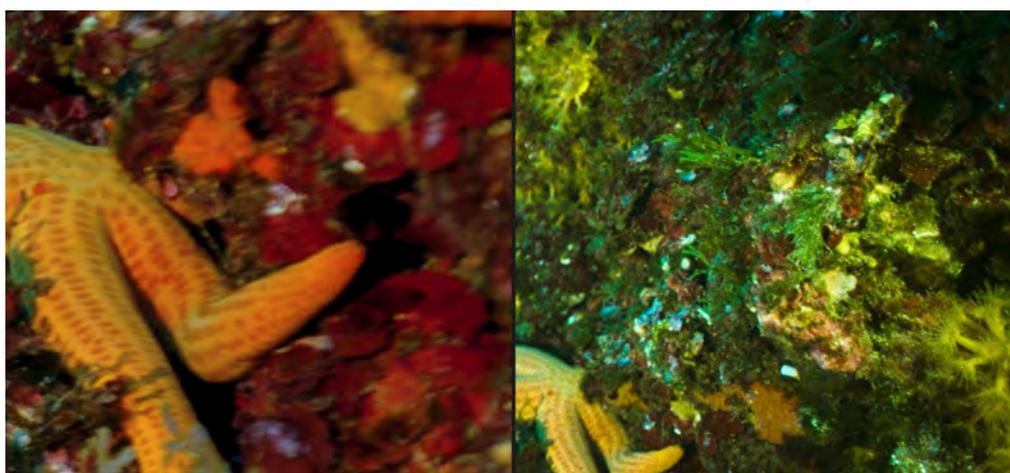
Figure 81: Nikonos IV + 15mm v2 + Kodak Portra 800, exposition automatique réglée sur une sensibilité à 400ASA, Dev +1



Figure 82 : Panasonic Gh5 + Leica 12mm f1.4 + SeaFrog 6" acrylique, Raw DNG, 12mm, 1/5000s, f/4,0, 200ISO

Analyse des images :

On constate des bords flous sur les trois images du récif pour le GH5. Comme l'image virtuelle du dôme est sphérique, la distance de mise au point est différente sur les bords qu'au centre. Ainsi la netteté aux extrémités est approximative sur chaque image, tandis que pour l'optique Nikonos, la netteté est plus uniforme et les bords sont pratiquement aussi nets que le centre.



Comparaison argentique / numérique

On peut constater que la pellicule est plus performante dans les très hautes lumières comme nous le montre la quatrième photographie prise à contrejour sous la surface à 10m de profondeur. J'ai choisi d'exposer correctement l'eau « au keylight » grâce à la cellule interne du GH5 réglée en « point précis ». On voit que le soleil fait saturer les hautes lumières plus vite que sur la photo prise avec une exposition automatique par le Nikonos.

En revanche j'avais beaucoup plus de latitude à l'étalonnage dans les basses lumières avec le GH5 en RAW tandis qu'en pellicule je ne pouvais remonter que du grain.



Figure 87 : Soleil capturé par la pellicule



Figure 86 : Soleil capturé en numérique

Figure 84 (ci-dessous) : Troisième photographie prise en numérique

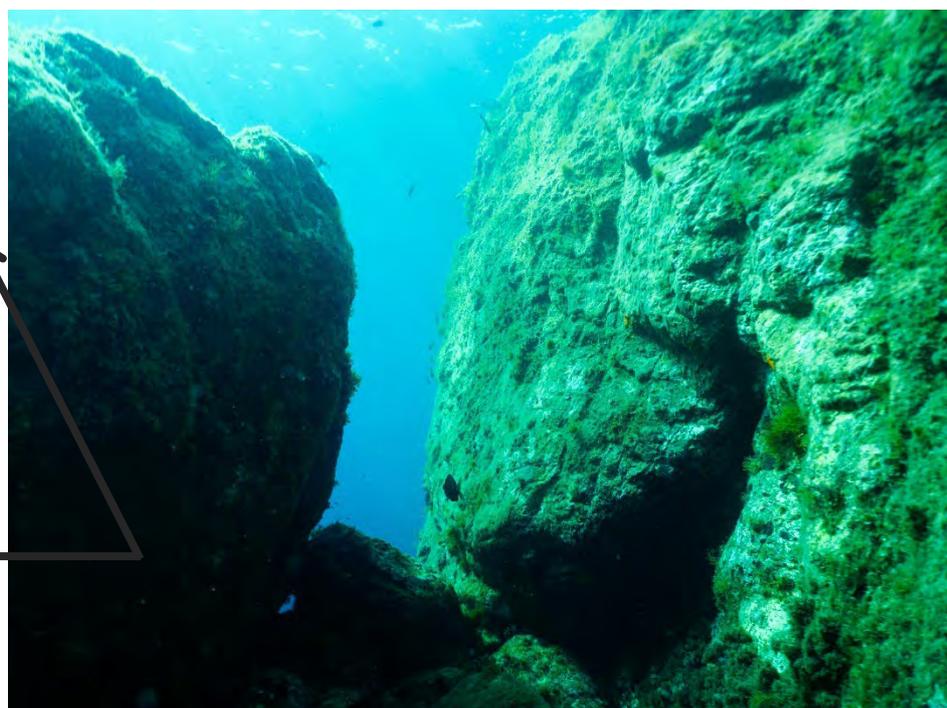
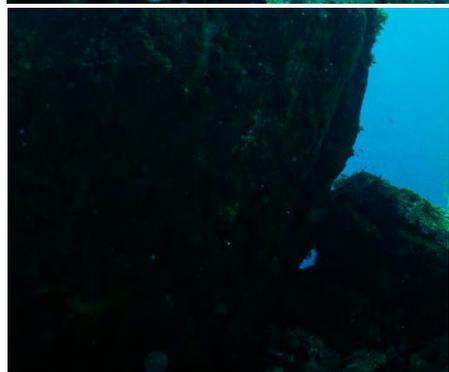
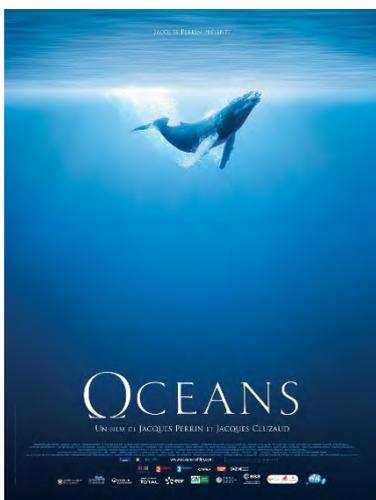


Figure 83 (en bas à gauche) : Bord gauche en bas de la troisième photographie en numérique, étalonnée pour que le contraste corresponde à l'image pellicule

Figure 85 (en haut à gauche) : Même image avec un étalonnage qui met en valeur l'information capturée dans les ombres. On pourrait utiliser des masques par zone pour avoir un contraste optimal qui préserve toute l'information des basses lumières du RAW

CHAPITRE 4 : L'ÉCLAIRAGE EN SURFACE SUR Océans

ENTRETIEN AVEC PHILIPPE ROSS



1. Introduction

Océan est un documentaire animalier réalisé en 2009 par Jacques Perrin et Jacques Cluzaud. L'objectif de ce film était de faire redécouvrir le monde sous-marin au spectateur et d'aller au plus près des créatures marines, d'être un poisson parmi les poissons. La production de ce film gigantesque, avec des tournages partout dans le monde et une production qui s'est étalée sur cinq ans en fait l'un des plus ambitieux documentaire animalier jamais produit. Philippe Ros, d'abord engagé dans un premier temps comme superviseur technique et pour ses connaissances sur les caméras numériques, et sera le directeur de la photographie du film.

2. Les essais préparatoires du film

Comment expliquez que vous ayez eu une telle liberté pour préparer ce projet ?

« On a eu surtout la chance d'avoir quelqu'un qui met l'argent au service de son désir. C'est-à-dire que Perrin, il avait décidé qu'il voulait « ça » et il ne bougerait pas tant qu'il n'aurait pas « ça ». Au début, je devais rester trois mois, je suis resté finalement cinq ans et demi ! En même temps je faisais Kaamelott, donc c'était étalé sur pas mal de temps. »⁴³

Très vite, le numérique apparaît comme une évidence pour pouvoir obtenir des durées de rushes suffisants sous l'eau, ce qui limite le nombre de plongées et surtout de paliers pour les plongeurs du projet. Néanmoins, le numérique n'était pas encore capable de proposer de la haute vitesse pour pouvoir faire du ralenti. Le projet aller devoir être à la fois en numérique pour les plans sous l'eau et argentique en surface pour profiter de l'étendue utilisée de la pellicule et la possibilité de faire du ralenti. Philippe Ros est alors appelé pour pouvoir superviser l'inclusion du numérique dans le processus de création du film pour aboutir à un workflow performant qui puisse tenir pendant les six ans de la production sans que les images numériques soient obsolètes à la sortie du film en 2009. Un sacré challenge qui nécessita une longue période de recherches et d'essais. « En simulant le processus argentique dans la chaîne numérique, grâce au contrôle du laboratoire interne de la caméra, on était en mesure d'atténuer les différences entre les deux supports. C'était très ambitieux ! »

⁴³ Entretien réalisé le 23 mai 2024

3. La préproduction

En préproduction des projections de bobines de films sont organisées par Jacques Perrin dans un cinéma : le Normandie afin que l'équipe puisse mieux comprendre les volontés et les « désirs » de Perrin pour son film. « *Tous les gens étaient là à écouter (Perrin) puis je prends la parole et je dis : maintenant pour pouvoir faire ça, on va travailler avec des outils qui ne sont pas du tout du 35 mm. On va procéder différemment : on va se servir d'une méthode de travail qui repose sur un partage des tâches et où le coloriste va avoir un rôle décideur, un rôle décisionnaire, un rôle de contrôle pour nous guider dans la production. Il va être à notre service mais nous aussi on devra être à son service. On commencera par choisir la fin, la post-production et on remontera vers ce que l'on doit tourner pour y parvenir.* »

Pendant six mois, Philippe Ros organise avec son équipe des essais de caméras numériques et argentiques dans des caissons sous-marins pour trouver la meilleure méthodologie de tournage. Ils transformeront deux bateaux en de véritables laboratoires flottant reliés aux plongeurs sous l'eau. Le contrôle de la caméra peut ainsi se faire à distance pour effectuer chaque réglage « *Si tu dis que tu vas faire des tests, tu ne vas pas faire ça en piscine, donc il fallait qu'on tourne (en décor naturel), et on a tourné à Marseille, avec deux bateaux, on a appelé ça le village flottant, et on travaillait avec des écrans LED, des écrans CRT à l'époque, HD, On a fait un petit laboratoire avec un ordinateur de référence et un oscillo bien évidemment, et les logiciels qu'on a développés.* »

Comme nous avons pu le voir dans ce mémoire, filmer en décor naturel sous l'eau change notre manière d'appréhender le contraste de l'image. Philippe Ross choisi pour la caméra sous-marine numérique la Sony GDV-F900 qui permettait d'intégrer des courbes de gamma qui pouvaient être dessinées sur mesure pour que les rushs puissent ensuite être envoyés en laboratoire et être alignés avec les prises de vue argentiques. En bout de chaîne, l'objectif

UNDERWATER SHOOTING

THE BIAS DURING THE SHOOTING

3 5

G SWITCH – GAMMA CURVES					Ref 08/2
1	HDS GAL 1	HIGH LIGHTS	320 ISO	WIDE EXPOSURE - PREVENTS THRESHOLD EFFECT IN HIGH LIGHTS - LOW NOISE IN LOW KEY - 7 STOPS 1/2 RANGE	
2	HDS GAL 2	HIGH LIGHTS	320 ISO	WIDE EXPOSURE - LOW LEVEL OF NOISE IN LOW KEY LIGHT THRESHOLD. 7 STOPS RANGE	
3	H 103 L	HIGH LIGHTS [-3 dB]	200 ISO	WIDE EXPOSURE - LIGHT THRESHOLD EFFECT IN HIGHLIGHTS [-3 dB] : LESS NOISE IN LOW KEY - 7 STOPS RANGE	
4	H 140	LOW CONTRAST	160 ISO	USE IN CASE OF LOW CONTRAST LIGHTING - LESS NOISE BEWARE OF HIGH LIGHTS : THRESHOLD EFFECTS	
5	H 140 L	LOW CONTRAST [-3 dB]	100 ISO	USE IN CASE OF LOW CONTRAST LIGHTING. [-3 dB] : LESS NOISE - BEWARE OF HIGH LIGHTS : THRESHOLD EFFECTS	

SF SWITCH – SCENE FILES – CHROMA SETTINGS - BLUE SEA DOMINANT				
1	SF 1	GALATEE STANDARD		
2	SF 2	BLUE SEA	0 – 10 m DEEP	
3	SF 3	BLUE SEA	10 – 25 m DEEP	
4	SF 4	GREEN SEA	0 – 10 m DEEP	
5	SF 5	GREEN SEA	10 – 25 m DEEP	

This reminder was updated for each location

était d'obtenir des images quasiment identiques peu importe le support d'origine (argentique ou numérique) afin qu'elles puissent être présentées aux monteurs en étant complètement alignées. Or pour atteindre cet idéal avec la caméra numérique, Philippe Ross et son équipe doivent ajuster des réglages très poussés qui dépendent non seulement des conditions de

visionnage finales (le film ayant pour objectif d'être vu au cinéma) mais aussi des conditions de prise de vue (profondeur et couleur de l'eau, situation géographique, sujet, heure du jour etc.). Il fallait donc trouver un moyen d'optimiser cette calibration de l'image pour qu'elle soit la plus simple pour les opérateurs qui allaient partir aux quatre coins de monde. Il existait bien un moyen d'enregistrer un « Preset » contenant tous les réglages, appelé « Scene Files » mais il n'était pas possible de modifier la courbe de gamma indépendamment. « Il y avait énormément de réglages, et je voulais qu'on fasse une sélection de ces menus parce que ça commençait à devenir envahissant » Philippe Ros demanda à Sony de créer un logiciel qui puisse séparer le gamma et les Scenes files, appelé « SF25 » qui permettait, via deux boutons rajoutés sur le caisson par Subspace, de choisir entre d'un côté cinq réglages de gamma et de l'autre cinq réglages de « scènes files » dans la caméra, ce qui fait un total de vingt cinq possibilités de réglages différents qui peuvent être choisis sous l'eau par l'opérateur pour chaque plan. Comme la prise son n'était pas utilisée, Christian Mourier eu l'idée de modifier la caméra pour qu'elle enregistre l'option choisie par l'opérateur dans une métadonnée inscrite dans la piste sonore. Ainsi, après chaque jour de tournage, les rushs arrivaient par satellite en en salle de projection et le coloriste, le directeur photo et les réalisateurs pouvaient savoir quels réglages avait été choisis sous l'eau par l'opérateur et ainsi lui demander des ajustements pour le jour suivant. Pendant le tournage, un réglage pour « eau cyan » à la demande des plongeurs pour mieux couvrir les plans qui se situent en pleine eau dans l'océan. Pendant les essais, en attendant de pouvoir partir à l'autre bout du monde, il fallait bien tourner des images qui soient représentatives des conditions de tournage. « J'ai demandé aux coloristes et aux scientifiques de me dire quelles étaient toutes les espèces les plus variées et j'ai créé les images à partir des références données par François Sarrano, notre ami Tinkerbell ! » Ces essais avec Tinkerbell permirent d'étudier la réaction du numérique et de l'argentique aux brillances des écailles « C'était un peu fou, j'ai fait couvrir 1000 écailles à la main de façon à ce que les mouvements du torse (de la sirène) reflètent la lumière comme un poisson. » Grace aux plans tournés en essai avec la sirène, un

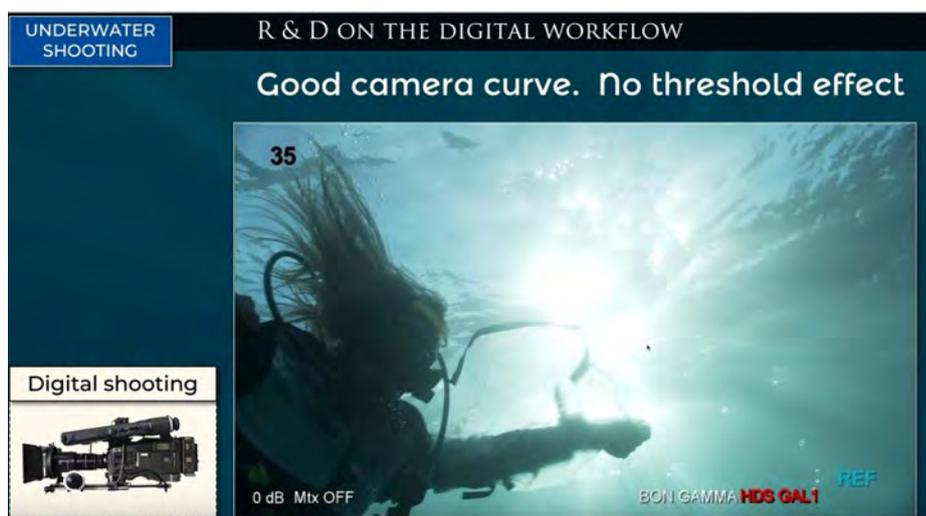


Figure 89 Phénomène de saturation du capteur dans les hautes lumières : l'image est "clipée"

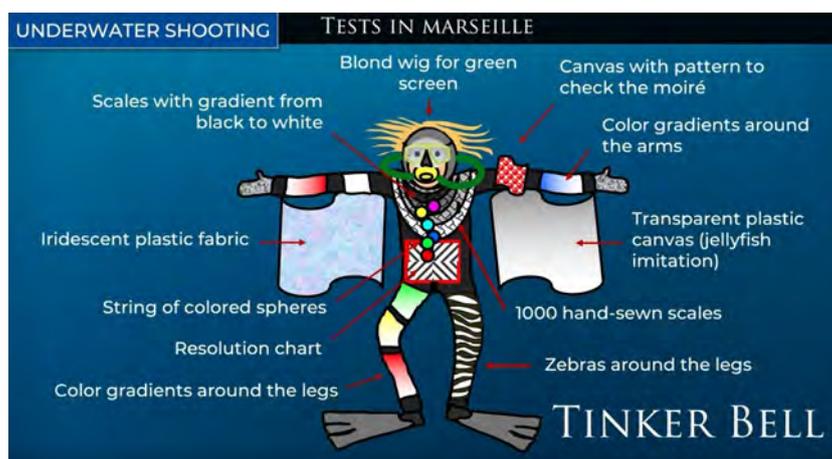


Figure 90 Tinker Bell proposée par Philippe Ros

réglage de courbe de gamma spécialement étudié pour les contres plongées sous la surface. Un gamma très doux fut proposé pour permettre aux opérateurs de limiter la saturation du capteur dans les hautes lumières en fonction de l'angulation de leur caméra. Au final, le rendu des plans tournés en numérique sera très impressionnant pour l'époque.

« Toujours penser à l'écran large !

C'est des images (numériques) dont René Heuzé et moi-même sommes extrêmement fiers. On l'a gonflé en IMAX, cette partie-là, et personne n'a cru que c'était une caméra 8 bits 3.3.1. » Cet exemple de film nous montre à quel point la spécificité de la prise de vue sous-marine implique parfois des modifications poussées du matériel de prise de vue pour pouvoir atteindre les objectifs de qualité fixés par les réalisateurs malgré les contraintes du monde subaquatique.

LE TOURNAGE D'OCEAN EN DÉCOR NATUREL



Figure 91 : Photogrammes du film *Océans* (séquence à 32 minutes)

Avec l'arrivée de la nuit, les animaux marins doivent trouver des cachettes pour se protéger des prédateurs. Durant cette séquence, on suit un crabe en travelling latéral tandis que la lumière tamisée de la pleine lune s'anime sur sa carapace

de corail en Nouvelle-Calédonie, vers Nouméa. Un corail qui a été recomposé dans un bassin dans un réservoir le plus important du monde en Australie, à Townsville. Un petit récif qui a été refait pour le tournage dans un petit bassin de 23 cm de profondeur. Et enfin, dans un petit aquarium. En effet, certains animaux ne sont pas faciles à approcher et à filmer en milieu naturel. Le principal objectif de Philippe Ros était de faire raccorder ces quatre décors au niveau visuel. Les paramètres à prendre en compte étaient le type d'eau, la couleur, la texture, la profondeur et surtout les vagues et la houle.

Nous allons dans un premier temps nous concentrer sur le premier tournage en décor naturel en Nouvelle-Calédonie et à la fin de ce mémoire nous reviendrons sur les autres décors qui sont en décor artificiel.

Pour le premier décor, l'équipe choisira un restaurant disposé à proximité d'un récif de Corail qui dispose d'une partie immergée pour que les clients puissent voir le récif.

En effet ce décor bien qu'au milieu de la mer, à été pensé pour pouvoir retrouver les conditions d'un véritable studio de cinéma. Philippe Ros: *Il fallait que j'explique à (Jacques) Perrin que si il voulait filmer ses pieuvres, il fallait amener de très gros projecteurs sur des barges pour pouvoir les filmer, pour reproduire un effet, pour simuler un effet.* Philippe travaillera avec Paul Johnstone, un chef électro qui est responsable de la lumière de The Pacific, il a également travaillé sur les James Bond sous-marins. Paul apporte une barge de 100 tonnes pour pouvoir y placer les projecteurs. Partant d'abord avec l'idée d'utiliser des HMI, ils finiront par utiliser des Dinos (pour Dinos de Laurenti) et des projecteurs PAR qui peuvent être multipliés pour avoir assez de puissance, ils peuvent également être contrôlés indépendamment pour simuler un « Ripple Effect », le scintillement de la lumière dans l'eau, qui permet de compenser une mer plate lorsqu'il n'y a pas de vagues. Les PAR sont également des projecteurs qui s'acclimatent bien dans l'humidité de la mer. Pendant le repérage, Paul Johnstone comprend qu'il faudra de la hauteur au-dessus de l'eau pour que les éclairages puissent correctement simuler un effet lune/nuit. Il imagine un échafaudage qui permet d'orienter les projecteurs dans la position souhaitée et qui permet également de les rétracter en cas d'intempérie. Pour concentrer les faisceaux de lumière, les projecteurs seront équipés de snoots, ce soit des caches rectangulaires qui permettent de focaliser la lumière.

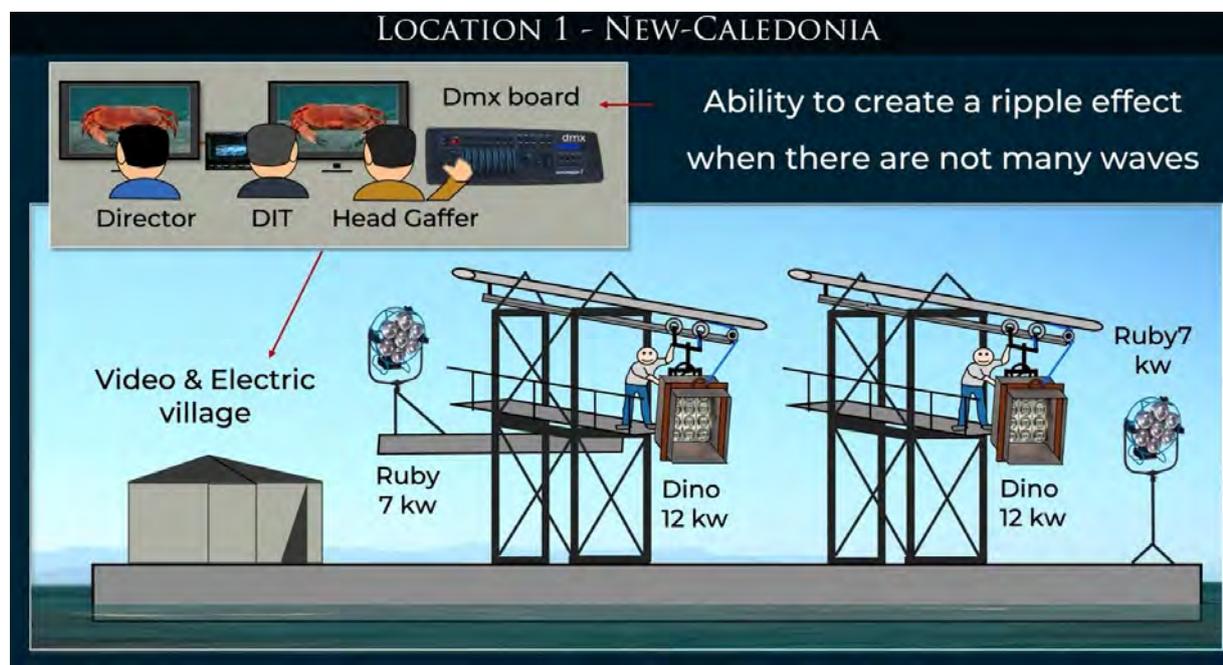


Figure 92 La barge contenant le village vidéo et les projecteurs

4. Le tournage

Le tournage se faisant de nuit, les journées sont réservées aux réglages et à la préparation de la caméra et de la lumière. *« Si tu réfléchis, c'est un petit peu abstrait comme tournage et comme lumière, parce que c'est assez rare que tu aies des nuages qui permettent l'éclosion de deux trous aussi rapprochés dans l'eau mais ça faisait effet, ça marchait parfaitement. »* Il faudra plusieurs semaines et une dizaine de plongeurs pour mener à bien cette séquence dont cinq électros qui manieront un réflecteur à trou pour laisser passer les courants marins. Le principal challenge était de réussir à atteindre les exigences de Jacques Perrin en matière de cadrage : *« à la différence de ce que fait d'habitude (Jacques) Perrin, là on voulait avoir des close-ups très gros, des très gros plans. Pour cela, on a commencé à réfléchir à un travelling sous-marin »* L'idée est de suivre les animaux en traveling latéral en « low mode » au ras du sol, toujours dans l'idée d'être aligné avec les yeux de la créature. L'équipe test un élémak à Paris et l'embarque en Nouvelle Calédonie. La lumière étant faible de nuit, même avec les projecteurs positionnés à la surface, George Evatt, le premier assistant caméra, devait pouvoir ajuster le point avec précision sur une longue focale à grande ouverture. *« Pour pointer, j'ai proposé la Game Boy, qui ressemblait à une manette de jeu vidéo. Elle fût fabriquée à Paris par Transvideo et HDSsystems, et aussi Subspace qui a fait le caisson sous-marin. Elle permet le contrôle de l'iris, le contrôle du point et un second contrôle de l'iris selon la main avec laquelle on travaille, parce qu'il y a des moments où tu as besoin d'avoir une main qui tienne très fortement d'un côté pour pouvoir régler avec les deux doigts, avec le pouce, les deux roues de l'autre côté. »* Lorsque l'animal était craintif, la gameboy pouvait être contrôlée en filaire depuis la surface pour limiter le nombre de personnes sous l'eau. *« Donc ça c'est le premier décor qu'on a fait et fort de ça, on s'est aperçu qu'il y a des animaux, en discutant, qu'on ne pourrait pas filmer sur place, que c'était compliqué »* L'équipe tournera les décors suivants en bassin artificiel, ce que nous verrons à la fin du chapitre 4 du mémoire.

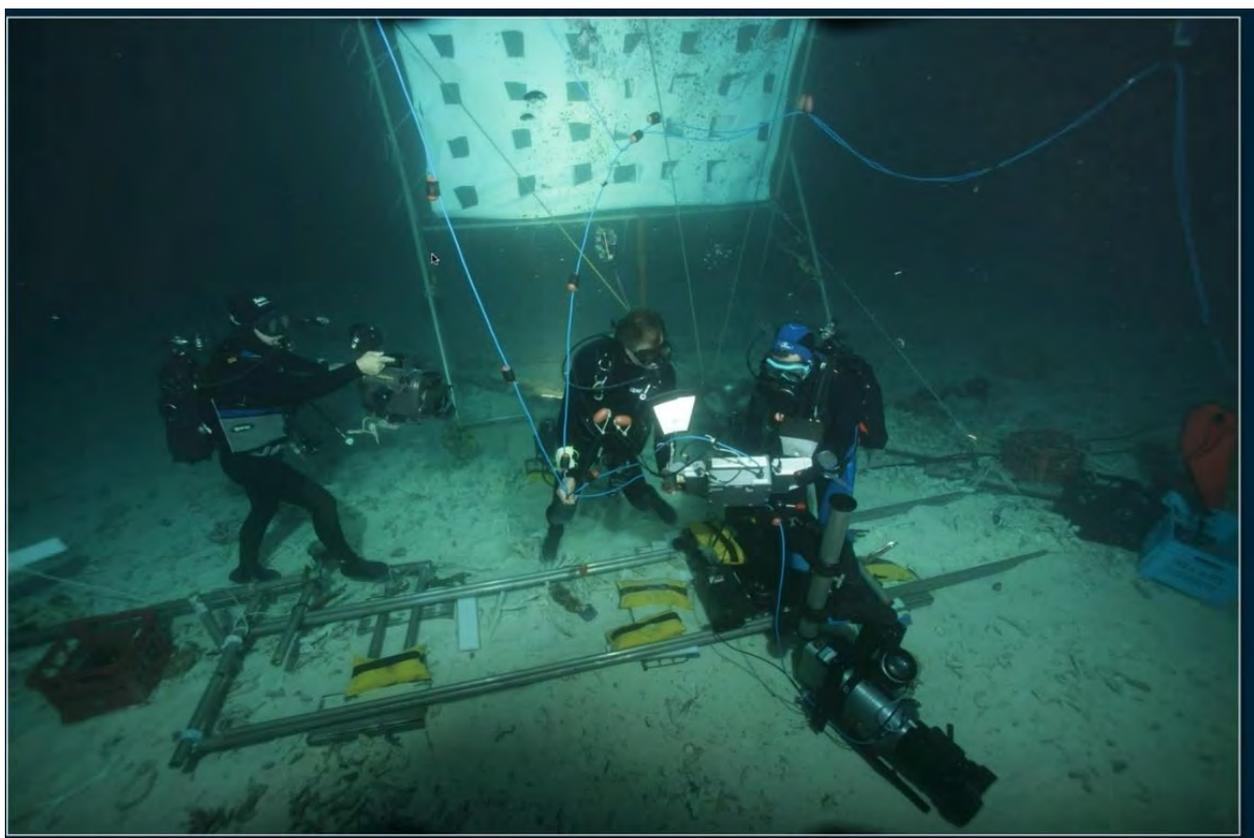


Figure 93 : Le travelling sous-marin installé pour le traveling latéral

PARTIE 4.
LE DÉCOR
ARTIFICIEL



CHAPITRE 1 : ANALYSE DE MA PARTIE PRATIQUE DE MEMOIRE

Présentation du projet

Comme nous l'avons vu dans la partie précédente, tourner un film dans un décor naturel implique des moyens importants qu'ils soient humains ou techniques. Le tournage en décor artificiel permet de s'affranchir de la plupart de ces contraintes tout en permettant plus de contrôle. Dans le cadre de ma partie pratique de mémoire, je souhaitais réaliser des essais esthétiques qui simulent un espace marin immense dans un décor artificiel de taille réduite. Il s'agirait d'une courte séquence où chaque élément présent à l'écran serait contrôlé, que ce soit la lumière, le cadre, le décor et le sujet filmé. Je citerai une phrase de Jacques Ballard « Lors d'un tournage studio sous-marin, il est plus difficile d'improviser qu'au sec. Tout doit être préparé à être immergé. ». Pour tester les implications esthétiques d'un tournage sous-marin, j'ai choisi de représenter une sirène dans les abysses. Le mot « Abysse » vient du grec ancien *abyssos* qui signifie l'insondable, ce qui par nature, est dépourvu de fond, il sera repris par les océanographes à la fin du XIXe siècle pour désigner le gouffre qui mène au fond des océans.⁴⁴ Quant à la sirène, elle représente dans le folklore européen une dualité entre séduction et danger. Elle symbolise l'attraction des marins pour la mer et les dangers cachés sous la surface apparemment calme et séduisante de l'océan. Ainsi, la sirène apporte de la lumière et de la féerie dans l'obscurité pour nous séduire et nous emporter toujours plus loin dans les profondeurs abyssales de la mer.

1. Scénario

Première séquence : La sirène surgit des abysses et découvre des rayons de lumière qui s'animent au milieu de l'obscurité, s'en suit une danse, un chassé-croisé entre la sirène et la lumière.

Ce plan de demi-ensemble me donne la possibilité de montrer toute l'envergure de la créature dans un format d'image anamorphique. La lumière et la sirène se rassemblent au centre du cadre, s'en suit une métamorphose par la lumière.

Deuxième séquence : La sirène s'illumine de mille feux et découvre son corps métamorphosé.

Par cette deuxième séquence où la principale source de lumière est la sirène, je souhaite simuler une bioluminescence et ses effets esthétiques dans une image sous-marine, ce sera l'occasion de tester des flous avec une longue focale et des sources lumineuses proches de la caméra.

Troisième séquence : Soudain, l'obscurité laisse place à la lumière. La lumière du jour illumine le visage de la sirène qui remonte vers la surface. Touchant de son doigt la peau de l'eau, elle se laisse réchauffer par les rayons du soleil.

⁴⁴ Christophe Migeon, *Abysses*, éditions Paulsen, Paris, 2015, 301 pages, p. 8

Cette séquence qui pouvait être tournée en fonction du temps restant à notre disposition pour tester un allumage de Tungsten (une source blanche à 3200k) pour observer les caustiques qui pouvaient se former sur la peau de la comédienne à proximité de la surface. Finalement, cette séquence ne sera jamais tournée, mais finalement j'apprécie d'autant plus le film définitif qui est plus cohérent dans son ensemble. L'ajout du soleil était utile pour tester une source différente, mais elle ouvrait un nouveau chapitre qui retirait à la transformation toute sa force. Au final, le film se conclut sur un plan où le spectateur est abandonné par la sirène au fond des abysses, ce qui est plus cohérent avec la symbolique de la créature.



Note d'intention



Le projet est né d'une rencontre, celle avec Claire la Sirène, qui est apnéiste et mannequin subaquatique professionnelle. Elle est spécialiste du « Mermaiding » : création de spectacles de sirènes en apnée dans un aquarium aménagé sur une scène de théâtre. Je trouvais particulièrement intéressant d'un point de vue esthétique et technique de mettre en valeur cette discipline au travers d'un film. La sirène est un excellent sujet qui permet d'étudier les rendus de peau et de textures sous l'eau, notamment les couleurs, les cheveux pour leur transparence et leur texture mais aussi les écailles avec leurs réflexions et leurs couleurs. Pour le tournage d'Océan, Philippe Ross et son équipe ont déguisé un plongeur en sirène, créature mi-humaine, mi-animale pour pouvoir tester les cheveux et les différentes textures animales que l'on pouvait rencontrer en milieu naturel.

Claire la sirène, ayant réalisé une thèse sur les sirènes au cinéma, était sensible aux questionnements de mon mémoire. Ainsi, ce projet fut l'opportunité de me confronter aux contraintes aux limitations de la captation d'une danseuse en apnée et les possibilités de mise en scène que cela me proposait.

La caméra

Ce projet fut l'opportunité de travailler avec des professionnels qui savent mettre en place un environnement de travail similaire à celui des productions de films. Je souhaitais utiliser la caméra cinéma de l'école, la Sony Venice, pour me mettre dans des conditions de tournage professionnel. Pour immerger la caméra en toute sécurité, j'ai fait appel à David Foquin et Mathieu Lamand, de la société Sous-Exposition qui sont



assistants caméra et chefs opérateurs spécialisés dans la prise de vue subaquatique pour le cinéma. Basés en Île de France, ils ont l'habitude de travailler en décor artificiel. Ils ont accepté de m'accompagner dans l'exercice pour me former à l'utilisation d'un caisson Subspace

La lumière

L'objectif du film est de travailler les contrastes extrêmement forts avec une lumière à contre-jour, une situation que l'on peut rencontrer sous l'eau en décor naturel. Avec une source ponctuelle particulièrement dure, je voulais renforcer l'aspect mystique de la créature et créer des brillances sur les écailles. Pour créer tous les effets et animations de rayons lumineux, j'ai choisi de travailler avec une lyre robotisé LED qui permet d'inclure des mouvements, des variations de couleurs et de motifs. C'était un projecteur qui pouvait se placer en douche sur la piscine tout en étant orientable et pilotable à distance, ce qui est un gain de temps non négligeable sur un tournage sous-marin.

Enfin, il fallait trouver une solution pour occulter une piscine totalement, à la fois à l'extérieur et sous-l'eau pour garder le contrôle de la lumière pour et éviter toute diffusion involontaire. La difficulté est que le chlore des piscines blanchit les bornioles. David et Mathieu m'ont conseillé de plutôt utiliser du coton gratté, qui est beaucoup moins cher, plus léger et qui convient mieux pour un usage unique.



Figure 94 Schéma du plan lumière initiale :

- 1 : Skypanel
- 2 : Astera Titan
- 3 : Borniols sous-marins
- 4 : Lyre Ayrton Diablo

Les repérages

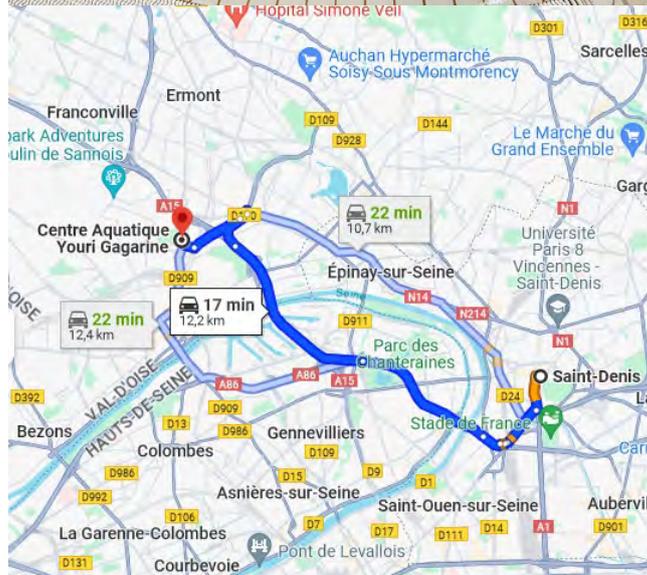
David et Mathieu m'ont tout de suite conseillé de tourner le projet à la fosse d'Argenteuil. Les fosses de plongée sont des piscines, souvent circulaires, qui sont suffisamment profonde pour que les clubs de plongée et d'apnée puissent s'y entraîner. La fosse d'Argenteuil fait huit mètres de large et quinze mètres de fond, avec un premier palier à cinq mètres.

Ce premier palier à 5 m était idéal pour être suffisamment proche de la surface et conserver la qualité des couleurs mais pas trop proche pour éviter que l'actrice touche la peau de l'eau durant sa chorégraphie. Cette faible profondeur nous permettait de tourner avec un équipement de plongée fourni par la fosse elle-même.

Le tournage en bassin artificiel nous offre de plus le confort d'avoir une eau claire et chauffée.

Le centre aquatique d'Argenteuil est à vingt minutes de l'école en voiture ce qui permet un gain de temps non négligeable durant cette journée d'essais très chargée.

Le seul défaut du lieu par rapport au projet était la très grande quantité de baies vitrées qu'il fallait occulter.



Les essais caméra avec Sous-Exposition

Voici les étapes que nous avons suivies pendant les essais pour préparer le caisson :

- Installer la caméra dans le caisson de façon à ce que la pupille d'entrée de l'optique au centre du dôme
- Déporter les contrôles de la caméra à l'extérieur du caisson
- Valider les réglages caméras et leur compatibilité avec la prise de vue sous-marine
- Vérifier l'étanchéité du matériel

Il est très important de prendre le temps de préparer la configuration caméra avec rigueur et dans le calme. Réfléchir longtemps à l'avance au matériel nécessaire est indispensable pour ne pas se retrouver dans une impasse quelques heures avant le tournage parce qu'il manque un outillage, un câble ou une bague bien spécifique qu'il sera trop tard d'acheter, fabriquer ou louer.

C'est pourquoi Mathieu Lamand et David Foquin sont venus dans le magasin de l'école rencontrer Pierre Chevrin, le responsable du matériel cinéma, un mois avant le tournage, afin qu'ils puissent prendre connaissance du matériel à Louis Lumière. Ils ont monté la caméra une première fois dans le caisson et ont constaté qu'il manquait un câble pour l'installation des moteurs et leur raccordement à la commande de point. Ils m'ont ensuite demandé de calculer en laboratoire la position de la pupille d'entrée des optiques que je voulais utiliser pour mon tournage. Ces premières mesures optiques sont décrites dans le chapitre sur les contraintes optiques du mémoire.



Description du caisson

Modèle : MK2700 « Cinematography »

Profondeur max : 250m

Dimensions : 60x40x40 (cm)

Poids : 17 Kg

Matière : Aluminium qualité marine, trempé et recuit. Anodisé

Contrôle d'étanchéité

Commandes de base :

- On /Off
- Rec / Standby
- Zoom, Mise au point, Diaphragme (contrôle mécanique)

Liaison surface jusqu'à 50 mètres.

Dôme 9" en verre BK7 et hublot plan.

Moniteur sous-marin Small HD 503 UB

C'est deux jours avant le tournage que nous avons pu placer la caméra définitivement dans le caisson. **Voici un compte rendu étape par étape de cette préparation :**

Préparation du caisson

La première étape est de visser une plaque en métal qui permet de fixer le corps caméra à la base du caisson. Quatre vis permettent de rehausser le corps caméra pour que l'optique soit au centre du dôme. Ces vis et le choix de la plaque utilisée dépendent du modèle de caméra.



Il faut ensuite choisir un placement optimisé des moteurs de point et de diaphragme grâce à des petites tiges fixées sur le corps caméra. Ils doivent pouvoir être écartés de l'optique pour que l'assistant caméra puisse la retirer. De plus il n'est pas possible d'utiliser une mate box pour ajouter



des filtres. Il faut donc filtrer à l'arrière, utiliser des ND internes ou coller un porte filtre 4x4 ou 4x5.6.

La caméra est ensuite testée en intégralité en dehors du caisson pour vérifier que tous les raccordements fonctionnent normalement. On teste également la liaison du caisson avec la commande de point par un long câble LCS ainsi que le câble Ethernet pour la liaison avec l'ordinateur.

Pour le déclenchement de la caméra, trois possibilités s'offrent à nous :

- par la commande de point, il faut que le moteur soit câblé sur la prise RS
- manuellement, via une manette pour déclencher un servo-moteur
- via le câble Ethernet

Nous avons choisi cette dernière option pour que les personnes à la surface aient la responsabilité du déclenchement pour que ce soit plus pratique pour le plongeur.

Test de la commande de point

À cause de la longueur du câble LCS qui relie la commande de point aux moteurs, nous avons constaté des pertes de signal. Nous avons dû changer la combinaison plusieurs fois avant d'en trouver une qui fait passer le signal.

Le placement de l'optique dans le dôme

En plaçant la pupille d'entrée au centre du dôme on s'assure que les rayons qui arrivent à l'optique par l'intermédiaire du dôme ne seront pas déviés et qu'ils seront tous

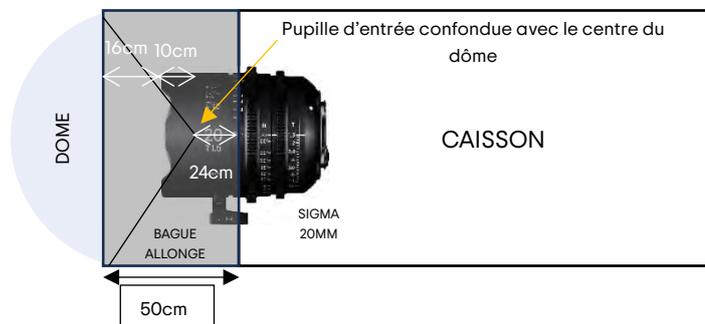


perpendiculaires. Si l'on ne place pas le dôme dans une position bien précise on peut voir apparaître des déformations et des défauts de mise au point. Le fabricant du caisson Subspace nous donne la position du centre du dôme par rapport à la façade d'appui, soit de 24,18mm. On utilise le schéma fournis par le fabricant. La pupille d'entrée que nous avons calculé devra donc être placé à 24,18mm de la surface d'appui pour qu'elle soit confondue dans les trois dimensions avec le centre du dôme. Chaque optique possède une pupille d'entrée différente, ce qui implique un placement différent de la caméra pour chaque focale (dans mon cas il y en avait deux, le 20 et le 85mm).



Comment placer le dôme de façon que le changement d'optique soit optimisé ?

Subspace fourni une « bague allonge » qui permet d'allonger le caisson de 5 cm. L'idée est donc de placer le corps caméra à un point stratégique pour n'avoir à retirer que la bague allonge au changement de focale pour que le dôme soit de nouveau bien placé. Dans notre cas il faut placer l'avant de l'optique à 16mm de la monture du dôme pour que tous les éléments soient positionnés, on a 16mm+10mm+24mm qui correspond à la bague de 50mm. Ainsi, au changement d'optique on aurait pu avancer la caméra de 48mm mais on va préférer supprimer la bague allonge. (On s'autorise une distance de 2mm entre la pupille d'entrée du 85mm et le centre du dôme car celui-ci à moins d'importance sur une focale aussi longue, pour rappel, les problèmes apparaissent sur les angles courts).



Réglage du champ de vision de la caméra

On vérifie qu'il n'y a pas de vignetage (en effet, nous avons remarqué que la résolution 6k en plein format (3 :2) est trop large au 20mm : le pare-soleil est visible). Nous avons choisi plutôt le réglage 4k 17/9 qui correspond à une couverture super 35mm. Le vignetage dépend de la taille du dôme qui doit être compatible avec l'optique utilisé en fonction de son angle de champ. Par exemple en plein format un dôme 9 pouces permet de couvrir du 16mm.

Derniers ajustements

Une fois la position de la caméra validée et tous les réglages effectués, on verrouille tous les câbles à l'intérieur du caisson. Sur la surface de celui-ci on trouve une multitude de bouchons qui peuvent être retirés pour faire passer les câbles par des connectiques étanches. On vérifie qu'elles ne contiennent pas de sable, de poils ou de poussières, que les joints toriques sont graissés et en bon état et on ferme le caisson

Les essais lumière



Ce projet a été l'occasion de travailler avec Chloé Benoit et de Dorian Maigrot qui sont tous les deux étudiants à Louis Lumière également qui m'ont apporté leur aide pour créer la lumière du film.

Très vite le choix s'est porté sur l'utilisation d'une lyre, la Ayrton Diablo, que j'avais pu essayer durant l'atelier DMX de l'école. Il s'agit d'une tête robotisée pouvant tourner sur deux axes, possédant une LED de 300w pour 19 000 lumens et disposant d'une grande gamme de couleurs, d'animations et de gobos (les gobos sont des pochoirs qui dessinent des motifs à effets dans le faisceau de lumière). Il était donc possible de faire des ajustements lumière rapides pendant la prise.

Parmi mes intentions de mise en scène, je voulais tester un projecteur en douche sur le personnage. Or, la lyre est un projecteur lourd de 25kg qui peut être difficilement déporté au-dessus d'une piscine. J'ai donc échangé avec Philippe Journet, spécialiste chez Visual Impact, qui m'a conseillé de monter un pont lumière au-dessus de la piscine, avec deux pieds SuperWindUp orientables. Par la suite cette solution s'est avérée indispensable puisque notre responsable du matériel de mon école, Pierre Chevrin, nous a demandé de basculer sur le modèle haut de gamme de lyre, et prendre la Ayrton Domino LT, pour éviter tout problème concernant l'humidité du site. Ce projecteur est néanmoins beaucoup plus encombrant 1m de longueur pour 60kg mais qui est IP6⁴⁵, donc résistantes aux éclaboussures et à l'humidité. Ce projecteur était beaucoup plus puissant avec une LED de 1000watt de 51,000 lumens.



Le samedi précédent le tournage, nous avons monté avec Chloé et Dorian la lyre sur le pont lumière une première fois dans le studio de l'école avec une grande hauteur sous plafond. L'idée originale était de positionner une comédienne sous la lyre et devant un fond noir, puis de rajouter de la fumée pour simuler la diffusion de la lumière par l'eau. En plaçant la caméra en face de la comédienne, j'espérais ainsi créer des plans terrestres que l'on pourrait comparer avec ceux obtenus sous l'eau.

Gestion des imprévus

Malheureusement, nous avons rencontré des grandes difficultés à faire fonctionner le projecteur. Nous avons fait venir une deuxième lyre de rechange car la première avait planté et n'arrivait tout

⁴⁵ L'indice de protection 65 garantit que le projecteur est parfaitement protégé contre les jets d'eau provenant de différentes directions à la lance et peut donc être utilisé en milieu humide.

simplement pas à démarrer puis nous avons rencontré un problème encore plus grave. En cause : un patch manquant dans la console DMX de l'école. La lightshark est une console qui est donnée avec des patches qui permettent de contrôler un certain nombre de projecteurs disponibles sur le marché, mais pas tous ! En amont, j'avais cru que le patch Ayrton Domino correspondait au patch de notre projecteur, il s'est avéré que non puisque c'était la Ayrton Domino **LT** notre modèle ! Heureusement, nous avons été sauvés par Franck Jouanny qui est responsable du matériel son et scénographie à l'école. Il a fait la route un samedi pour venir nous créer un patch sur mesure en urgence. En conclusion nous n'avons eu que deux heures pour terminer ces essais et la machine à fumée ne fonctionnant pas non plus (décidément !). Nous avons fait tout notre possible pour créer toutes les animations d'effets en vue du tournage, mais nous n'avons pas pu filmer ces tests. À l'avenir, je saurais qu'un tournage sur un seul jour doit s'organiser plutôt en milieu de semaine, pour pouvoir faire tous les essais sur des jours ouvrables et tester la lumière chez le loueur comme on testerait une caméra chez eux, au cas où il y a des imprévus ou des dysfonctionnements.

Le journal du tournage

Arrivée sur le site

La première des choses à faire est d'ouvrir les mallettes des optiques pour les laisser se réchauffer à la température de la pièce, la fosse étant chauffée à 29° ce jour-là, il faisait très humide autour du bassin et nous devons éviter à tout prix la condensation sur les optiques. Nous avons également dû respecter des mesures d'hygiène en portant des surchaussures autour du bassin. Nous avons disposé des bâches sur le sol pour placer les pieds des super-wind-up.



David et Mathieu se sont tout de suite installés sur une table pour préparer le caisson et ouvrir les mallettes. Ils ont ensuite préparé le caisson, la caméra et la commande de point. Pour l'installation du dôme, ils ont veillé à ce qu'il n'y ait ni poussière ni buée avant de le refermer.

Installation de la lyre

Avec Chloé et Dorian, nous avons construit le pont lumière de dix mètres de pour y placer la lyre. La lentille frontale du projecteur s'est chargée instantanément de buée, donc nous avons attendu qu'elle se mette à température avant de l'allumer. J'ai aussi réalisé que le fait qu'elle soit ip65 n'était pas une mauvaise chose !



Ces essais devant se faire dans l'obscurité, nous avons utilisé du polyane pour occulter toutes les baies vitrées de la fosse. Le polyane a remplacé sur ce tournage les bornioles car mieux adapté à l'humidité très importante. En revanche ils se sont gonflés à cause de nombreuses vannes d'aérations présentes sous les fenêtres, il nous a fallu plus d'une heure pour occulter la pièce.



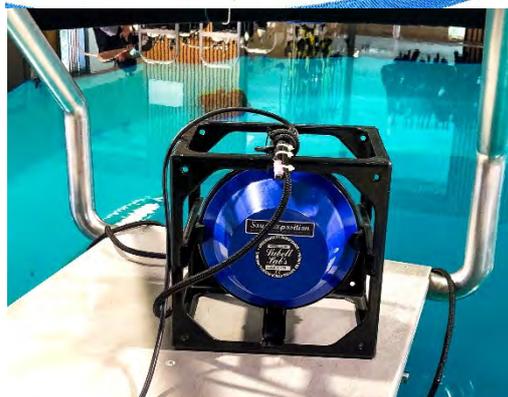
La lyre était pilotée avec une console DMX à la surface. Chloé et Dorian disposaient d'un retour image. Nous avons testé la lyre sur l'eau, le pont lumière étant sur des pieds wind up à roulette, nous pouvions déplacer le pont lumière sur le bord de la piscine pour pouvoir ajuster le projecteur en cas de problème.





Installation du borniole sous-marin

Pendant que nous terminions la lumière, David et Mathieu sont allés à 4m de profondeur avec des paniers remplis de plomb pour aller tendre le borniole sous-marin.

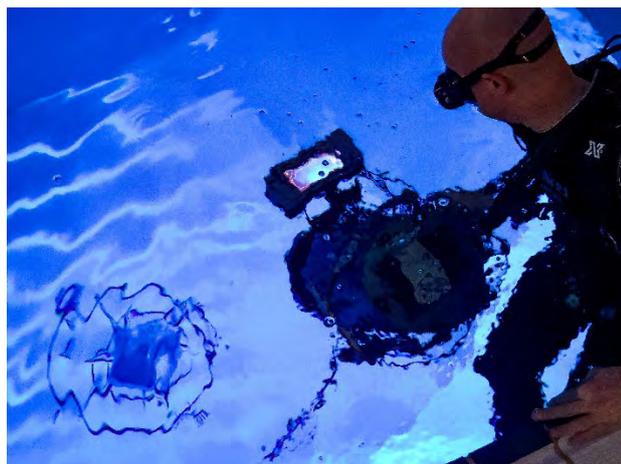
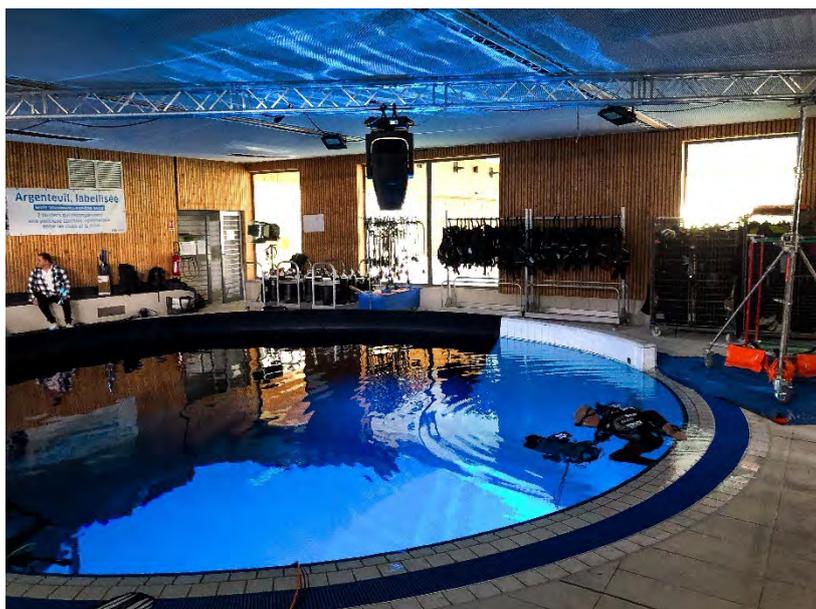


La communication

Afin de pouvoir communiquer sous l'eau, David et Mathieu ont apporté un haut-parleur sous-marin qui était relié à un micro à la surface. En tant que réalisateur, je pouvais donc parler au cadreur et à l'actrice et ilspouvait me faire des signes en réponse sous l'eau.

Derniers essais lumière et immersion de la caméra

Nous avons terminé la préparation par les derniers essais lumière pour voir si nos préréglages créés en essai étaient toujours fonctionnels. David et Mathieu ont immergé la caméra et nous avons pu découvrir les images sous-marines !





Équilibrage de la caméra

Le caisson à une flottabilité positive. Il faut donc l'alourdir et équilibrer le poids.

David et Mathieu ont utilisé un bracelet lesté autour du dôme et des poids accrochés sur des rails pour ajuster l'équilibrage à l'avant et à l'arrière du caisson.

Workflow sur le tournage

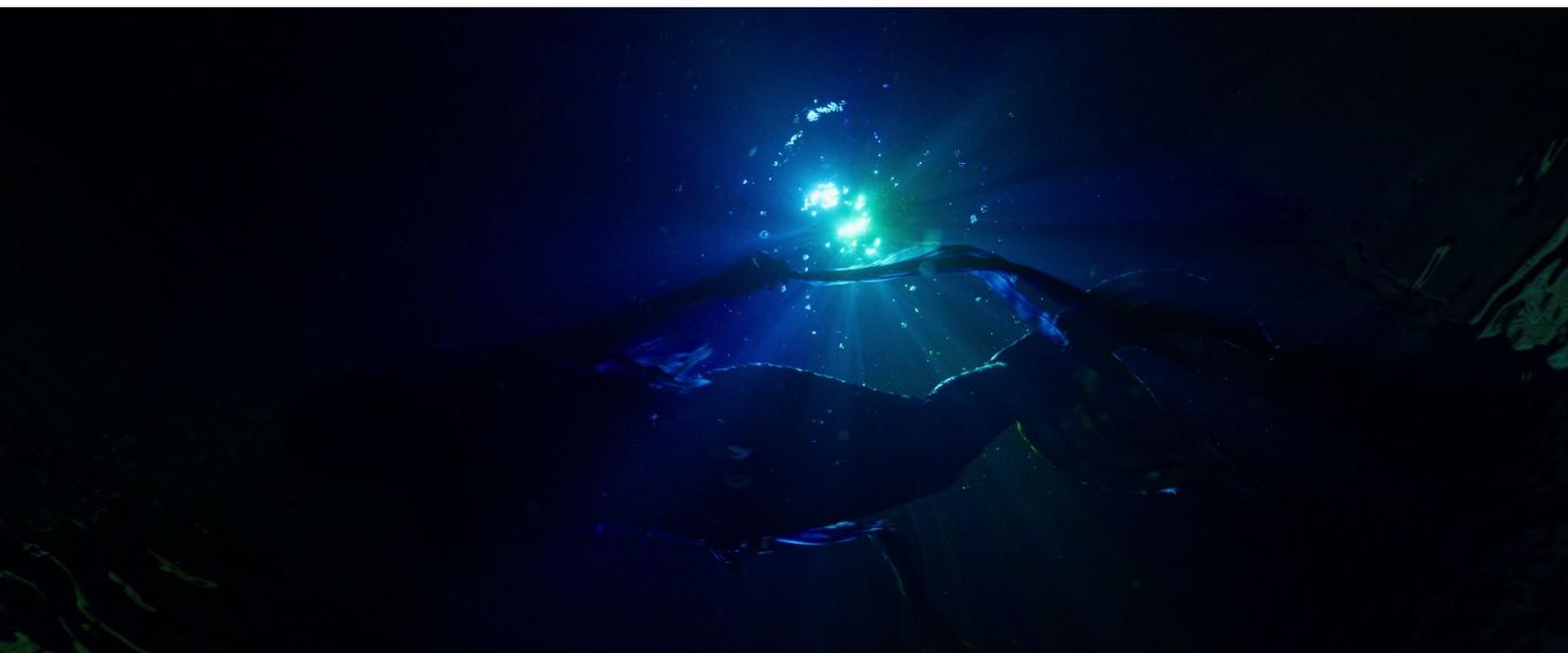
Avant de passer à l'analyse plan par plan, voici un résumé des réglages choisis sur la caméra

Dôme : Subpace 9" en verre BK7
Optiques : Sigma FF
Camera: Sony Venice
Codec : X-OCN ST
Fréquence de trame : 25fps
Cadence de prise de vue : 50ips
Angle d'obturation : 180°
Balance des blancs : 5500k
Définition/ratio enregistrés : 4K 17:9 / 4096 x 2160
Espace de couleur : S-Gamut3.Cine/S-Log3
LUT utilisée sur le plateau : S-Gamut3.Cine vers REC709



Commentaire : Nous avons filmé le film en 50 img/s mais cadencées à 25 img/s pour qu'à la lecture du rushes les images soit diffusées avec un ralenti x2. Nous avons également appliqué des repères nous permettant de voir l'image dans son ratio définitif en 2,39, soit 4096x1716. Les images étaient visualisées sur les moniteurs du cadreur sous l'eau et en surface à l'aide de la LUT fabriquant vers REC709. J'ai indiqué pour chaque plan la sensibilité, l'utilisation d'un filtre neutre dans la caméra, la focale et l'ouverture de l'objectif. À noter que la sensibilité choisie au plateau est une métadonnée, elle peut être changée en post-production (ce que j'ai fait pour le plan de l'allumage des ailes de la sirène)

Analyse plan par plan



Plan 1 (ci-dessus) : **Sensibilité 500EI - Focale 20mm - Ouverture Ø4 - Sans filtre ND**
Opérateur plongeur : Mathieu Lamand

Je souhaitais ouvrir le film avec un plan cadré depuis les fonds marins et orienté vers une source froide semblable à une lune qui produirait des couleurs irréelles. Ce contre-jour permet aux raies de lumières colorées se matérialiser dans l'eau. Je voulais également tester des teintes « bulle de savon » qui ne se retrouvent pas en décor naturel et voir les possibilités de la Sony Venice en très haute saturation des couleurs. Je voulais également introduire la sirène sous la forme d'une ombre énigmatique aux caractéristiques humaines et animale, surgissant du néant pour troubler la quiétude de ce plan fixe. J'avais envie de découvrir ce que pouvait produire les voles colorées en transparence, dans l'espoir que le contre-jour fasse jaillir des couleurs très saturés et denses. Cette lumière en contre me permette de créer une découpe de la silhouette faisant ressortir la texture des écailles.

Pour tourner ce plan, Mathieu s'est installé à 4m de profondeur et a ajusté les poids à l'arrière du caisson pour que le centre de gravité soit vers l'arrière et qu'il puisse tenir la caméra en contre-plongée de façon confortable. David est allé avec lui pour l'assister. Une fois le cadre trouvé, Chloé a orienté la lyre vers le centre de l'image tandis Dorian a veillé à ce que toutes les grandes baies vitrées de la fosse soient borniolées un maximum. Malheureusement, nous n'avons pas réussi à éliminer toutes les fuites, ce qui fait que le toit de la fosse était visible dans l'image. David m'a alors suggéré de faire des vagues à la surface et grâce à l'assistance de mon directeur de mémoire interne, David Grinberg, nous avons pu tourner ce plan sans que le toit soit visible. J'ai demandé à mon actrice de faire une trajectoire en arc de cercle à 1m de la surface, de façon à être sûr qu'elle puisse entrer et sortir du champ.





Plan 2 (ci-dessus) : Sensibilité 500EI - Focale 20mm - Ouverture Ø1,47 - Sans filtre ND

Opérateur plongeur : Mathieu Lamand

L'objectif était de représenter la sirène dans un plan large pour que l'on ressente la profondeur immense des abysses. J'ai donc calculé qu'au 20mm le recul était suffisant dans la fosse de 8m de diamètre pour filmer l'ensemble du borniole (de six mètres de large par quatre mètres de haut) dans un ratio de 2,39. Ce plan me permettait de filmer toute l'envergure de la queue de la sirène. Claire est descendue dans une profondeur comprise entre 6 et 2m pour exécuter sa chorégraphie sur des prises qui pouvait durer deux minutes en fonction de ses capacités d'apnée. Avec chaque nouvelle prise, nous avons essayé de perfectionner le mouvement pour qu'elle puisse exploiter au maximum la troisième dimension, et de ne pas seulement se déplacer de part et d'autre du cadre mais aussi devant et derrière pour que l'on ressente le volume immense de cet espace vide. En lumière, Chloé a généré un Gobo avec un motif en rotation qui permet de tracer, grâce à la légère diffusion de l'eau et au fond complètement opaque, les rayons d'une lumière aquatique qui semble artificielle et non pas naturelle. J'ai utilisé des motifs carrés qui vus sous cet angle donnent une sensation de mouvement en alternance. Une difficulté est que Claire avait du mal à se repérer dans l'obscurité, il est en effet impossible de voir net sous l'eau à l'œil nu. C'était donc un travail complexe pour elle comme pour moi, puisque j'essayais de la diriger pendant les prises à l'aide de l'hydrophone pour qu'elle puisse se placer progressivement au centre du cadre. Je devais veiller à ne pas parler trop fort, car j'ai compris en m'immergeant moi-même par la suite que l'on entend très bien le son de l'hydrophone et qu'il peut perturber la chorégraphie de l'actrice.

Heureusement la lyre fut d'une grande aide pour ajuster doucement l'angle des rayons en fonction de la position de Claire. L'objectif était que les deux puissent se rassembler et être centrées dans le cadre à la fin du plan pour le passage au noir et la transformation. Chloé a programmé un effet de Gobo tournoyant qui s'accélère et qui se réduit en une ligne très lumineuse qui se reflète sur les écailles avant le black-out. Malheureusement notre temps de tournage étant limité, nous n'avons pu réaliser que trois prises, et le faisceau et Claire n'étaient alignées seulement la première ou elle était un peu décadrée (Mathieu était bloqué par la limite du coton gratté). Heureusement, cette prise pu être corrigée en post-production et se trouve dans le film. (Ci-dessous à gauche image originale et à droite image modifiée, j'ai utilisé un masque noir pour combler l'espace sur le bord droit).





Plan 3 (ci-dessus) : Sensibilité 500EI - Focale 20mm - Ouverture Ø1,47 - Sans filtre ND

Opérateur plongeur : Mathieu Lamand

Après un raccord dans l'axe, le troisième plan est plus serré pour permettre une connexion plus forte entre la sirène et le spectateur. Également, ce cadre nous a permis de voir s'il était bien possible de faire une mise au point de prêt en gardant les extrémités du cadre net (ce qui n'aurait pas été le cas si le dôme n'était pas calé). Avec cette valeur de plan, on peut conclure visuellement que les micro-contrastes sur la peau et sur les cheveux n'ont pas été perdus par le système optique.

Je voulais que l'on puisse ressentir à travers les yeux de la sirène le plaisir de pouvoir se mouvoir en apesanteur. Cette sensation est matérialisée par le ralenti nous donne une sensation apesanteur renforcée par le jeu avec les foulards et les longs cheveux.

Également, je me suis rendu compte en voyant les images sur grand écran de l'absence d'aberrations chromatiques et de déformations grâce au dôme et à l'optique de grande qualité. On se surprend à oublier que le film est tourné dans un autre milieu que l'air. Le seul détail qui trahit la présence de l'eau sont les bulles soufflées par Claire (qui doit utiliser son poumon-ballaste pour maintenir sa flottabilité entre deux eaux sans remonter).

Enfin ce plan fût également l'occasion de travailler les caustiques qui s'animent sur la peau de Claire. Pour rappel, ce sont les motifs lumineux causés par la réfraction de la lumière à la surface qui s'animent en rythme avec les vagues. Lors des essais j'ai choisi un gobo qui, lorsqu'il est net, produit un liseré violet qui se marie bien avec le cyan de la lumière d'ambiance. Sur l'image finale, les caustiques causés naturellement à la surface se mélange sur la peau avec des caustiques « artificielles » créés par les animations de gobo de la lyre.

En plus du phénomène de réfraction, on peut également constater que les foulards de couleur rouge sont devenus beaucoup plus sombre et peu saturés à cause de la couleur cyan du projecteur comme source unique. J'ai voulu simuler une absorption par l'eau comme s'il s'agissait de l'eau d'un décor naturel qui a généralement une couleur plus cyan et plus prononcée que l'eau en piscine. La couleur cyan que j'ai choisi sur la lyre correspond esthétiquement à celle d'une profondeur plus importante que les 4 mètres d'eau qui ont servi pour filmer le plan.



Plan 4 (ci-dessus) : Sensibilité 500EI – Focale 20mm - Ouverture inconnue (sans doute T4) – Sans filtre ND

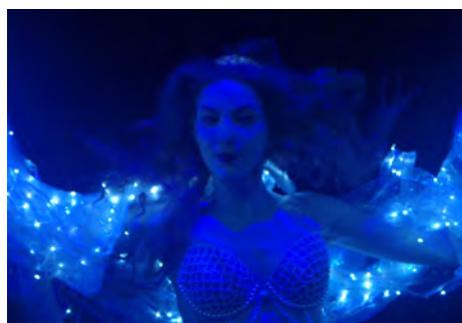
Opérateur plongeur : Pierre Brunon

L'idée derrière ce plan était de travailler sur la transparence et simuler une bioluminescence qui peut être exploitée parfois en prise de vue sous-marine. Claire possédait des ailes lumineuses qu'elle avait déjà essayé sur des représentations. Nous avons juste besoin de trouver un moyen de rendre la boîte de pile étanche pour que Claire puisse descendre d'un ou deux mètres en dessous de la surface. J'ai donc acheté une protection étanche pour téléphone portable que j'ai percé pour faire passer les câbles. J'ai colmaté le trou à l'aide d'un joint silicone spécial piscine.



J'ai également profité de ce plan pour m'immerger et cadrer moi-même pour me confronter à l'exercice du maniement du caisson. J'ai compris qu'il était très difficile de se stabiliser à une profondeur fixe tout en cadrant face à un fond noir. J'ai été très perturbé par l'absence repère visuel pour savoir si je montais ou descendais : je me suis surpris à commencer une prise à 3 mètres de profondeur et à la terminer en crevant la surface ! Par la suite j'ai demandé à Mathieu de m'assister et j'ai veillé à mieux travailler ma respiration, c'est-à-dire utiliser mon poumon-ballaste pour maintenir ma flottabilité neutre dans l'eau.

Ce plan à d'abord était imaginé avec les diodes comme seules sources de lumière, puis nous nous sommes rendu compte que, ayant l'objectif ouvert à T1.4, les fuites de lumière dans les polyanes autour de la fosse laissaient entrer de la lumière verte qui venait polluer la carnation de l'actrice. J'ai donc retourné une deuxième fois ce plan en utilisant la lyre pour créer une lumière d'ambiance voilette qui permettant de garantir un niveau suffisant pour fermer le diaphragme. Les photos ci-dessous : sans puis avec la lyre en lumière d'ambiance.

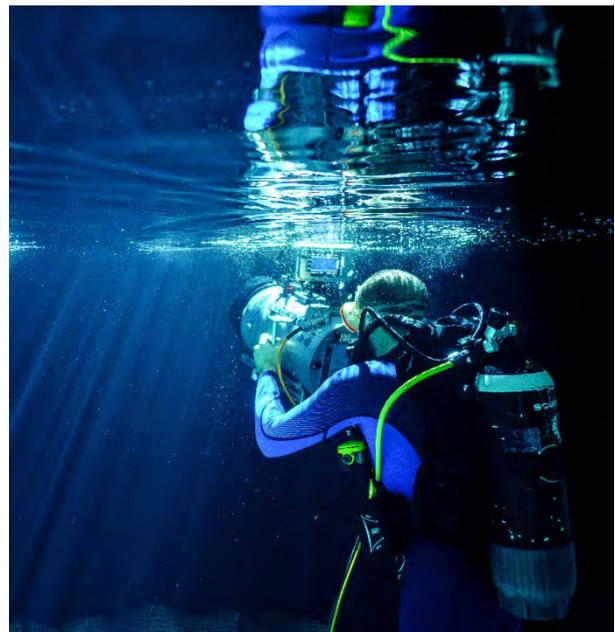




Plan 5 (ci-dessus) : Sensibilité 500EI - Focale 50mm - Ouverture T1.47 - Sans filtre ND

Cadreur : Pierre Brunon

J'ai également filmé un cinquième plan encore plus rapproché pour tester des effets de bokeh. À l'origine je voulais filmer ce plan au 85mm, mais nous n'avons pas réussi à trouver un plan de mise au point net (la distance minimale du point était trop loin du point focal du dôme). Nous avons donc utilisé un 50mm, et j'ai réalisé que c'était une focale tout à fait suffisante pour produire l'effet désiré. J'ai pu ainsi travailler le flou, ce qui est rare en milieu naturel (à l'exception de la macro). Ici le flou donne du volume aux centaines de sources lumineuses qui deviennent des perles qui virevoltent dans le cadre. Les drapés disparaissent et laisse entrevoir le visage de la sirène et sa couronne qui, grâce à la lyre située en douche au-dessus de la comédienne, brille de mille feux. Afin de montrer l'euphorie qui suit la métamorphose, j'ai utilisé un mode de fusion à l'étalonnage pour mélanger les images dans le montage, ce qui est possible grâce au fond noir qui peut devenir transparent par ce procédé.



Le rangement

Après la dernière prise, un tournage sous-marin est loin d'être terminé ! En effet, il faut absolument rincer tout le matériel qui a été immergé pour enlever le chlore. Il faut prévoir un temps conséquent pour nettoyer le coton gratté. Nous l'avons transporté jusqu'à l'école pour le sécher complètement au soleil et ainsi éviter toute moisissure.

Dans ce temps de rangement doit être inclus aussi le rinçage du caisson et le nettoyage des câbles. En utilisant le matériel de plongée de la fosse, on gagne également du temps au rangement car il peut être entretenu sur place.



Le Workflow en post-production

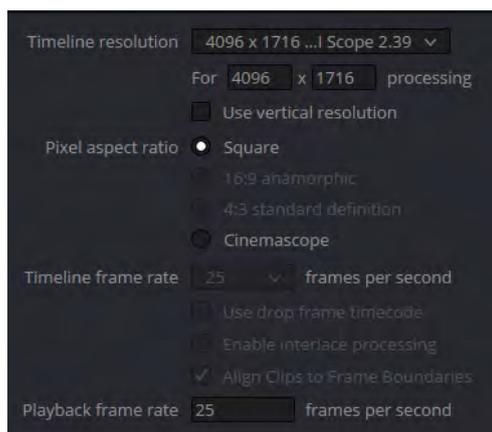


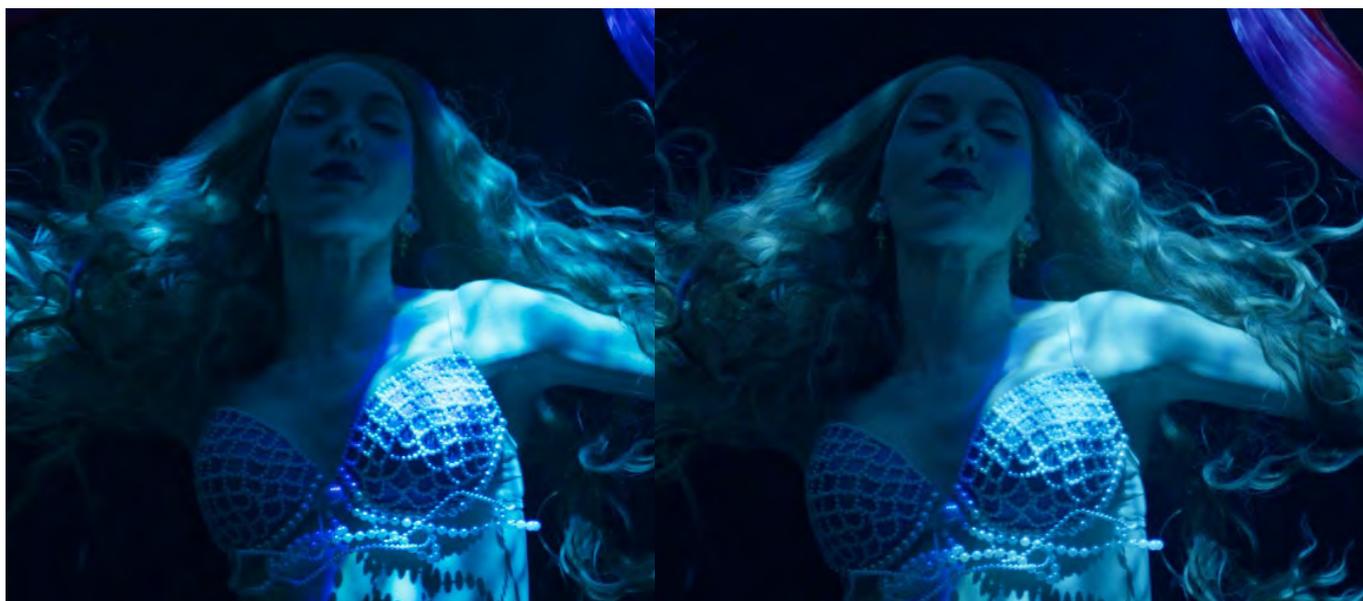
Figure 95 : Réglages sélectionnés dans le menu Timeline de Davinci Resolve

Pour rappel, nous avons réglé la caméra sur le tournage en X-OCN standard avec une résolution 4096 x 2160 en 17/9 qui est le format d'image permettant l'enregistrement de 50 images/s sur la Sony Venice.

Pour l'étalonnage, j'ai utilisé le logiciel Davinci Resolve. J'ai réglé ma timeline en 4K scope 2,39 soit 4096 x 1716 qui est le ratio définitif. De cette manière, je pouvais recadrer légèrement les plans si besoin.

Mon objectif en post-production était d'analyser le comportement des très hautes saturations et du fort contraste dans un workflow « Color-managé ».

Pour savoir quelle méthode de Colormanagement me proposait une bonne base de travail, j'ai comparé le X-OCN au travers de l'ACES 1.3 (image de gauche) et avec la gestion automatique par Davinci Colormanage (Davinci version 18) photo de droite.



J'ai préféré le traitement automatique de Davinci qui était moins contrasté que l'ACES comme base de travail d'étalonnage.

Ensuite j'ai pu réaliser un étalonnage peu poussé car les images étaient déjà très contrastées et dans de très hautes saturations. Je n'ai pas utilisé les outils lift/gamma/gain, à peine la balance des blancs/teinte et les très hautes lumières pour les adoucir.

J'ai également travaillé beaucoup avec les fondus enchaînés et les modes de fusions pour mélanger les images et créer de la transparence dans celles-ci. À l'aide d'un écran

d'étalonnage HDR, j'ai pu créer une version du film qui exploite encore mieux les fortes saturations et les noirs profonds du film, néanmoins cette version ne peut être vue que sur un écran compatible.

Retour d'expérience

Ce projet fut l'occasion d'apprendre énormément d'informations sur le tournage de fiction en milieu artificiel. J'ai ainsi appris qu'il était possible de faire appel à des spécialistes qui peuvent apporter des moyens clef en main permettant d'accompagner une production de cinéma classique pour y inclure des séquences ou des cadrages subaquatiques.

J'ai trouvé que le tournage en bassin artificiel permettait beaucoup de contrôle et de liberté quant au choix des sources, mais aussi à la possibilité de créer des scènes obscures où l'eau peut devenir pratiquement invisible à l'image.

CHAPITRE 2 : LE DÉCORS IMMERGÉ DE « THE DEEP HOUSE »

ENTRETIEN AVEC JACQUES BALLARD⁴⁶



« The Deep House » est un film d’horreur sorti en 2021. C’est le sixième film de ses deux réalisateurs : Alexandre Bustillo et Julien Maury. Il raconte l’exploration d’une maison hantée engloutie dans un lac artificiel par un couple de deux jeunes américains Ben et Tina. Mais celle-ci semble se refermer sur eux et le couple se retrouve prisonnier de cet endroit tandis que les forces du mal se déchainent.

Jacques Ballard est un directeur de la photographie spécialisé dans la prise de vue sous-marin. Il est le cadreur sous-marin du clip de music « Runnin' » réalisé par Julie Gautier et Charlie Robins, avec Beyoncé et le champion du monde de plongée en apnée Guillaume Nery. C’est par ce projet que les réalisateurs vont découvrir son travail « Quand on a vu le clip de Beyoncé, qui a été réalisé sans trucages, on s’est dit que c’était lui qu’il nous fallait pour

faire le film ». Intrigué par le projet, Jacques Ballard témoigne de son envie d’aller vers l’inconnu et le nouveau « Quand j’ai lu le scénario, je me suis demandé comment on allait bien pouvoir faire un tel film [] est-ce que c’est possible ? On va voir ! »



Figure 96 : Décor en cours d’immersion. Photogramme issu du making-of de “The Deep House”

⁴⁶ Entretien réalisé le 16 février 2024

Le décor sera fabriqué dans les bassins de Lites Studio en Belgique. Il s'agit du plus grand bassin de tournage d'Europe. Il a été choisi car il n'est pas qu'une simple piscine, il apporte toutes les technologies nécessaires pour un tournage de fiction en studio (Pont lumière, possibilité d'occulter, d'ajuster le niveau de l'eau, électricité, spécialistes sur place etc.). Le bassin principal fait 9m de profondeur. L'équipe a construit le décor étage par étage en les immergeant l'un après l'autre. Ce qui permet aux électro d'installer la lumière et la sécurité. Il faudra un an de préparation à Jacques et à son équipe pour préparer le film et trois semaines de tournages, ce qui fait un total de trente jours dans l'eau. Des doublures seront nécessaires pour toutes les scènes aquatiques du film, car il fallait des personnes extrêmement bonnes plongeurs pour tourner un tel projet en sécurité.

Le studio construit apportera son lot d'imprévus pendant sa fabrication. Les équipes devaient faire tout particulièrement attention à l'électrolyse. En effet, dès que l'on place deux métaux différents à proximité dans l'eau, l'un d'entre eux va se dissoudre par électrolyse ! Mais certains détails vont échapper à l'équipe :

« Sur les murs de la cuisine, il y a de la fausse mousse faite avec des éponges Scotch Brite en fer. C'était en contact avec de l'acier et c'était devenu un vrai problème parce que ça commençait à mousser comme l'Effergan et en plus ça s'effritait donc j'avais plein de petits morceaux de ferraille qui allaient dans les moteurs du drone ! On a dû le démonter et, pendant deux jours sans dormir, nettoyer tous les moteurs. Mais parce qu'on ne savait pas, et le chef déco non plus, que son équipe avait créé de la mousse avec de la ferraille ! ».



Figure 97 Immersion de la cuisine. Photogramme issu du making-of de "The Deep House"

Comme James Cameron avec Abyss, l'équipe de The Deep House prendra également du retard sur le planning à cause d'une eau qui se trouble lors de la fabrication des décors « Les graviers par exemple qu'il y a au sol dans le décor de la grotte n'avaient pas été rincés et l'eau et celle-ci est restée troublée pendant deux jours. La durée n'est pas non plus énorme mais ça aurait pu être assez dramatique. Et le pire, c'est qu'après cette même erreur s'est reproduite avec les graviers de l'extérieur de la maison et là j'étais vraiment énervé ! »

Il faut donc penser à chaque détail, l'eau étant un milieu complètement différent elle redistribue les cartes et les automatismes des tournages traditionnels peuvent se retourner contre les équipes même si des essais d'immersion ont été fait en amont. En effet, le jour du tournage les conditions sont différentes, les projecteurs chauffent l'eau et perturbent le fonctionnement du matériel, sur The Deep House ce fût la communication à l'aide des émetteurs wifi qui posa problème : *« Nous on avait testé en prépa [la communication] dans de l'eau à 26 degrés, ça marchait. Sauf qu'au moment du tourage avec les apnéistes à 31 degrés, tous les appareils grillaient et on a dû changer nos composants. Mais pour des questions de budget il fallait en trouver des pas chers pour refaire des nouvelles versions de nos modules wifi. J'ai donc demandé à la prod locale [...] à ce qu'on ait une seconde assistante qui soit spécialisée en Wi-Fi,*

et électronique. Et la production a trouvé Alexandra qui, elle, était ingénieure. Elle avait fait une école spécialisée. Elle habitait dans sa caravane sur le parking du studio et sa caravane était remplie d'imprimantes 3D et de fer à souder et de machines. Et elle nous a vraiment aidé à faire de nouvelles versions de nos modules Wi-Fi sous-marins qui cette fois ci ont marché. »

Le décor immergé permet d'avoir un contrôle sur tous les éléments scénaristiques, sur la mise en scène, sur le choix de la lumière, des ambiances, mais aussi de l'aspect de l'eau et des atmosphères à chaque instant du film.

Pierre : « Est-ce qu'il est possible d'utiliser de la fumée sous l'eau ? »



Figure 98 : Photogramme de la publicité Estrella

Jacques : « Oui, si tu regardes la pub Estrella que j'ai faite avec Nacho Gayan. On a utilisé un effet de fumée, mais c'était de l'encre. Et par exemple j'avais appelé une personne avec qui je travaille sous l'eau et qui est basée à Malte et pendant une semaine elle m'a fait des tests de mixtures pour créer une espèce de nuage, qui ressemble à de la pollution, un nuage gris qui reproduit la fumée. Et en gros, c'était un mélange de lait concentré et d'éléments qui doivent être tous biodégradable, mais ce

qui était difficile c'était d'avoir la bonne densité, pour que ça reste en suspension, que ça ne se diffuse pas trop vite, etc ... Il fallait trouver notre recette, tu vois.

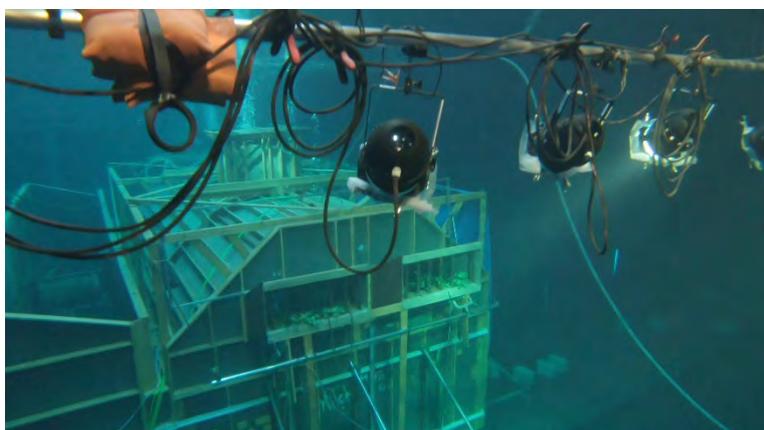
Et sur The Deep House, c'est pareil, j'avais mandaté mon assistant pendant une semaine pour faire des essais de mixtures, pour donner de la texture à l'eau. Et quand tu regardes, il y a plusieurs textures dans l'eau. Plus ils sont hauts dans la maison, plus c'est trouble, et donc, l'image est un peu grise elle est moins contrastée, tu vois « moins loin » quelque part, Et plus tu descends, plus l'eau est claire mais du coup, l'obscurité prend le dessus. Donc, tu vois



Figure 99 : On peut voir dans le making of que les accessoiristes utilisent des tuyaux pour placer la fumée à des endroits stratégiques, comme en terrestre

plus loin, mais en même temps, tes yeux essaient d'aller chercher dans l'obscurité.

Ça, c'était vraiment un effet auquel on avait pensé, qu'on avait développé et qui marche assez bien je trouve. Avec le recul, j'ai le regret pour les mouvements de descente de ne pas avoir mis plus de choses en suspension, sans que ça trouble trop l'eau ! »



L'avantage du studio sous-marin est qu'il permet d'occulter **totalem**ent la lumière pour qu'elle soit totalement artificielle et alignée avec les ambitions de mise en scène. Ici l'idée

des réalisateurs était que « le spectateur soit contraint de voir ce que voient les protagonistes avec leurs lampes ». Mais la caméra ne perçoit pas la lumière comme l'œil et il faut penser complètement la lumière du film avec un budget conséquent. Jacques va majoritairement utiliser des projecteurs de type PAR car le tungstène peut être immergé. Il va également pour l'occasion fabriquer des projecteurs LED compacts qu'il pouvait placer sur des pieds et reliés à un ballaste en surface. La contrainte des projecteurs immergés c'est qu'ils font monter la température de l'eau.

Figure 100 : Utilisation des par sous-marin. Photogramme issu du making-of de "The Deep House"

Est-ce qu'il n'y avait pas de problème de fuite de courant avec les projecteurs ?

Tu en as, ça picote un peu les extrémités, par exemple les lèvres, et tu sens une espèce d'électricité statique, l'eau a un goût métallique, mais ce n'est pas dangereux. il faut penser aux disjoncteurs adaptés pour ne pas que ça saute. Ton ne peux pas mettre des protections différentielles.



Figure 101 Salle de projection avant immersion
Photogramme issu du making-of de "The Deep House"

À la fin du film les personnages découvrent l'histoire sombre de la maison par le biais d'un film projeté sur un mur, comment avez-vous pensé la scène ?

Il fallait immerger le projecteur dans le bassin. J'ai fait fabriquer un caisson pour vidéoprojecteur Christy 2K. Je voulais absolument avoir le contrôle total de l'image en surface. Et donc quand on projette ce film avec un look Super 8 dans la salle de projection, j'étais en mesure d'étalonner l'image projetée en direct depuis la surface.

J'avais un LiveGrade qui me permettait d'ajuster les couleurs comme un électro ajusterais les lumières sur un pupitre. Quand tu bouges tu vas plus ou moins allumer un contre, et il y a des moments où je boostais à mort les rouges par exemple ou je les calmait, ou je boostais les contrastes par exemple.

La caméra

Plutôt que d'utiliser des cadreur plongeurs, le film fait le choix original d'utiliser principalement les images des caméras d'action, des Osmo 1, qui sont accrochés sur les masques faciaux des acteurs et qui seront au centre de la narration. En effet, la caméra portée donne un aspect organique à la mise en scène et donne à voir le monde au travers des yeux des protagonistes qui sont piégés dans cet environnement. Ben et Tina sont également suivis par un drone aquatique, ce qui permet à la mise en scène d'avoir plus de possibilité de découpage. Les deux réalisateurs abordent ce sujet dans le making of du film : « On pourra faire de la mise en scène sous l'eau en réduisant les contraintes. Nous voulons créer de la tension, des sursauts, jouer sur la profondeur de champ, sur ce que l'on voit mais surtout sur ce que l'on ne voit pas, le film nous enferme dans une maison sombre avec une visibilité limitée à deux ou trois mètres ». ⁴⁷ Ben aura également une caméra accrochée au poignet ce qui fait un

⁴⁷ Making of de The deep House

total de quatre caméras qui tournent en simultané. Jacques Ballard témoigne de l'évolution de ce dispositif au fur et à mesure de la production : « Après une semaine de tournage, on a réalisé qu'il fallait vraiment qu'on se concentre point de vue par point de vue. Donc, on faisait la scène du point de vue de Tina, puis de celui de Ben. Après on se concentrait sur la caméra à la

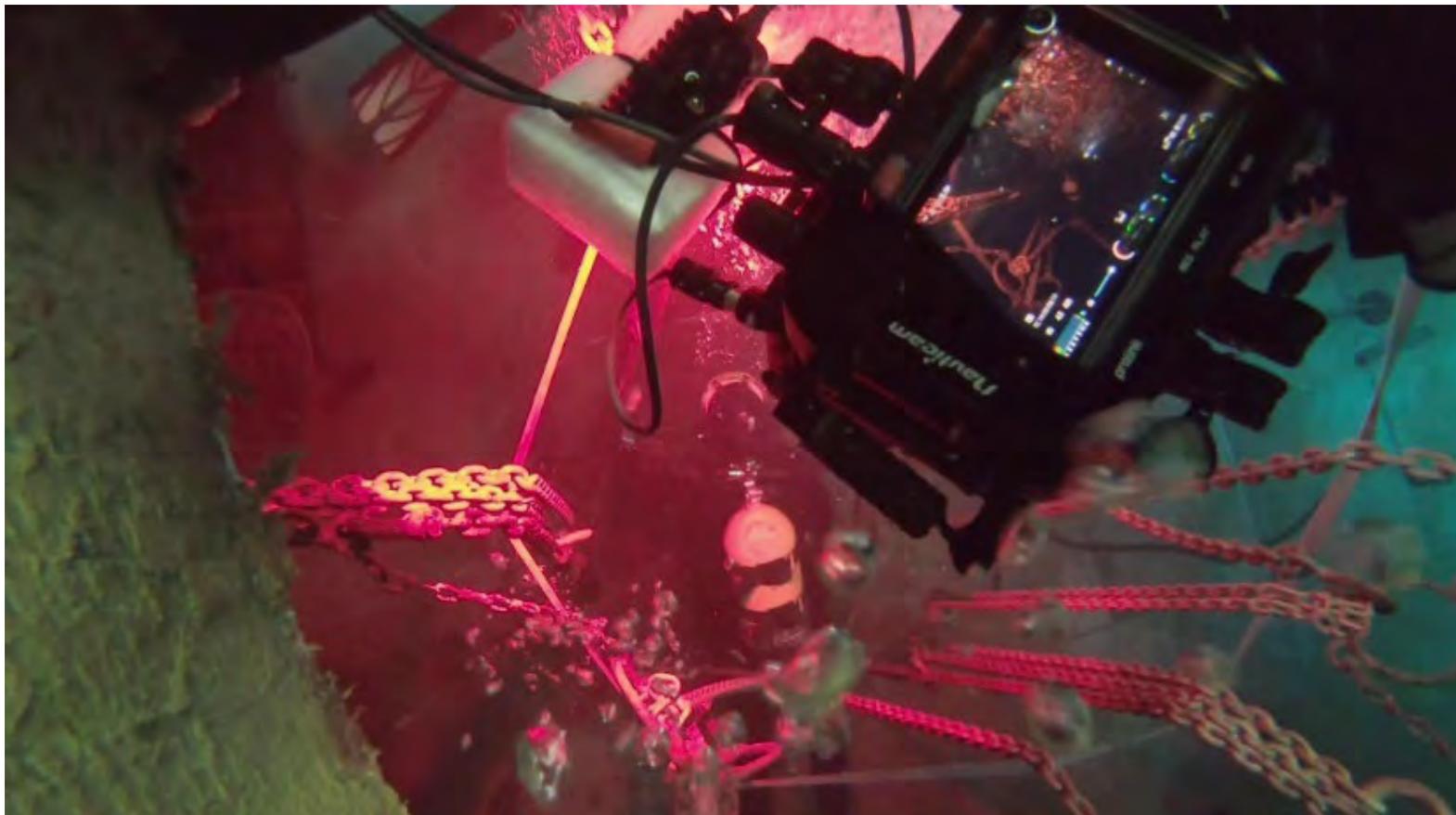


Figure 102 : Photogramme issu du making-of de "The Deep House"

CHAPITRE 3 : LE MIXE DECOR NATUREL ET ARTIFICIEL AVEC OCÉANS



Figure 106 : Le bassin de Townsville vu par les visiteurs

Avant de terminer ce mémoire j'aimerais revenir sur Océan pour parler du tournage en bassin artificiel du film.

En effet comme au début du cinéma, les aquariums et bassins artificiels sont toujours utilisés aujourd'hui pour pouvoir filmer les espèces de très près à la manière de Jean Pain levé.

Sur Océans, l'objectif des séquences en bassin

artificiel était de pouvoir filmer en gros plan des espèces qui sont trop difficiles à approcher en décor naturel, comme la rascasse volante qui est très venimeuse. L'équipe d'océan part dans un bassin artificiel à Townsville où des

scientifiques ont implanté un récif. « Ça fait un bassin de 2,5 millions de litres c'est énorme, et c'est évidemment l'occasion pour filmer des espèces qu'on ne peut pas atteindre en mer. La contrainte qu'on avait était qu'on ne pouvait pas faire de vagues, parce que ça crée des contraintes trop fortes et des problématiques biologiques importantes.⁴⁸ » L'objectif est donc de réussir à faire raccorder ces plans malgré l'absence de vagues avec ceux de Nouvelle-Calédonie. Le récif ayant une forme labyrinthique, il faut trouver un moyen de l'éclairer avec une lumière zénithale depuis la surface. Philippe Ros eu l'idée de fabriquer un cucoloris flottant. Il s'agit d'une surface occultante percée de trous de formes irrégulières qui laissent passer les rayons lumineux mais le plan lumière initiale, constitué de plusieurs sources, ne tient pas.

« On s'est aperçu qu'on ne pourrait pas travailler bien, parce qu'il y avait trop d'endroits avec des places très difficiles à atteindre par rapport à la lumière. » La solution trouvée est donc d'installer un projecteur tungstène 20kW sur un pont roulant avec une tête télécommandée, ce qui permet de pouvoir panoramiquer le projecteur et de le déplacer dans les deux dimensions au-dessus du bassin pour suivre les poissons. « L'idée était d'avoir un spotter, quelqu'un qui regardait sous l'eau et qui faisait des signes pour indiquer où ça partait et donc on avait découpé (l'espace) comme une bataille navale, le spotter nous disait on passe



Figure 103 Le bassin de Townsville

Figure 104 : Le cucoloris flottant

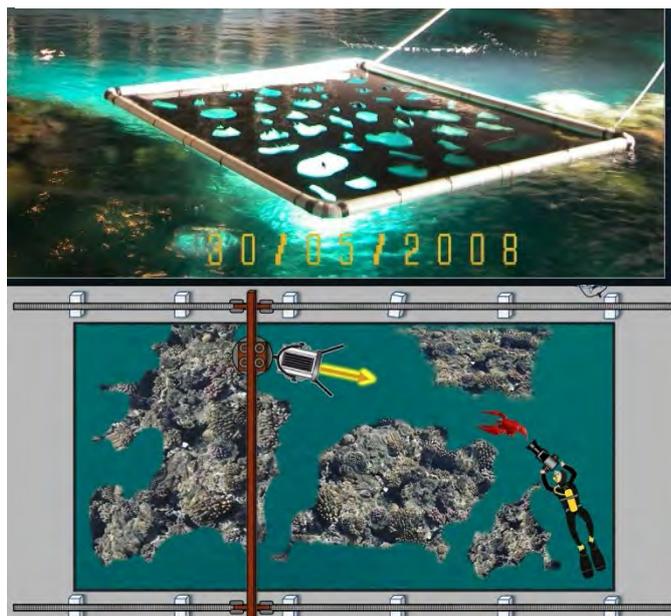


Figure 105 Le projecteur sur le pont roulant

⁴⁸ Entretien réalisé le 23 mai 2024

de A2 en B5, ainsi de suite» Ainsi le projecteur suivait le poisson en contre-jour et le cadreur plongeur pouvait réaliser un « chasing shot » c'est-à-dire suivre le poisson de dos, ou un « pulling shot » le suivre de face en travelling arrière. Le cucoloris flottant se déplaçant avec la source, permettait de produire un effet de clair/obscur similaire à celui de la lune en dessous des vagues.

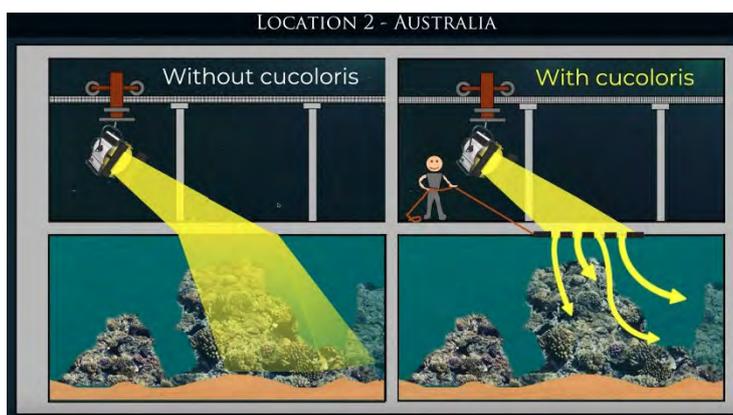


Figure 107 : L'effet du cucoloris sur les récifs est similaire à celui des vagues, permettant la continuité des séquences du film

Toujours en suivant la volonté des réalisateurs de se rapprocher au plus près des espèces, l'équipe bascule dans un bassin encore plus petit pour filmer en gros plan un travelling circulaire autour d'un hippocampe dont la taille faisait à peine 7cm. Ils travaillent alors dans les laboratoires en Australie de Richard Fitzpatrick pour construire un petit bassin de 25cm de profondeur et d'un 1m80 de côté. Un objectif macro tubulaire, une sorte de périscope inversé ou « probe lens » sera disposé dans l'eau. À l'autre extrémité se trouve la caméra et l'ensemble se déplace sur une technocrane de chez Louma. L'équipe s'entraîne à Paris à manier la louma dans un petit bassin gonflable pour être en mesure de déplacer le périscope dans le tout petit labyrinthe. Philippe Ros demande à Olivier Gueneau, un excellent caméraman et très doué à la tête manivelle, d'être celui qui manipulera la technocrane. Cependant le périscope est un objectif extrêmement peu lumineux, le directeur de la photographie fût contraint de travailler à F22 ce qui oblige à utiliser 120Kw de lumière ! « on a dessiné des cucoloris en métal plutôt que du bois parce que sinon on les aurait cramés avec la température parce qu'il faisait extrêmement chaud, pour la continuité de la lumière » Impossible également de mettre le cucoloris directement à la surface à cause de la taille de la caméra. Pour pouvoir respecter la continuité lumière avec les autres décors, l'équipe électro imagine deux rangées de cucoloris que l'on peut faire bouger alternativement devant la lumière pour animer les faisceaux de lumière, dans une zone où la température était entre 75 à 80 degrés. Il fallut apporter d'importants systèmes de ventilations pour que l'eau ne chauffe pas dans le petit bassin juste en dessous !



Figure 108 : Bassin d'entraînement pour la technocrane à Paris



Figure 109 : Les cucularis au-dessus du bassin créé pour accueillir les espèces les plus petites

CONCLUSION DU MÉMOIRE

Les contraintes physiques et physiologiques de la prise de vue sous-marine, comme la réfraction, l'absorption de la lumière et les effets de la pression sur le corps et les équipements, imposent des défis spécifiques qui influencent profondément la mise en scène. Les cinéastes doivent constamment adapter leurs techniques, en utilisant des équipements spécialisés et des méthodes de tournage adaptées, pour capturer la beauté et la complexité de l'environnement aquatique. Des solutions comme la plongée en apnée, les recycleurs, et l'utilisation de dômes et autres solutions optiques comme les objectifs immergeables comme le Nikonos sont un bel exemple d'innovation technologique qui permettent de rendre la prise de vue aquatique presque aussi performante que la prise de vue terrestre.

Depuis les premières images sous-marines jusqu'aux films les plus récents comme avec *Océans* ou *The Deep House*, l'évolution des techniques de prise de vue subaquatique sont marquées par la curiosité et la volonté des réalisateurs à repousser les frontières de la représentation visuelle du monde sous-marin, ce qui pousse les chefs opérateurs à trouver des solutions adaptées pour chaque situation dans les limites du budget du film. Parfois, certains films demandent de trouver des solutions inédites qui permettent aux projets suivant d'aller encore plus loin dans les possibilités de narration.

Les environnements naturels, bien que proposant une grande variété de sujets, impose des limitations en termes de lumière, de cadrage de logistiques et de sécurité, tandis que les décors artificiels offrent une grande liberté créative à condition de pouvoir maîtriser tous les paramètres de tournage et de ne laisser aucune question sans réponse pendant la préparation du film, au risque d'obtenir un résultat peu convaincant pendant le tournage des plans. L'utilisation des aquariums avec ingéniosité comme dans *Océan* permet d'apporter des réponses concrètes à des idées de mises en scène difficiles à obtenir en milieu naturel.

Les pionniers comme Jean Painlevé, Méliès, Jacques-Yves Cousteau et les réalisateurs contemporains tels que Spielberg, Besson, Perrin, Cameron ont chacun apporté leur contribution pour faire de l'eau non pas un environnement où la technique est un élément bloquant, mais au contraire un défi à relever pour trouver de nouvelles façons de penser nos images et faire du cinéma un outil qui nous permette de mieux voir le monde

J'aurais aimé dans ce mémoire aborder également des procédés VFX qui simule la présence de l'eau. À l'heure des plateaux virtuelles, on peut imaginer un arrière-plan numérique placé derrière un aquarium comme au début du cinéma où l'on plaçait des toiles peintes derrière les acteurs avec un aquarium au premier plan. De nouvelles méthodes s'ouvrent pour raconter des histoires sous-marines sans avoir besoin d'immerger la caméra, mais sera-t-on capable de reproduire la fragilité d'une véritable prise de vue immergée, qui malgré ses défauts et ses limitations, nous laisse apercevoir toute la complexité et toute la richesse d'un monde aquatique encore largement indompté et incompris par l'homme ?

Bibliographie

- Alessandrin, P. (Réalisateur). (2008). *L'aventure du Grand Bleu, making-of*[Film].
- BARBÉ, F. (1997, juin 25). *Jacques-Yves COUSTEAU*. Récupéré sur cap2a.fr: <https://cap2a.fr/page24.html>
- Clark, T. (2023, janvier 8). *Take a look behind the scenes of 'Avatar: The Way of Water,' including the giant tank where James Cameron filmed much of the movie*. Récupéré sur www.businessinsider.com: <https://www.businessinsider.com/behind-the-scenes-avatar-2-giant-tank-photos-2023-1>
- Collectif. (2023). *Objectif Mer L'Océan Filmé*. Paris: Lienart.
- Cousteau, J.-Y., & Malle, L. (Réalisateurs). (s.d.). *Le Monde du Silence*[Film].
- Défossez, V. (2022, décembre 14). *Film AVATAR 2 "La voie de l'eau" : les coulisses des performances en apnée avec PFI !*. Récupéré sur www.aquadomia.pro: <https://www.aquadomia.pro/2022/12/film-avatar-2-performances-en-apnee.html>
- Edge, M. (2010). *The Underwater Photographer*. Elsevier Ltd.
- Eskenazi, H. (1990). Mémoire FFESSM sur la lumière naturelle.
- Foquin, D. (s.d.). *Ressources*. Récupéré sur <https://www.sousexposition.com>: <https://www.sousexposition.com/doc>
- Fourny, M. (2015, 06 20). *Il y a 40 ans, "Les Dents de la mer" terrorisait le monde*. Récupéré sur www.lepoint.fr: https://www.lepoint.fr/culture/il-y-a-40-ans-les-dents-de-la-mer-terrorisait-le-monde-20-06-2015-1938447_3.php
- Frigerio, J.-M. (2015). *L'eau à découvert*. Paris: CNRS Éditions .
- Gualbert, J. (2015, mars 20). *Utilisation des mélanges gazeux (Nitrox, Trimix)*. Récupéré sur cours-plongee.com: <https://cours-plongee.com/memo-nitrox-trimix/>
- GUILLOT., D. (2023, 06 24). *La faune aquatique sous l'œil poétique du cinéaste scientifique Jean Painlevé*. Récupéré sur www.ouest-france.fr: <https://www.ouest-france.fr/mer/la-faune-aquatique-sous-lil-poetique-du-cineaste-scientifique-jean-painleve-3bfcefc8-012d-11ee-a1ce-7e6a0e61733b>
- Jentzsch, I. M. (2023, janvier 18). *The Making of The Abyss was a Sh*t Show (Remastered)*. Récupéré sur Youtube.com: <https://www.youtube.com/watch?v=4kly6TGW24I>
- Litchen, J. (1979). *cinematography underwater*. Australian Sports .
- Marine Nationale. (2024, mai 2). *De Benoît Rouquayrol à Emile Gagnan*. Récupéré sur www.defense.gouv.fr: <https://www.defense.gouv.fr/marine/histoire/benoit-rouquayrol-emile-gagnan>
- MGM. (2018). *Focus Of The Week: Thunderball Underwater Battle*. Récupéré sur www.007.com: <https://www.007.com/focus-week-thunderball-underwater-battle/>
- Naughton, S. (2020, novembre 1). *Kate Winslet Beats Tom Cruise's Underwater Record In Avatar 2*. Récupéré sur Screen Rant.
- Ongaro, S. (2007). *La prise de vues sous-marines en documentaire*. Louvain-La-Neuve.
- Thomas, J. F. (2014). Mémoire FFESSM - La problématique du hublot en photo sous-marine.
- Wood, D. (2021, juillet 13). *DP Roger Horrocks on My Octopus Teacher*. Récupéré sur www.cinematography.world: <https://www.cinematography.world/dp-roger-horrocks-on-my-octopus-teacher/>

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	4
Mots Clés	5
INTRODUCTION	7
PARTIE 1. L'HISTOIRE DES TECHNIQUES	9
CHAPITRE 1: LA DÉCOUVERTE DU MONDE SOUS-MARIN AU CINÉMA	10
Les mythes et légendes	10
Les premières véritables prises de vue sous-marine	12
CHAPITRE 2: SCAPHANDRE AUTONOME ET CINÉMA, UNE HISTOIRE COMMUNE	14
Le travail de Jacques-Yves Cousteau	14
Le monde du silence	16
CHAPITRE 3: LES NOUVELLES RECHERCHES ESTHÉTIQUES	18
Le cinéma hollywoodien	18
Le Grand Bleu	19
CHAPITRE 4: LE CINÉMA DE JAMES CAMERON	20
Le tournage de « The Abyss »	20
La performance capture avec Avatar 2	21
PARTIE 2. LES CONTRAINTES PHYSIQUES ET PHYSIOLOGIQUES	24
CHAPITRE 1: LES CONTRAINTES PHYSIOLOGIQUES	25
Introduction à la plongée sous-marine	25
CHAPITRE 2: LA RÉFRACTION	34
Réfraction et réflexions, leurs conséquences sur la prise de vue subaquatique	34
Mesure de la pupille d'entrée en laboratoire	45
CHAPITRE 3: LES ESSAIS OPTIQUES SOUS-MARINS	49
Introduction à la fonction de Transfert de Modulation ou FTM.	49
Essais caméra	52
Fabrication de la mire FTM	53
Installation de la mire au Stade nautique Youri Gagarine	53
Le matériel	55
Le tournage	56
CHAPITRE 4: L'ABSORPTION DE L'EAU ET SON INFLUENCE SUR LE RENDU DES COULEURS	61
CHAPITRE 5: DIFFUSION DE L'EAU ET SES IMPACTS ESTHÉTIQUES	72

PARTIE 3. LE DÉCOR NATUREL	74
CHAPITRE 1: LA PREPARATION D'UN CAISSON SOUS-MARIN	75
Introduction	75
Le choix de la caméra	75
L'équilibrage du caisson	76
CHAPITRE 2: DES DÉCORS QUI OBEISSENT A DES LOIS DIFFERENTES DU MONDE TERRESTRE	80
Le cadrage d'un plan face aux contraintes du décor naturel.	80
La lumière naturelle	84
La lumière artificielle	87
CHAPITRE 3: COMPARATIFS ARGENTIQUE/ NUMERIQUE A L'AIDE DU NIKONOS	90
CHAPITRE 4: L'ÉCLAIRAGE EN SURFACE SUR OCEANS	99
ENTRETIEN AVEC PHILIPPE ROSS	99
PARTIE 4. LE DÉCOR ARTIFICIEL	106
CHAPITRE 1: ANALYSE DE MA PARTIE PRATIQUE DE MEMOIRE.	107
Présentation du projet	107
Les repérages	110
Les essais caméra avec Sous-Exposition	111
Les essais lumière	114
Le journal du tournage	115
Analyse plan par plan	119
Le rangement	124
Le Workflow en post-production	125
Retour d'expérience	126
CHAPITRE 2: LE DÉCORS IMMERGÉ DE « THE DEEP HOUSE »	127
ENTRETIEN AVEC JACQUES BALLARD	127
CHAPITRE 3: LE MIXE DECOR NATUREL ET ARTIFICIEL AVEC OCÉANS	132
CONCLUSION DU MÉMOIRE	135



SOUS
EXPOSITION

IMPACT
ÉVÉNEMENT

Louis Lumière
école nationale supérieure

LA PRISE DE VUE

SOUS-MARINE

AU CINÉMA

PARTIE PRATIQUE DE MÉMOIRE

DOSSIER DE PRÉSENTATION

DIRECTION EXTERNE : JACQUES BALLARD

DIRECTION INTERNE : DAVID GRINBERG

PIERRE BRUNON

OPTION CINÉMA - TROISIÈME ANNÉE

TABLE DES MATIÈRES

PRÉSENTATION DE LA PARTIE PRATIQUE	3
PRÉSENTATION DES ACTEURS SOUTENANT LE PROJET	4
PRÉSENTATION DE L'ÉTUDIANT	5
INTENTIONS ET RELATION AVEC LA PROBLÉMATIQUE DU MÉMOIRE	6
DESCRIPTION DES ESSAIS EN LABORATOIRE	7
REPÉRAGES LIEUX	9
LISTE EMPRUNT MATÉRIEL LOUIS LUMIÈRE	Erreur ! Signet non défini.
PLAN DE TRAVAIL	10
BUDGET	10
ÉQUIPE TECHNIQUE	10

PRÉSENTATION DE LA PARTIE PRATIQUE

Mon mémoire aura pour vocation de présenter les solutions techniques et esthétiques qui sont à disposition des opérateurs sous-marins pour réussir une prise de vue en accord avec les intentions de mise en scène d'un film, que ce soit en fiction ou en documentaire. Après un premier chapitre sur l'histoire de la prise de vue sous l'eau, directement en lien avec l'histoire du cinéma lui-même, je consacrais une partie sur les notions de base liées aux effets de la profondeur sur les opérateurs et leur matériel. Enfin, je travaillerai dans ce mémoire autour des décors naturels et artificiels qui peuvent être utilisés à des fins différentes dans les films en fonction des besoins de la mise en scène.

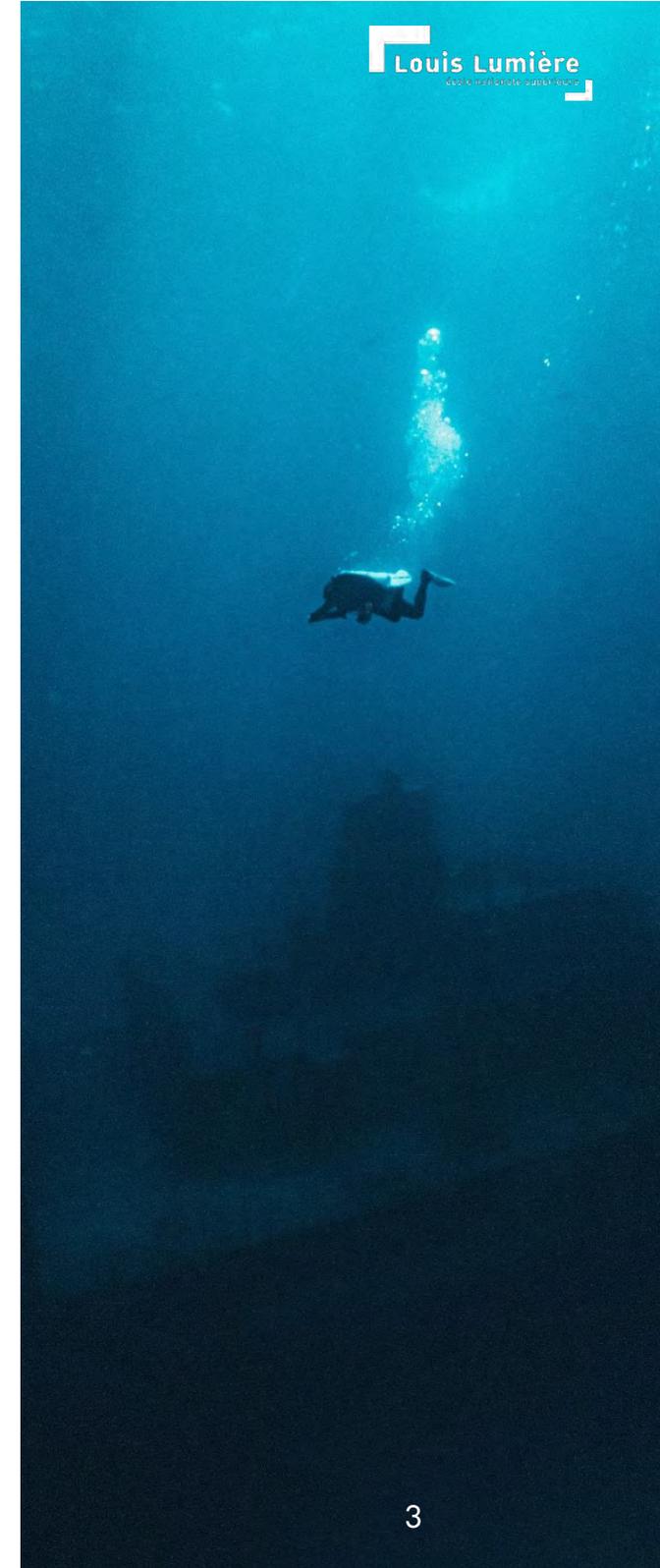
Afin d'illustrer ces différents chapitres, je vais réaliser plusieurs essais qui constitueront **ma partie pratique de mémoire** :

1) Mars / Avril : Essais caméra et lumière en fosse de plongée

En partenariat avec David Foquin et Mathieu Lamand de La Sous-exposition, l'objectif de cette partie sera d'immerger une caméra de cinéma et d'étudier les effets de la lumière sur une comédienne immergée. Ces essais me permettront d'illustrer la partie sur les décors artificiels au cinéma.

2) Avril / Mai : Essais optiques en laboratoire

Ces essais, en collaboration avec Pascal Martin, professeur d'optique à l'ENS Louis Lumière me permettront de mettre en évidence les effets de la réfraction de l'eau sur la partie optique de la caméra et de comparer les solutions qui existent pour corriger les aberrations. Ces essais illustreront le chapitre sur les contraintes physiques du mémoire.



PRÉSENTATION DES ACTEURS SOUTENANT LE PROJET



LA SOUS-EXPOSITION est une société composée de trois chefs opérateurs, David Foquin, Gregori Gajero et Mathieu Lamand spécialisés dans la prise de vue pour le cinéma. Basés en Île de France, ils ont l'habitude de travailler à la fois en milieu naturel (mer, lac, plongée souterraine) et artificiel (studio, piscine). Ce sont eux qui m'ont conseillé de contacter la fosse d'Argenteuil, les deux organismes travaillant déjà ensemble. Plongeurs expérimentés en circuit ouvert et recycleur, tous les trois sont plongeurs professionnels Classe II mention B. Pour les besoins de ma partie pratique de mémoire, ils ont accepté de m'accompagner dans l'exercice et de fournir le caisson SUBSPACE pour pouvoir y placer la Sony Venice de l'école.



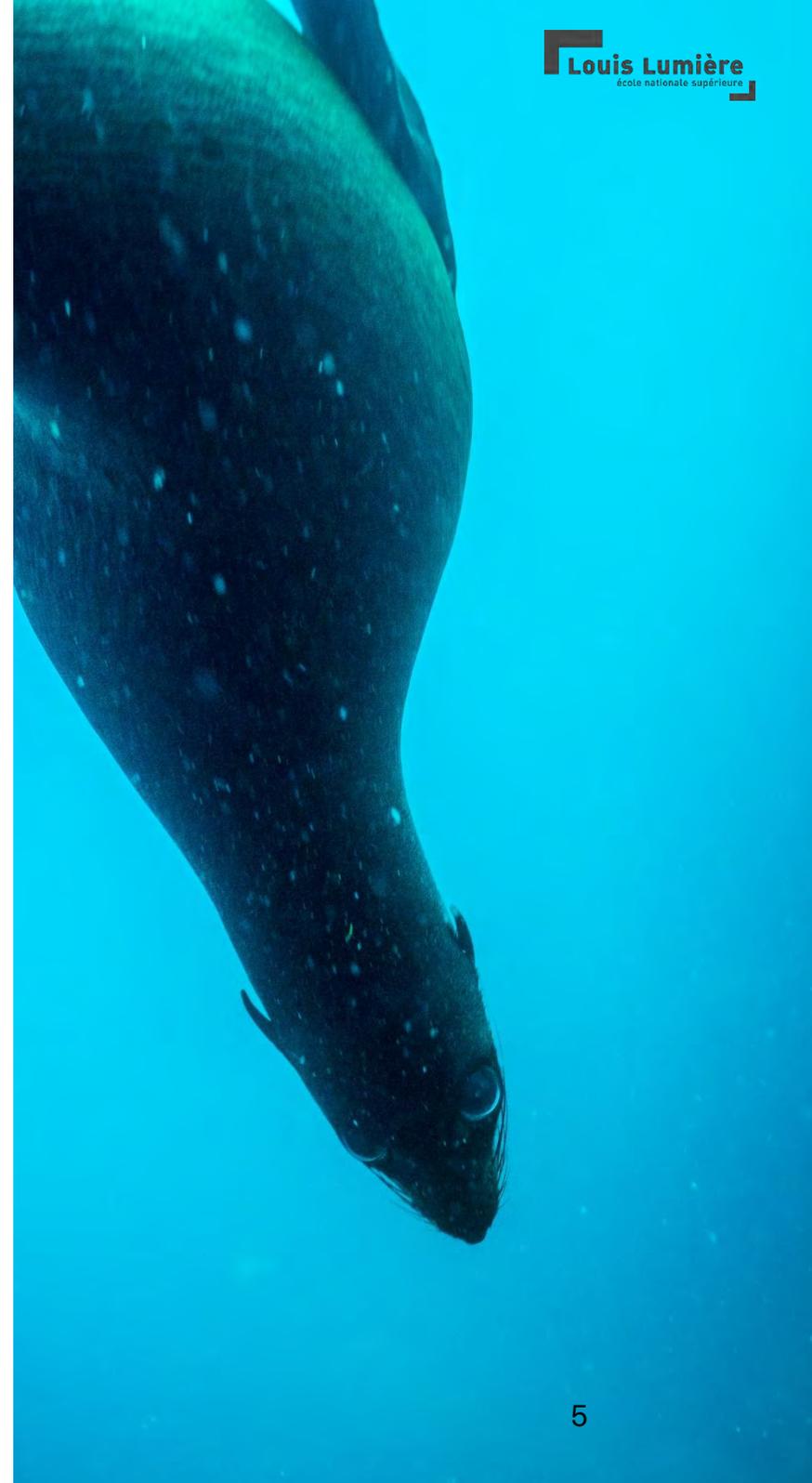
CLAIRE LA SIRENE est la première sirène professionnelle française. Apnéiste et créatrice de spectacles, elle est en représentation toute l'année à l'Aquarium de Paris. Mannequin spécialisée dans les prises de vues subaquatiques, pour des prises de vues et défilés de mode, haute couture, et films de cinéma, clips, courts métrages et publicités. Elle a accepté d'être mon modèle pour ces essais ayant elle-même réalisé son mémoire sur les sirènes au cinéma.

PRÉSENTATION DE L'ÉTUDIANT



Élève de l'ENS Louis Lumière et plongeur depuis 10 ans. Je suis passionné par la prise de vue et les mondes sous-marins. Ce mémoire s'inscrit dans mon projet professionnel en me donnant la possibilité d'apprendre aux côtés des professionnels spécialisés dans ce domaine. Dans le cadre de l'écriture de mon mémoire, j'ai eu la possibilité de voyager à Sydney pour étudier à

l'Australian Film And Television Radio School pendant trois mois et me former auprès des chefs-opérateurs sous-marins tels que Nays Baghai et Pawel Atchel. En parallèle du mémoire, je suis impliqué dans mon club de plongée à l'USMA de Saint-Ouen où je passe actuellement le PA40, le diplôme de Plongeur Autonome à 40 m, en vue d'obtenir le certificat d'hyperbarie qui me permettra de devenir plongeur professionnel par la suite.



INTENTIONS ET RELATION AVEC LA PROBLÉMATIQUE DU MÉMOIRE

Un chapitre du mémoire sera consacré aux **décors artificiels** qui sont généralement utilisés pour le cinéma de fiction, comme les studios sous-marins ou les piscines et fosses de plongée. Ces décors permettent des conditions de tournage plus confortables et un meilleur contrôle de la lumière. Les tournages en studio se font à faible profondeur, ce qui améliore le rendu des couleurs des sources positionnées à la surface, mais qui amène aussi de nouvelles contraintes qu'il faut réussir à maîtriser (notamment parce que la variation de pression est beaucoup plus forte à faible profondeur, les opérateurs doivent parfaitement maîtriser leur flottabilité et utiliser des caméras qui sont équilibrées). Utiliser un studio ou une fosse de plongée implique des limites de cadrages et donc une grande préparation en amont du tournage pour penser le découpage du film.

J'ai choisi d'illustrer cette partie avec un tournage en fosse où l'arrière-plan serait constitué de borniols noirs et opaques. C'est une configuration que l'on retrouve dans beaucoup de séquences qui veulent simuler des eaux noires ou nocturnes. Les cadrages seront donc face à l'actrice et limités par la taille des borniols. Cependant, il sera possible dans une contre-plongée d'intégrer la surface si la pièce où se trouve la fosse est suffisamment obscure, ce qui pourrait donner des effets de lumières particulièrement intéressants. J'aimerais comparer les

raies de lumières que l'on peut obtenir avec une source ponctuelle à gobos (le Diablo) et avec une source étale (le Skypanel) et voir les effets du contre-jour sur la peau de la comédienne, en testant par exemple l'ajout d'un filtre de diffusion sur la lentille frontale de l'optique.



Enfin, ces essais me permettront d'appréhender le temps et les moyens nécessaires pour préparer une configuration caméra pour le cinéma. Cela implique de choisir un corps caméra et des optiques dont le diamètre est adapté (ici une Sony Venice et des optiques Sigma). J'aurais ainsi un retour d'expérience qui pourra servir d'illustration pour le mémoire avec des exemples précis des difficultés que nous avons rencontrés et des solutions que nous avons pu mettre en place.

DESCRIPTION DES ESSAIS EN LABORATOIRE

L'indice de réfraction de l'eau étant plus important que celui de l'air, cela entraîne des déformations dans les bords de l'image qui sont très visibles avec une courte focale si la vitre du caisson est plane. Il faut donc utiliser un dôme qui va se comporter comme une lentille divergente pour corriger la direction des faisceaux lumineux avant qu'ils entrent dans l'optique.

L'objectif de ces essais en laboratoire sera de comparer des optiques de cinéma traditionnelles, que ce soit derrière une vitre plane ou un dôme en verre, avec des optiques dont la formule optique a été spécialement pensée pour la photographie sous-marine comme la série des Nikon UW-Nikkor par exemple et dont la lentille frontale peut être directement en contact avec l'eau.

Ces tests pour être comparés avec ceux déjà réalisés par Pawel Ahtel, directeur de la photographie australien ayant intégré les UW-Nikkor dans son rig 3D DeepX utilisé pour Avatar 2.

Pour réaliser ces tests, je vais utiliser une Sony Venice inclinée à 90° au-dessus d'une mire immergée et comparer les aberrations et les distorsions présentes sur les images RAW obtenues en fonction des optiques testées. Ainsi je prendrais des photographies de la mire avec les configurations optiques suivantes :

- Sigma FF 14mm T2.0 dans un dôme en verre SubSpace
- Sigma FF 14mm T2.0 dans un dôme Seafrog en Plexiglass
- Sigma FF 14mm T2.0 derrière la vitre plane d'un scubabag
- **Nikon UW-Nikkor 15mm au contact de l'eau et fixé sur la Sony Venice à l'aide d'une bague d'adaptation Nauticam**

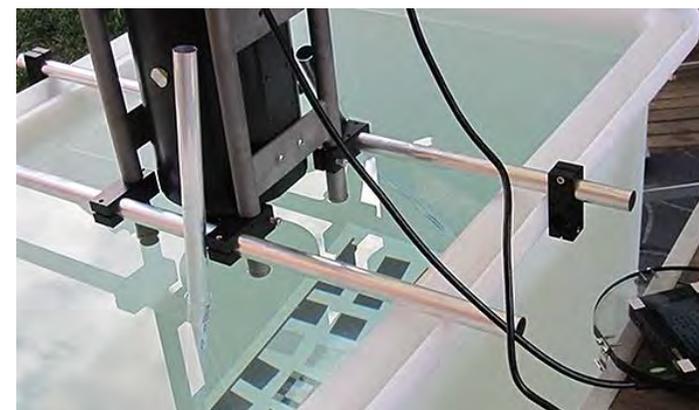


Photo des essais optiques de Pawel Ahtel avec des Arri Zeiss Master Prime

ESSAIS LUMIÈRE ET CAMÉRA EN FOSSE DE PLONGÉE

La lumière sera d'abord testée pendant une journée d'essais filmés dans les studios de l'école afin de choisir les couleurs et les meilleures directions. Ces tests préliminaires pourront être comparés avec ceux obtenus sous l'eau.

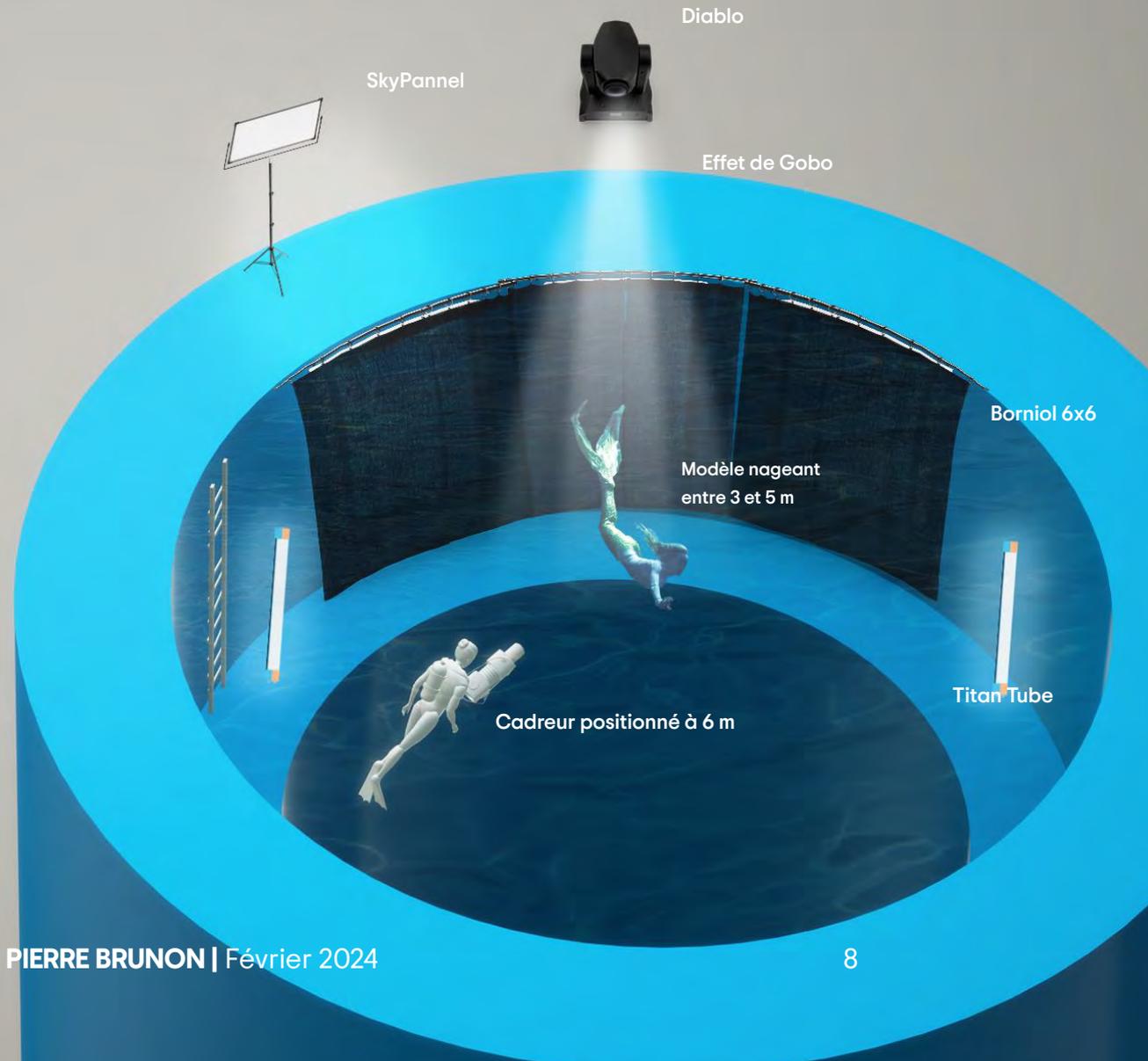
La mise en place des essais prendra la forme suivante :

L'ensemble des fenêtres de la salle seront borniolées afin d'avoir un contrôle de la lumière. La comédienne se placera dans une eau entre 3 et 5 mètres. L'arrière-plan sera constitué de trois borniols noirs.

Nous allons installer un projecteur à tête motorisée du type « Ayrton Diablo » à un mètre du bord de la piscine et un SkyPannel en latéral. Deux projecteurs Astera Titan seront positionnés sur la plateforme à 6 m de profondeur. Cette configuration permettra de tester trois effets lumière :

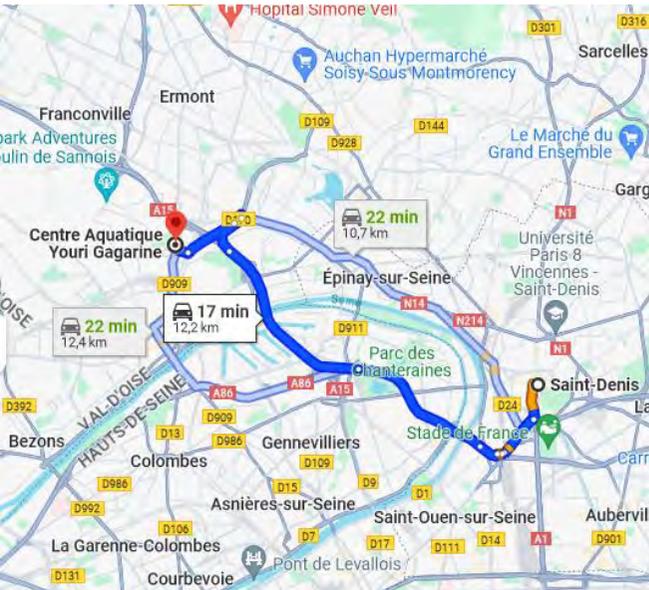
- Un effet de lumière du soleil à la lumière blanche
- Un effet de Gobo avec des lumières colorées.
- Un effet de Gobo + la lumière abyssale des asteras.

Pour ce qui est de la caméra, j'aimerais rajouter Hollywood Black Magic et tester deux focales, une focale large de 14 mm et une focale plus longue, en fonction du temps disponible pour réaliser un changement d'optique dans le caisson.



REPÉRAGES LIEUX

Le lieu qui correspondrait le mieux à nos besoins serait la **fosse d'Argenteuil**. Elle dispose d'un bassin circulaire de 10 m de profondeur. Elle est à proximité de l'école en voiture. Les vitres extérieures sont accessibles et faciles à occulter. Autour du bassin l'espace est suffisamment large pour poser deux trépieds pour la lumière.



PLAN DE TRAVAIL

Fin février : Repérages à la fosse d'Argenteuil

Début mars : journée d'essais dans les studios de Louis Lumière + essais caméra éventuels à la Sous-Exposition

Mars : Tournage à la fosse d'Argenteuil une demi-journée

Début avril : Post-production des images

Fin avril : Préparation des essais en laboratoire

Mi-mai : Photographies des essais en laboratoire pendant une journée

Mi-juin : Dépôt du mémoire

BUDGET

Le budget qui m'a été accordé par l'école est de 600€ pour l'ensemble du mémoire et devra comprendre l'intégralité des dépenses (hors déplacement camion), dont un tiers sera consacré à la location de la fosse, un tiers pour le matériel lumière et un tiers pour le matériel caméra et caisson.

ÉQUIPE TECHNIQUE

L'équipe technique sera composée au total de **5 personnes** sur le lieu de tournage.