

A.I&S

Les Ateliers
de l'Image & du Son

École supérieure de l'Audiovisuel et du Son

L'innovation des techniques d'imageries sous-marine dans la production cinématographique



Mémoire de fin d'étude Bachelor Réalisation Cinéma et Audiovisuel

Réalisé par : Mr. Rémi METIN

Encadré par : Bruno Novat

Année Universitaire 2024 - 2025

REMERCIEMENTS

Merci à Jean-Charles Granjon (Bluearth Production), Thibault Rauby de Kraken plongée, Manuel Ano de la société Prod Aqua, Guillaume Mazille fondateur de Maz Prod, Aurélien Le Calvez (Sub Focal) pour avoir répondu à mes questions. Merci à l'école Les Ateliers de l'Image et du Son qui m'a poussé à réaliser un mémoire dans les domaines que j'affectionne. Merci à Monsieur Bruno NOVAT pour avoir assuré le suivi pédagogique de mon stage.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	1
TABLE DES MATIÈRES	2
INTRODUCTION	3
SOURCES	5
BIBLIOGRAPHIE.....	5
Ouvrages.....	5
Magazines ou revue.....	5
Journaux.....	5
SITOGRAFIE.....	5
Articles.....	5
Pages web.....	9
Dossiers de presses.....	10
Rapport scientifique.....	10
FILMOGRAPHIE.....	10
CHAPITRE I : Les enjeux technico-humains de la prise de vue sous-marine	12
A. Le matériel de production audiovisuel aquatique.....	12
B. Les contraintes et solutions de la prise de vue sous-marine.....	15
C. La sécurité dans le domaine de la prise de vue sous-marine.....	17
CHAPITRE II : Le développement des innovations d'imagerie sous-marine dans le cinéma	22
A. Chronologie des innovations techniques majeures dans l'imagerie sous-marine.....	22
B. Le monde sous-marin dans la fiction et le documentaire, en quête d'innovation technique.....	26
C. James Cameron : ambassadeur de l'innovation sous-marine au cinéma....	30
CHAPITRE III : Analyse de la stimulation des productions audiovisuelles dans l'innovation technique de l'imagerie sous-marine	34
A. Le cinéma, moteur de la stimulation de l'innovation dans l'imagerie sous-marine.....	34
B. Influences externes dans l'innovation de l'imagerie sous-marine.....	37
C. Les limites environnemental de l'innovation dans le cinéma sous-marin....	41
CONCLUSION	44
ANNEXES	46
Annexe 1 : Entretiens qualitatif réalisé en 2023.....	46
Annexe 2 : Complément de recherche non utilisé.....	55

INTRODUCTION

La réalisation d'images sous-marines est une pratique de plus en plus courante dans l'univers cinématographique. Les avancées technologiques ont rendu la production de contenus sous-marins plus facile, plus abordable et plus accessible à un plus grand nombre de personnes. Cela a permis aux producteurs de médias audiovisuels d'accéder à des environnements sous-marins spectaculaires et de capturer des images aquatiques de plus en plus contrôlées. De plus, il semble y avoir une demande croissante pour ces contenus en raison de leur capacité à présenter de nouveaux univers et à documenter la vie marine. Cependant, ces environnements présentent des défis uniques en termes de prise de vue. La pratique soulève de véritables enjeux dans les innovations techniques audiovisuelles. C'est pourquoi nous nous poserons la question suivante :

Dans quelle mesure la production cinématographique stimule l'innovation des techniques d'imagerie sous-marine ?

Nous verrons dans un premier temps **Les enjeux technico-humains de la prise de vue sous-marine** (chapitre I), nous présenterons également **Le développement des innovations d'imagerie sous-marine dans le cinéma** (chapitre II), avant de finalement **analyser la stimulation des productions cinématographique dans l'innovation technique de l'imagerie sous-marine** (chapitre III)

La production cinématographique a un impact sur l'innovation technologique. Les productions stimulent des entreprises ou des artisans pour développer des équipements plus performants afin de répondre aux demandes des réalisateurs. Les exigences des cinéastes pour des images sous-marines de haute qualité peuvent inciter les fabricants à améliorer la qualité et les performances des caissons étanches, ainsi que d'autres équipements utilisés en environnement aquatique.

SOURCES

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages

- Albert R. Weeks, *Imaging and Vision Handbook*, 2016
- Dimitri rebikoff, *History of Underwater Photography*, 1968
- Harcourt Brace Jovanovich, *Petroleum Engineer International*, 1974
- Louis Boutan, *La Photographie sous-marine et les progrès de la photographie*, Paris, Schleicher, 1900
- Martin Edge, *The Underwater Photographer*, Troisième édition, 2006

Magazines ou revue

- A.L. "Scrap" Lundy, Peter dick, Keith gordon, Bob Campbell, *The Divers of John Steinbeck's Cannery Row, The MSA Regulator*, The Journal of Diving History, Hiver 2008, Volume 16, édition 4, numéro 57
- Marc TOULLEC, *Batman - Indiana Jones : une surdose de héros ? (n°61)*, Mad Movies, septembre 1989

Journaux

- Steve Murray, *Cameron saves his sinking ship*, Atlanta Constitution, 19 décembre 1997

SITOGRAPHIE

Articles

- Mike Bartick, *Backlighting*, Wetpixel, 2018
<https://wetpixel.com/articles/backlighting-article-by-mike-bartick>
-
- Ludovic Béot, *D'Abyss à La Vie aquatique : 10 films qui ont pris l'eau*, Les inrockuptibles, 2020,
<https://www.lesinrocks.com/cinema/dabyss-a-la-vie-aquatique-10-films-qui-ont-pris-leau-301458-10-01-2020/>
- *Sous l'eau, quelle pression notre corps peut-il supporter ?*, Ça m'intéresse, 2024
<https://www.caminteresse.fr/environnement/quelle-pression-notre-corps-peut-il-supporter-1176609/>

- *Eco-production : comment le cinéma s'adapte aux enjeux climatiques*, BpiFrance, 2022
<https://bigmedia.bpifrance.fr/decryptages/eco-production-comment-le-cinema-sadapte-aux-enjeux-climatiques>
- Scott Louis Simonson, Tameson, *Matériaux pour l'eau salée dans les applications industrielles*, 2023
<https://tameson.fr/pages/materiaux-resistants-a-l-eau-salee#:~:text=La%20corrosion%20en%20milieu%20marin,les%20environnements%20d'eau%20sal%C3%A9e>
- *Des Assises de l'éco-production pour limiter l'impact environnemental du cinéma et de l'audiovisuel*, CNC, 2022
https://www.cnc.fr/professionnels/actualites/des-assises-de-lecoproduction-pour-limiter-limpact-environnemental-du-cinema-et-de-laudiovisuel_1848648
- *Perte de couleurs en plongée*, 01NET, 2005
<https://www.01net.com/astuces/perde-de-couleurs-en-plongee-284691.html>
- SB, 700 requins dans la nuit : Une fierté pour toute la Polynésie, Tahiti Infos, 2018
https://www.tahiti-infos.com/Documentaire-700-requins-dans-la-nuit-Une-fierté-pour-toute-la-Polynesie_a172328.html
- Pascal Graziani, *Workshop #24 – prise de vue sous-marine*, aoassocies, 2020
<https://www.aoassocies.com/workshop-24-prise-de-vue-sous-marine/>
- Samuel Douhaire, *Titanic en docu toc*, Libération, 2003
https://www.liberation.fr/cinema/2003/09/10/titanic-en-docu-toc_444492/
- *Roberto Rinaldi and the art of filming underwater*, Suex Stories, 2022
<https://www.suex.it/en/suex-stories-roberto-rinaldi-and-filming-under-water/>
- Marcus Dupont-Besnard, *Les coulisses d'Avatar 2 sont-elles aussi écolos que le film ?*, Numerama, 2022
<https://www.numerama.com/pop-culture/1213810-les-coulisses-davatar-2-sont-elles-aussi-ecolos-que-le-film.html>
- *Le budget du CNC en légère hausse en 2023*, Box office Pro, 2022
<https://www.boxofficepro.fr/le-budget-du-cnc-en-legere-hausse-en-2023/>
- *Le Plan Action ! : Politique de transition écologique et énergétique des secteurs du cinéma, de l'audiovisuel et des industries techniques*, CNC, 2022

https://www.cnc.fr/a-propos-du-cnc/le--plan-action---politique-de-transition-ecologique-et-energetique-des-secteurs-du-cinema-de-laudiovisuel-et-des-industries-techniques_1850685

- *Inside the Scene-Stealing 3-D Technology Behind James Cameron's Avatar*, Popular Science, 2009
<https://www.popsci.com/technology/article/2009-12/feature-3-d-revolution/>
- R.B., *Cousteau : Le vrai du faux*, Le Parisien, 2016
<https://www.leparisien.fr/culture-loisirs/vrai-faux-12-10-2016-6195969.php>
- Géraldine Mayr, *Génération Grand Bleu*, France bleu, 2018
<https://www.francebleu.fr/emissions/c-est-que-de-la-tele/generation-grand-bleu>
- Laurent BANGUET, *Cousteau, le documentaire qui raconte comment le commandant au bonnet rouge est devenu écolo*, Ouest France, 2021
<https://www.ouest-france.fr/leditiondusoir/2021-10-20/cousteau-le-documentaire-qui-raconte-comment-le-commandant-au-bonnet-rouge-est-devenu-ecolo-920f14de-03cf-4bc3-b2c5-bba7ef2a7379>
- *James Cameron atteint le fond de la fosse des Mariannes*, Le Monde, 2012
https://www.lemonde.fr/planete/article/2012/03/26/james-cameron-atteint-le-fond-de-la-fosse-des-mariannes_1675416_3244.html
- *Shooting Underwater With the ALEXA 35*, Ymcinema, 2023
<https://ymcinema.com/2023/07/21/shooting-underwater-with-the-alexa-35/>
- *Nikon dans les abysses : la saga du Nikonos*, Lemag Nikon club, 2017
<https://lemag.nikonclub.fr/nikon-abysses-saga-nikonos/>
- *Why James Cameron Originally Disowned His Very First Movie*, Screenrant, 2020
<https://screenrant.com/james-cameron-first-movie-piranha-2-disown-hate-reason/>
- *Avatar 2 : Comment on tourne sous l'eau en performance capture ?*, Premiere, 2017
<https://www.premiere.fr/cinema/avatar-2-comment-on-tourne-sous-l-eau-en-performance-capture>
- *Océans un film en hommage à la nature*, Futura, 2010
<https://www.futura-sciences.com/planete/photos/oceanographie-oceans-film-hommage-nature-631/>
- *Lunch on the Deck of the Titanic*, 1998, WIRED
<https://www.wired.com/1998/02/cameron-3/>

- Sarah Belouezzane, *La GoPro, du prototype au phénomène planétaire*, Le Monde, 2013
https://www.lemonde.fr/economie/article/2013/03/14/la-gopro-du-prototype-au-phenomene-planetaire_1847819_3234.html
- Victor Adam, *William Thompson – 100 years of underwater photography?*, British Society of Underwater Photographers, 2021
<https://bsoup.org.uk/william-thompson-100-years-of-underwater-photography/>
- *Tarzan B.B. (France)*, Barcelona camera underwater museum, 2020
<https://bcnuwcameramuseum.com/tarzan-b-b-france/>
- *The Story of Ikelite | Making Underwater Photography Accessible*, Ikelite, 2022
<https://www.ikelite.com/blogs/features/the-story-of-ikelite-making-underwater-photography-accessible?srsId=AfmBOoqonBMQ5Cy9TJPTckQtloCNOIRfV6XAHLywubk1zURwiN615uH1>
- Howard Hall, *A Brief History of IMAX Underwater*, DAN, 2024
<https://dan.org/alert-diver/article/a-brief-history-of-imax-underwater/#:~:text=Operating%20the%20huge%20cameras%20made,million%20at%20the%20box%20office>
- *La GoPro, « parfaite pour le cinéaste amateur »*, Le Monde, 2014
https://www.lemonde.fr/economie/article/2014/06/26/la-gopro-parfaite-pour-le-cineaste-amateur_4445971_3234.html
- Mia Tramz, *Behind the Making of Deep Dive: TIME's First 360 Degree Panoramic Underwater Video*, TIME, 2014
<https://time.com/3810492/behind-the-making-of-deep-dive/>
- Jaron Schneider, *Gorgeous Underwater Whale Footage Shot With Custom 18.7K Cine Camera*, Petapixel, 2024
<https://petapixel.com/2024/08/26/gorgeous-underwater-whale-footage-shot-with-custom-18-7k-cine-camera/>
- Yossy Mendelovich, *The Advantages of Underwater Drone*, Ymcinema, 2024
<https://ymcinema.com/2024/03/26/the-advantages-of-underwater-drone/>
- Jaron Schneider, *The Boxfish Luna is a Pro-Level Underwater 8K Cinema Drone*, Petapixel, 2023

<https://petapixel.com/2023/03/24/the-boxfish-luna-is-a-pro-level-underwater-8k-cinema-drone/>

- Yossy Mendelovich, *The Underwater Cinematography Behind Avatar 2: 3D Beam Splitter and Nikonos Lenses*, Ymcinema, 2024

<https://ymcinema.com/2022/10/24/the-underwater-cinematography-behind-avatar-2-3d-beam-splitter-and-nikonos-lenses/>

- Yossy Mendelovich, *Avatar 2: New Images Show New Dimensions of Underwater Cinematography*, Ymcinema, 2017

<https://ymcinema.com/2021/12/17/avatar-2-new-images-show-new-dimensions-of-underwater-cinematography/>

- GABRIEL NAHAS, *L'hélium : clef de la respiration sous-marine à grande profondeur*, Le Monde, 1965

https://www.lemonde.fr/archives/article/1965/04/29/l-helium-clef-de-la-respiration-sous-marine-a-grande-profondeur_2183456_1819218.html

- *Décryptage : comment accompagner les tournages aquatiques ?*, CNC, 2024

https://www.cnc.fr/cinema/actualites/decryptage-comment-accompagner-les-tournages-aquatiques_2118893

- *La Cité Du Cinéma : Un « Hollywood à la française »*, Box Office Pro, 2012

<https://www.boxofficepro.fr/la-cite-du-cinema/>

Pages web

- Pascal Courtin, Subspace Pictures, *Industries*, 2020,

<https://www.subspace.ch/industry>

- École national des scaphandriers, *Découvrez nos formations*, 2018

<https://www.ens-france.com/decouvrez-nos-formations>

- Hydroflex, *rental equipment*, 2024

<https://www.hydroflex.com/rental-equipment>

- Jean-Charles Granjon, *Location matériel*, Bluearth-prod, 2023

<https://www.bluearth-prod.com/location-materiel/>

- *The ewa-marine company history*, Ewa Marine, 2014

<https://ewa-marine.com/about-us/>

- *Biography: Pete Romano*, Hydroflex, 2012

<https://www.hydroflex.com/biography-pete-romano>

- *Underwater Stage*, Pinewood, 2018

<https://pinewoodgroup.com/studios/pinewood-studios/stages-facilities/water/under-water-stage>

- *The Underwater Stage*, Mayflower Studios, 2018

<https://mayflowerfilmstudios.com/the-underwater-studio/>

- Nos bassins et aquariums, Splashprod, 2022

<https://www.splashprod.fr/bassins>

- Pawel Achtel, *9x7 Digital Cinema Camera*, 2020

<https://achtel.com/9x7/>

- *About Us*, Nauticam, 2019

<https://www.nauticam.com/pages/about-us>

- *Water Stage*, Lites Studio, 2020

<https://www.litesstudios.com/copy-of-water-stage-1-450m-15-600ft>

- *Studios*, Provence Studio, 2021

<https://www.provence-studios.com/studios>

Dossiers de presses

- Exposition : *Sensory odyssey*, Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, 2022

https://www.mnhn.fr/system/files/2022-09/MNHN_ODYSSEE_FR_bd.pdf

- Stéphanie Durand, conseiller scientifique, "*dossier de presse*", Galatée films

<https://galateefilms.com/wp-content/uploads/2010/01/oceans-dossier-de-presse-V-F-1.pdf>

Rapport scientifique

- *Rapport planète vivante océans*, WWF France, 2015

https://www.wwf.fr/sites/default/files/doc-2017-08/15_rapport_planete_vivante_oceans.pdf

FILMOGRAPHIE

- John Ernest Williamson, *The Submarine Eye*, 1917

- Dr. Hans Hass, *Pirsch unter Wasser*, 1942

- Jacques-Yves Cousteau, *Par dix-huit mètres de fond*, 1943

- Jacques-Yves Cousteau, *Épaves*, 1946

- Jacques-Yves Cousteau, *The Undersea World of Jacques Cousteau*, 1968

- Joseph Sargent, *Jaws: The Revenge*, 1987

- Luc Besson, *Le grand bleu*, 1988

- James Cameron, *Titanic*, 1998
- James Cameron, *The Abyss*, 1989
- Howard Hall, *Into the Deep*, 1994
- James Cameron, *Les Fantômes du Titanic*, 2003
- James Cameron, *Aliens Of The Deep*, 2005
- Howard Hall, *Deep Sea 3D*, 2006
- James Cameron, *Avatar*, 2009
- Jacque Perrin, *Océan*, 2009
- Gil Gébaïli, *Le Coelacanthe : plongée vers nos origines*, 2013
- Howard Hall, *Under the Sea 3D*, 2013
- Jérôme Espla, *Génération Grand Bleu*, 2017
- Luc Marescot, *700 requins dans la nuit*, 2018
- Jean-Charles Granjon, *Te vaanui, l'odyssée d'Ismaël*, 2018
- Gil Gébaïli, *Planète méditerranée*, 2020
- Nick Robinson, *Comme un poisson dans son récif*, 2021
- James Cameron, *Avatar the way of water*, 2022
- Roberto Rinaldi, Gil Kebaili, Luc Marescot, *Méditerranée : la face immergée des volcans*, 2023

CHAPITRE I : Les enjeux technico-humains de la prise de vue sous-marine

Dans cette première partie nous verrons quels sont les outils de la réalisation de prises de vue sous-marines. Puis nous verrons les difficultés apportées par ce milieu et les solutions appliquées par les opérateurs. Enfin nous présenterons les risques de la prise de vue sous-marines

A. Le matériel de production audiovisuel aquatique

Le matériel de prise de vues sous-marine comprend à la fois le matériel de plongée et le matériel audiovisuel. Le matériel de plongée est la première étape cruciale pour les plongeurs sous-marins et les cinéastes qui souhaitent capturer des images sous-marines de qualité. Il se compose notamment des éléments suivants :

- Combinaison de plongée : Une combinaison étanche, semi-étanche ou humide est utilisée pour protéger le plongeur du froid en assurant une isolation thermique adaptée.
- Bouteilles de plongée et détendeurs : Les bouteilles de plongée contiennent l'air comprimé nécessaire pour la respiration sous l'eau. Les détendeurs permettent de réguler la pression de l'air et de le rendre respirable. On différencie les recycleurs et les systèmes classiques. Le recycleur permet de recycler l'air que l'on consomme et donc de plonger plus longtemps sans faire de bulle. Cela permet notamment d'éviter de perturber les espèces sous-marines.
- Masque, palmes et tuba : Le masque permet au plongeur de voir clairement sous l'eau. Les palmes fournissent une propulsion efficace, tandis que le tuba permet de respirer en surface sans devoir sortir complètement de l'eau.
- Gilet de stabilisation et plombs : Le gilet de stabilisation, également appelé BCD, aide à maintenir la flottabilité du plongeur, tandis que les plombs compensent la flottabilité positive de l'équipement et du plongeur, permettant de descendre en toute sécurité.
- Scooters sous-marins : Les scooters sous-marins sont des propulseurs utilisés pour naviguer sous l'eau avec un scaphandre autonome afin de se

déplacer plus rapidement. Ils sont généralement conçus sur batterie en forme de torpille avec une ou deux hélices.

Le matériel audiovisuel sous-marin est spécialement conçu pour capturer des images et des vidéos de haute qualité dans un environnement aquatique. Il comprend les éléments suivants :

- Caissons pour caméra : Les caissons sous-marins sont conçues pour résister à la pression et à l'eau salée. Ils sont étanches et protègent l'électronique de l'eau. Leur fabrication est généralement en aluminium marin usiné, anodisé dur mais peut être également en matière plastique. A l'avant du caisson on retrouve un dôme généralement en verre ou en acrylique. En Europe, la majorité des cinéastes sous-marins travaillent avec Subspace Pictures, basé en Suisse. Il existe beaucoup d'autres d'autres marques étrangères telles que Hydroflex, Gates, Nauticam, Aquatica, SeaFrogs ou Ikelite. En général les caissons sont adaptés à une caméra spécifique, mais aujourd'hui il existe des caissons multi-caméra chez deux marques : Subspace Pictures en Europe et Hydroflex aux États-Unis. Les entreprises spécialisées ont également développé un caisson particulier appelé Splash Bag destiné à la prise de vue en mi-air mi-eau. Les caissons sont généralement livrés avec différents accessoires. Une base plate¹, des manches pour le tenir, une top plate² et un caisson pour moniteur externe avec un système de presse-étoupe³ pour les câbles. Il intègre également des systèmes électroniques permettant d'alerter sur l'entrée d'eau dans le caisson. Enfin, il existe des systèmes mécaniques et électromécaniques pour contrôler la caméra depuis des boutons externes visser sur le caisson.

- Éclairage sous-marin : En raison de l'atténuation de la lumière à mesure que l'on s'enfonce dans l'eau, un éclairage supplémentaire est nécessaire pour obtenir des images colorées et bien éclairées. Les plongeurs utilisent des lampes sous-marines ou des flashes spéciaux pour apporter la lumière nécessaire lors de la prise de vues. Aujourd'hui les industries de caisson proposent également des lampes et des flashes étanches mais surtout liés à de la photographie. Les éclairages sous-marins dans la production audiovisuelle restent artisanaux.

¹ Plaque à visser en bas de la caméra permettant d'ajouter des accessoires comme le trépied.

² Plaque à visser en haut de la caméra.

³ Système de vissage étanche.

Subspace pictures propose des caissons sur-mesure pour y intégrer l'éclairage de son choix. La société Hydroflex a fabriqué ses propres lampes étanches liées au cinéma avec les technologies de lumière HMI, tungstène, néon et LED.

- Supports : Pour obtenir des images stables, les cinéastes sous-marins utilisent des supports et des stabilisateurs tels que des bras flexibles, des trépieds ou des systèmes de travelling. Cela permet de réduire les tremblements de l'appareil photo causés par les mouvements du courant. Il existe des têtes de trépied ou des têtes de grue mariniser comme l'*hydrohead*, cependant tout comme l'éclairage cela reste souvent artisanal. On va fabriquer son propre trépied ou prendre un trépied terrestre. Certains cinéastes marinisent leurs équipements. Enfin on utilise souvent un gilet stabilisateur de la marque OMS pour maintenir le caisson en surface.

- Communication : Il existe des systèmes de communication pour que le réalisateur puisse donner des directives à l'opérateur sous-marin⁴ et inversement. On retrouve un poste de communication terrestre avec une sonde sous-marine connectée à un masque facial sous-marin. Ce masque se branche à la place du deuxième étage⁵ pour respirer et parler en même temps. Il existe également des haut-parleurs sous-marin pour communiquer ou envoyer de la musique si le projet audiovisuelle est un clip.

- Accessoires : On retrouve le *seal check*⁶. Comme son nom l'indique, il vérifie que le caisson est bien scellé en ajoutant de l'air à l'intérieur. Si après quelques minutes cet air ne s'est pas échappé cela prouve son étanchéité. Dans les consommables on utilise souvent de la graisse pour les joints et les essentiels d'un kit optique mais pour le dôme (papier optique, produit optique, poire ou soufflette).

Finalement, on distingue deux types de tournage. La production en milieu naturel adaptée aux documentaires animaliers. Puis la production en studio aquatique qui demande des moyens considérables mais qui évite toute les contraintes climatiques et environnementales.

⁴ Opérateur sous-marin : Caméraman, photographe spécialisé dans la prise de vue sous-marine.

⁵ Partie du détendeur se mettant dans la bouche comme un tuba

⁶ Pompe à air.

B. Les contraintes et solutions de la prise de vue sous-marine

L'évolution de l'imagerie sous-marine a permis de capter des images fascinantes de la vie marine, mais elle a aussi révélé les contraintes particulières qui y sont associées. La pression, la lumière, les volumes, etc. Toutes ces propriétés sont altérées et contraignent les photographes et les vidéastes dans la capture d'images.

L'eau transforme la diffusion de la lumière, en raison de la présence de nombreuses particules en suspension qui la composent. Ces particules forment un effet de brouillard qui atténue les contrastes et masque les objets lointains. De ce fait, il est souvent ardu de prendre en photo des sujets qui se situent à plus de quelques mètres de distance. Plus vous vous situerez en profondeur, moins vous aurez accès à la lumière naturelle du soleil. Les projecteurs sous-marins et les flashes électroniques utilisés comme sources de lumière artificielle sont également affectés par ce phénomène et leur portée reste limitée à quelques mètres seulement. Compte tenu de la turbidité de l'eau, ces sources de lumière doivent toujours être décalées significativement par rapport à l'axe optique, car sinon les particules éclairées directement génèrent un halo qui occulte tout objet situé derrière. La couleur est également très changeante dans les environnements aquatiques. Il est communément admis que la couleur rouge cesse d'être perceptible à partir de 3 mètres de profondeur, l'orange à 5 mètres, le jaune à 10 mètres et le vert à 25 mètres. La couleur bleue, quant à elle, est la seule qui reste visible à de grandes profondeurs mais qui finit par devenir complètement sombre à 60 mètres.

La perte des couleurs constitue une contrainte majeure, mais diverses solutions permettent d'y remédier. Tout d'abord, il est possible d'ajuster les paramètres internes de la caméra. En optant pour un profil colorimétrique log, une quantification en 10 bits ou un format Raw, on obtient une plus grande marge de manœuvre pour la correction en post-production. La préparation de la balance des blancs joue également un rôle clé pour préserver les teintes chaudes. De plus, des filtres spécifiques, souvent de couleur rouge, peuvent être placés devant le capteur ou l'objectif pour compenser cette perte de nuances.

Dans la production sous-marine, les contraintes de pression sont une considération essentielle en raison de l'environnement extrême dans lequel les équipements opèrent. La pression de l'eau augmente d'environ une atmosphère (1 bar) pour chaque 10 mètres de profondeur, ce qui signifie que les équipements de production sous-marins peuvent être soumis à des pressions énormes à des profondeurs importantes. Les contraintes de pression peuvent affecter la conception, la fabrication, l'installation, l'exploitation et la maintenance des équipements de production audiovisuelle sous-marins. Les joints d'étanchéité, les câbles, les raccords et autres composants doivent tous être conçus pour résister à ces pressions.

La stabilité de l'image est un autre défi majeur lors de la réalisation de productions audiovisuelles sous-marines. L'eau en mouvement peut causer des turbulences et des vibrations qui affectent la qualité de l'image. Il est préférable d'avoir une caméra ni trop lourde ni trop légère, on parle alors de flottabilité nulle⁷. Les problèmes de stabilité sont souvent gérés de manière artisanale. Dans le domaine du cinéma, les fabricants de caissons sous-marins conçoivent fréquemment des modèles lourds, ce qui offre une maniabilité accrue, d'autant que l'eau réduit la sensation de poids. Pour garantir une stabilité parfaitement neutre, les opérateurs ajoutent des plombs à différents endroits du caisson en fonction des besoins.

On retrouve également des problèmes visuels. Des gouttes d'eau peuvent subsister sur le dôme. L'application de produits déperlants sur les dômes en verre empêche les gouttes de s'y accrocher lorsqu'elles émergent à la surface. Cependant il est déconseillé d'utiliser ce genre de produit sur les dômes en acrylique car cela peut le détériorer.

De plus, l'eau crée un effet loupe. On le remarque quand la prise de vue est mi-air mi-eau. Cela peut également poser des problèmes de distance de mise au point minimum trop grande. Pour corriger l'effet loupe provoqué par l'eau, on utilise des

⁷ La flottabilité nulle du plongeur fait référence à sa capacité à maintenir une position neutre grâce à un lestage parfait

lentilles dioptriques qui se fixent sur l'objectif et permettent de réduire cette distance minimale.

Enfin, l'eau salée est un facteur aggravant pour le matériel. Lorsqu'on ajoute des sels, des acides ou des composés alcalins à l'eau, la concentration des ions et la conductivité électrique du liquide augmentent, ce qui peut accélérer le processus de corrosion. Il est impératif de rincer tout le matériel à l'eau claire après chaque tournage. Bien que les matériaux utilisés soient conçus pour résister à la corrosion, le sel reste particulièrement agressif et peut endommager les équipements à long terme.

Contrairement à la photographie terrestre, le contre-jour est conseillé lorsque que celui-ci est bien apprivoisé. Grâce à l'eau, le soleil permet d'apporter une lumière diffuse par le haut sur son sujet. On parle alors de Top light. C'est une astuce utilisée par de nombreux photographes professionnels sous-marin tel que Mike Bartick faisant l'apologie du contre-jour dans sa revue *Backlighting* sur le site de photographie sous-marine wetpixel (2018).

Martin Edge explique dans son livre *The Underwater Photographer* (2010) que les débutants oublient souvent que la distance horizontale réduit également les lumières et les couleurs. En effet, il faudra additionner la profondeur à la distance entre vous et le sujet pour comprendre le chemin de la lumière.

C. La sécurité dans le domaine de la prise de vue sous-marine

Il est important de noter que la prise de vue en scaphandre autonome est une activité potentiellement dangereuse et qu'une formation adéquate est essentielle pour minimiser les risques. Les plongeurs doivent être certifiés, connaître les principes de la plongée, avoir une compréhension approfondie de la physique de la plongée et des procédures de décompression, et être conscients de leurs propres limites et de celles de leur équipement. Tout plongeur caméraman dispose au minimum d'un niveau de plongée loisir et d'un certificat d'aptitude à l'hyperbarie mention B. Ce certificat existe pour différentes profondeurs : classe 0, 12 mètres de profondeur maximum; classe I, 30 mètres de profondeur maximum; classe II, 50 mètres de profondeur maximum; classe III au-delà de 50 mètres.

Les opérateurs sous-marins sont en première ligne de front sur les prises de vues et s'exposent à des risques : les accidents biochimiques, biophysique, mécanique, etc. Ces risques sont d'autant plus accentués lors de la prise de vue car cela rajoute un élément perturbateur à la plongée.

Il existe des accidents de décompression. Ce sont des incidents graves qui peuvent survenir lors de la pratique de la plongée en scaphandre autonome. Ces accidents sont principalement causés par une exposition prolongée à des pressions élevées et par une remontée trop rapide à la surface sans respecter les paliers de décompression appropriés. Les conséquences de tels accidents peuvent être graves voire mortelles.

Lorsqu'un plongeur descend dans les profondeurs, la pression ambiante augmente à mesure qu'il descend plus profondément. Cette pression affecte le corps du plongeur, en particulier les tissus. L'air inhalé par le plongeur contient de l'azote, qui est dissous dans les tissus corporels sous pression. Tant que le plongeur reste à une profondeur constante, l'azote reste dissous et ne pose pas de problème.

Cependant, si le plongeur remonte trop rapidement à la surface, la pression diminue rapidement et l'azote dissous dans les tissus corporels forme des bulles d'azote. Ces bulles peuvent causer divers problèmes, notamment des douleurs articulaires, des troubles neurologiques, des problèmes respiratoires et cardiaques, voire un accident vasculaire cérébral. La prévention des accidents de décompression repose sur une planification minutieuse des plongées, une utilisation adéquate des tables de décompression ou des ordinateurs de plongée, et le respect strict des paliers de décompression.

Il existe également des accidents mécaniques. Cela fait référence à des incidents qui surviennent en raison de l'exposition à des conditions physiques extrêmes lors de la plongée en scaphandre autonome. Ces accidents peuvent avoir de graves conséquences sur la santé du plongeur, allant des blessures mineures aux problèmes médicaux graves, voire mortels. L'un des accidents les plus courants en est le barotraumatisme. Il se produit lorsque la pression ambiante change rapidement et de manière significative, causant des dommages aux tissus

corporels. Les barotraumatismes⁸ peuvent affecter diverses parties du corps, notamment les oreilles, les sinus, les poumons et les dents. Par exemple, la surpression peut provoquer une douleur intense aux oreilles et aux sinus, voire une rupture du tympan. De même, une décompression trop rapide peut entraîner une expansion rapide des gaz dans les poumons (surpression pulmonaire), ce qui peut causer des lésions pulmonaires, notamment un pneumothorax⁹.

Un autre accident est l'hypothermie. Lorsque les plongées ont lieu dans des eaux froides, la perte de chaleur corporelle peut être un problème majeur. L'exposition prolongée à des températures basses peut entraîner une baisse de la température corporelle, mettant ainsi le plongeur en état d'hypothermie. L'hypothermie peut entraîner une perte de coordination, des difficultés respiratoires, une altération de la conscience et, dans les cas graves, un arrêt cardiaque.

Heureusement il existe différentes lois de physique et de chimie permettant de mieux comprendre les phénomènes et de prévenir les risques.

La loi de Dalton est une loi de la physique des gaz énoncée par le chimiste britannique John Dalton en 1801. Cette loi établit que la pression totale exercée par un mélange de gaz est égale à la somme des pressions partielles de chaque gaz constituant le mélange. En d'autres termes, si vous avez un mélange de gaz composé de plusieurs gaz différents, la pression totale exercée par ce mélange est égale à la somme des pressions partielles de chaque gaz. La pression partielle d'un gaz est la pression qu'il exercerait s'il était seul dans le même volume que le mélange. Cette loi permet aux plongeurs de calculer la pression qui est exercée sur chaque gaz contenu dans sa bouteille. Cela permettra au plongeur de choisir le bon mélange gazeux en fonction de la profondeur et le temps de sa plongée. En effet, certains gaz vont être narcotiques très tôt comme l'azote. Si l'on respire un mélange gazeux équivalent à l'air que l'on respire sur terre (21% d'oxygène et

⁸ Le barotraumatisme est une lésion ou une affection causée par une différence de pression entre l'environnement et certaines cavités du corps humain

⁹ Le pneumothorax est une affection médicale caractérisée par la présence d'air ou de gaz dans l'espace pleural, qui est l'espace situé entre les poumons et la paroi thoracique.

79% azote environ), alors l'azote commencera à être narcotique à partir de 30 mètres. C'est ce qu'on appelle l'ivresse des profondeurs car l'effet ressemble à celui de l'alcool. La double peine est que l'azote forme des bulles qu'il faudra dissoudre à un palier comme expliqué précédemment. L'oxygène quant à lui est narcotique à partir de 57 mètres toujours si l'on respire de l'air. Il sera donc intéressant pour le plongeur de respirer un gaz moins riche en azote pour faire une plongée plus profonde. Cependant l'oxygène devient rapidement narcotique lorsqu'on augmente son pourcentage dans le mélange. On va alors utiliser un gaz moins facilement narcotique : l'hélium.

Les plongeurs vont donc choisir différents mélanges de gaz. Le Nitrox qui correspond à un mélange d'oxygène et d'azote avec un pourcentage d'oxygène plus élevé dans l'air. Ou le TRIMIX qui mélange oxygène, azote et hélium. Et enfin l'Héliox qui correspond à un mélange d'oxygène et d'hélium. Celui-ci est peut-être le plus intéressant malgré le prix très élevé de l'hélium car il évite les contraintes de l'azote.

La loi de Boyle-Mariotte, également connue sous le nom de loi des gaz parfaits, décrit comment le volume d'un gaz change lorsque sa pression change, à température constante. Elle a été formulée par Robert Boyle et Edme Mariotte au XVII^e siècle.

La loi de Boyle-Mariotte peut être résumée comme suit : si la température d'un gaz reste constante, le produit de sa pression (P) par son volume (V) reste constant. En d'autres termes, lorsque la pression augmente, le volume diminue, et lorsque la pression diminue, le volume augmente.

Cela signifie que si vous avez un gaz emprisonné dans un contenant avec un piston mobile, lorsque vous poussez le piston vers le bas en augmentant la pression, le volume du gaz diminue. De même, si vous tirez le piston vers le haut en réduisant la pression, le volume du gaz augmente.

Cette loi prévient majoritairement des barotraumatismes et notamment de la suppression pulmonaire. Une règle régie en plongée : toujours souffler son air lors d'une remontée en urgence. Quand le plongeur retient sa respiration en remontant, l'air emprisonné dans ses poumons se dilate conformément à la loi de Boyle-Mariotte. Cependant, étant donné que les poumons ont une capacité

d'expansion limitée (moins de 10%), l'augmentation du volume d'air provoque une déchirure des alvéoles pulmonaires. Ce risque est évité en respirant normalement et en remontant doucement tout en respectant les paliers de sécurité.

CHAPITRE II : Le développement des innovations d'imagerie sous-marine dans le cinéma

Dans cette deuxième partie, nous explorerons l'émergence des innovations dans le domaine de l'audiovisuel. Nous présenterons des œuvres cinématographiques et télévisuelles ayant marqué un tournant dans la production sous-marine. Enfin, nous consacrerons une attention particulière à l'apport de James Cameron, figure emblématique de cette révolution technologique et artistique.

A. Chronologie des innovations techniques majeures dans l'imagerie sous-marine

La toute première photographie sous-marine connue a été réalisée en 1856 par un Anglais nommé William Thompson dans le Dorset. Il demanda à un menuisier de lui concevoir une boîte en bois étanche à l'intérieur de laquelle pouvait être placé un appareil photo à plaque de verre colloïdale humide de 4" x 5". Le processus nécessitait une chambre noire sur le rivage pour préparer et développer les plaques en moins d'une heure. Depuis un bateau à rames, Thompson utilisait une corde pour activer un obturateur lesté. Avec un ami, il a installé son appareil photo sur un rebord rocheux à 18 pieds (environ 5,5 mètres) sous l'eau dans la baie de Weymouth.

En 1893, Louis Boutan, un professeur de zoologie à la Sorbonne réalise les premiers portraits sous-marins. Il mène des recherches en biologie marine depuis 1884 au Laboratoire Arago de Banyuls-sur-Mer. Avec l'aide de son frère, ils réalisent le premier caisson en cuivre pour appareil photos. Au cours des années suivantes, de nombreux inventeurs perfectionnent le boîtier en cuivre ou en Aluminium.

En 1950 Georges Beuchat est, probablement, le premier à commercialiser un caisson: le Tarzan. un boîtier sous-marin conçu par Henri Broussard d'après une idée de D. Rebikoff, destiné à l'appareil photo FOCA Standard. Fabriqué en alliage moulé, ce caisson robuste de 1,945 kg est composé de deux parties

assemblées par quatre écrous. Malgré sa solidité, il présentait des limites : une fois l'appareil enfermé, il était impossible d'ajuster la mise au point ou l'ouverture, et les commandes se limitent à l'armement et au déclenchement. Destiné à une production limitée juste après la Seconde Guerre mondiale, ce caisson a été conçu pour le FOCA, un appareil 35 mm français abordable et de qualité, en raison de la rareté des Leica et des risques d'inondation des boîtiers. Le viseur se résumait à une simple tige pour aligner l'axe de prise de vue, sans permettre de délimiter le champ. Bien que le Caisson Tarzan ait connu plusieurs variantes, il reste difficile de déterminer si elles ont été produites en série ou s'il s'agissait de prototypes.

Au cours des années 1940-1950, la marine américaine a commencé à travailler avec des ingénieurs et des scientifiques pour développer des caméras spéciales qui pouvaient fonctionner sous l'eau et résister aux pressions élevées des profondeurs.

Jean de Wouters, ingénieur belge et membre de l'équipage du Calypso¹⁰, a conçu la première caméra 35 mm sous-marine véritablement amphibie, en 1957. Cette caméra, compacte et simple d'utilisation est nommée Calypso. Ce design est racheté par La Spirotechnique, puis par Nikon, qui le commercialise en 1963 sous le nom de Nikonos. L'un des appareils étanches les plus populaires de cette époque était la caméra sous-marine NIKONOS V, lancée en 1984. Cette appareil était capable de résister à des profondeurs allant jusqu'à 50 mètres, était équipée d'un flash intégré et d'un système de mesure de lumière TTL. Ce produit a permis de diffuser des images sous-marine aux grand public ("Evolution of Nikonos", Nikon, 2021).

Ikelite, fondée dans les années 1960 par l'inventeur et plongeur passionné Ike Brigham, a révolutionné la photographie et l'éclairage sous-marins. Après une plongée sur épave où toutes les lampes de plongée avaient fui ou implosé, Ike a conçu une lampe robuste et abordable grâce à des moules et des plastiques coulés à la main (le bakélite), durcis dans le four de sa cuisine. Rapidement surnommée "Ike's light", sa création a gagné en popularité, faisant d'Ikelite une

¹⁰ Bateau d'expédition du cinéaste et plongeur commandant Cousteau.

référence dans les cercles de plongée. Aujourd'hui, cette entreprise familiale, dirigée par des femmes, reste basée à Indianapolis et distribue ses produits dans plus de 95 pays. Fidèle à ses racines, Ikelite continue d'innover pour rendre la photographie sous-marine accessible tout en honorant son héritage artisanal et son engagement envers la qualité.

En Parallèle, les première invention de sacs étanches en plastique pour protéger les caméras apparaissent. À cette époque, des entreprises ont commencé à proposer des sacs spécialement conçus pour les appareils photo et les caméscopes afin de les protéger de l'eau et des conditions humides. En 1969 M. Goedecke, qui était un photographe amateur passionné et un amateur de sports nautiques, a eu l'idée d'un boîtier souple pour protéger son appareil photo de l'eau salée et du sable. Le premier caisson sous-marin flexible ewa-marine est né. On parlera plus tard de Splash Bag¹¹

En 1988, HydroFlex a été la première entreprise à concevoir des éclairages HMI sous-marins à haute puissance, spécifiquement développés pour James Cameron et son film *The Abyss*. HydroFlex fournit également ses projecteurs à la NASA pour l'entraînement des astronautes dans le laboratoire de flottabilité neutre à Houston, et collabore avec le Département de la Défense sur le développement de boîtiers spéciaux pour caméras à haute vitesse

La machine est lancée, les industries de caisson se développent. De nombreuses marques proposent des caissons pour les caméras cinéma comme Red, Arri ou Sony. Les marques de caisson s'ouvrent à des publics plus large mais ce phénomène reste une niche de photographes et cinéastes sous-marin. Une personne va basculer ce concept dans le grand public : Nick Woodman. Passionné de surf en 2004, il développe la GoPro HERO 35 mm en 2004, un modèle étanche jusqu'à 5 mètres. En 2006 la Gopro digital sort et permet de faire de la vidéo avec un stockage de 32 méga octets. Évidemment ce produit tombe dans les mains des ménages mais également dans les petites productions tel que le court-métrage ou le reportage.

¹¹ Le Splash Bag est un système de protection pour les caméras permettant de se préserver des éclaboussures.

Plus récemment, en 2021, la société Boxfish Robotics dévoile le Boxfish Luna. Un drone sous-marin révolutionnaire destiné aux cinéastes professionnels, combinant robustesse et technologie avancée. Il est équipé d'une caméra Sony Alpha, capable de capturer des vidéos en 8K et des images fixes de 50 mégapixels. Son dôme optique (de la marque nauticam) offre une qualité d'image exceptionnelle, avec un choix entre un dôme en verre pour les faibles profondeurs ou un en acrylique pour plonger jusqu'à 1 000 mètres. Le cinéaste animalier Antoine Drancey utilise le drone sous-marin Boxfish Luna pour filmer l'incroyable monde sous-marin.

Aujourd'hui, bien que de nombreuses technologies permettent de faciliter la prise de vue en milieu naturel, les exigences des grandes productions cinématographiques nécessitent souvent un contrôle total sur les conditions de tournage. C'est pourquoi l'industrie voit une croissance continue des studios sous-marins. En 2019 Lites Studio est inauguré. C'est le plus grand studio sous-marin d'Europe. Avec une superficie de 1 450 m² (15 600 ft²) et un réservoir d'eau pouvant contenir jusqu'à 6 millions de litres d'eau chaude maintenue à une température standard de 30°C. Le studio propose également des effets aquatiques variés, y compris des vagues, des réservoirs à déversement télécommandés, des canons à eau, des pluies et des brumes aquatiques.

En ce qui concerne les studios internationaux, plusieurs installations dédiées aux tournages sous-marins sont disponibles, telles que Pinewood Studio et Mayflower Studio en Angleterre, ainsi que Baja Studio aux États-Unis. En France, Provence Studio dispose d'un water tank spécifiquement conçu pour les scènes sous-marines, tandis qu'à Paris, l'entreprise Splash Prod dispose de plusieurs bassins adaptés à ce type de production. Par ailleurs, d'autres tournages sous-marins sont fréquemment réalisés dans des piscines équipées au préalable de dispositifs tels que des éclairages ou des fonds verts.

B. Le monde sous-marin dans la fiction et le documentaire, en quête d'innovation technique

Au début des années 1900, les cinéastes expérimentent déjà la possibilité de capturer des images sous-marines. Selon l'anthropologue François Pouillon, en 1909, Albert Samama Chikly, pionnier du cinéma tunisien, aurait réalisé la première vidéo sous-marine grâce à une caméra installée dans un submersible artisanal.

En 1916, le documentariste américain John Ernest Williamson a utilisé une caméra étanche pour filmer des images sous-marines dans les Bahamas pour son film *The Submarine Eye* (1917). Cette caméra était équipée d'un boîtier artisanal qui permettait de filmer à une profondeur de 15 mètres. Dans les années 1920, les cinéastes ont commencé à utiliser des caissons étanches pour leurs caméras, qui ont permis de filmer à des profondeurs plus importantes. Ces caissons étaient souvent fabriqués sur mesure et coûteux, mais ils ont permis aux cinéastes de capturer des images spectaculaires.

Jacques-Yves Cousteau est probablement l'homme le plus célèbre dans le développement du cinéma sous-marin et de la plongée de manière générale. En 1943 Cousteau sort *Par dix-huit mètres de fond*, le premier film documentaire sous-marin français.

En 1946 le célèbre océanographe français, sort le film *Epaves*. C'est le premier film tourné avec son invention de scaphandre autonome, le "Cousteau-Gagnan", offrant les premières séquences sous-marines en Méditerranée jusqu'à 60 mètres de fond. Pour ce film, le commandant Cousteau travaille avec un ingénieur mécanicien de la marine nationale : Mr Léon Vèche. Il développe un caisson cylindrique à fond hémisphérique qui servira à protéger les caméras. En 1956 Jacques Yves Cousteau réalise le film *Le monde du silence*. Il reçoit alors la palme d'or du festival de canne et l'oscar du meilleur documentaire aux Etats-Unis. Ce film est également un porte étendard des innovations sous-marines en présentant le scaphandre autonome, le scooter sous-marin ou le caisson sous-marin dans le milieu audiovisuel. Dans les années 1960 et 1970, la télévision s'étend dans tous

les foyers. Jacques Cousteau se dirige dans ce média, grâce à sa série documentaire télévisée *The Undersea World of Jacques Cousteau*.

En France, dès les années 80, Luc Besson fait sensation avec son film *Le grand bleu* sorti en 1987. Le film raconte l'histoire de deux amis, Jacques Mayol et Enzo Molinari, qui partagent une passion commune pour l'apnée. Besson innove dans l'imagerie sous-marine avec son directeur de la photographie¹² sous-marin, Christian Petron. Il raconte : "On a fabriqué des caméras et des optiques spécialement pour le tournage, par manque de matériels disponibles sur le marché" (L'impact, *Le grand bleu version originale Christian Petron*, 2020). Pour le tournage du film *Le grand bleu* et *Atlantis*, Luc Besson a prié Christian Petron de concevoir une optique anamorphique pour le sous-marin. "Rien n'existait dans le commerce et il fallut en quelques mois : concevoir le système, calculer l'optique, réaliser l'optique, réaliser la mécanique, monter l'ensemble et le régler, contrôler le système obtenu".

En 1992, Howard Hall reçoit un appel de Graeme Ferguson, co-fondateur d'IMAX¹³, qui va changer sa carrière. Ferguson lui explique que IMAX développe une caméra 3D extrêmement lourde et complexe, nécessitant une équipe spécialisée pour réaliser des films sous-marins. Malgré la difficulté apparente du projet, Hall accepte, et il se lance dans la réalisation de films sous-marins en 3D, notamment *Into the Deep* (1994), qui rencontre un grand succès. Pour filmer, Hall et son équipe doivent innover, notamment en créant des systèmes d'éclairage sous-marins, des appareils de communication et en utilisant des recycleurs de gaz pour de longues plongées. Le système IMAX, très lourd (environ 612 kg), impose une logistique compliquée, avec des caméras qui prennent du temps à se mettre en marche et un bruit qui effraie les animaux. Malgré ces défis, Hall réalise plusieurs films à succès, comme *Deep Sea 3D* et *Under the Sea 3D*. Cependant, avec l'avènement du numérique et des caméras plus légères, la production de films IMAX devient plus accessible.

¹² Le directeur de la photographie ou chef opérateur est le responsable de l'image du film. Il gère les cameramen et les assistants caméra

¹³ L'IMAX est un format de film qui permet de projeter des images de plus grande taille et avec une résolution supérieure à celle des pellicules traditionnelles.

Il est également notable de mettre en avant le film *Océan* de Jacques Perrin (2009). Avec ses 10 millions d'entrées en salles, le film tire sa force d'une vision brute d'un cinéaste qui souhaite rendre hommage à la beauté du monde marin. C'est notamment grâce au développement de nouvelles technologies que ce film a pu traduire aussi bien cette vision. "Grâce à Jean-Claude Protta de la société suisse Subspace Pictures. Nous avons construit un caisson étanche et hydrodynamique rapide et agile comme l'otarie. A l'intérieur, nous avons glissé une caméra numérique spécialement customisée pour le film, capable de restituer toutes les nuances de bleu de l'univers sous-marin" (Stéphane Durand, conseiller scientifique, "dossier de presse", Galateefilms.com). Cette technologie, tracté par un bateau, a permis de capturer la nage de dauphins et de thons à haute vitesse et en gros plan.

En France, un homme est souvent considéré comme le nouveau Cousteau : Laurent Ballesta. A la fois naturaliste, photographe il signe également l'écriture de ses documentaires. Ballesta et son équipe Gombessa ont réalisé beaucoup de documentaires très innovants dans la prise de vues sous-marine. On retrouve notamment Thibault Rauby en assistant photo et Yannick Gentil pour la prise de vue sous-marine.

En 2013 sort le documentaire *Coelacanthe, plongée vers nos origines*, sur une des espèces les plus anciennes au monde. Réalisé par Gil Kebaïli et co-écrit par Laurent Ballesta, l'équipe développe avec le centre de recherche de paléontologie une nouvelle manière de capter les membres articulés du Coelacanthe. Pour cela, ils créent un nouveau système de caméra pour décomposer les mouvements uniques de cette espèce en collaboration avec Subspace Pictures pour l'usage du caisson. On retrouve deux caméras à captation haute vitesse, avec deux moniteurs, reliées par un bras, permettant de capter le mouvement à l'horizontale et à la verticale.

Dans le cadre du film documentaire *700 requins dans la nuit*, le groupe Gombessa mené par Laurent Ballesta a participé au développement de nouvelles techniques permettant la diffusion d'images innovantes. Réalisé par Luc Marescot, ce documentaire décrit la chasse d'environ 700 requins lors de la ponte des mérus dans la passe de Fakarava. L'objectif étant de pouvoir visualiser en 3D le comportement des requins lors de la chasse. En effet, devant la frénésie et la

vitesse des requins il était impossible d'observer une quelconque hiérarchisation de leurs comportements à l'œil nu. L'idée est alors de prendre en photo à 180° autour du requin pour pouvoir observer sereinement le comportement du requin. On parle alors de photogrammétrie 3D. C'est ainsi que la production accompagnée d'ingénieur et de scientifique a développé une arche résistante à la corrosion, avec une flottabilité neutre accompagnée de go pro étanche afin de photographier simultanément un groupe de requin chassant le mérrou.

En 2019, Laurent Ballesta signe une nouvelle fois avec Gil Kebaïli pour un film documentaire en Méditerranée (*Planète Méditerranée*). Le but était d'explorer la zone de profondeur de 100 mètres sans aucune limite de temps et de découvrir les merveilles naturelles des fonds marins inexplorés de la Méditerranée. Dans cette nouvelle expédition, il a fallu une nouvelle fois innover. C'est une première dans la plongée à saturation avec des recycleurs pour un documentaire. Ce plongeur multi-casquette détourne les usages des industries pétrolières pour en faire un dispositif scientifique et documentaire. Une régie a été installée à la surface reliée par des câbles et des caméras étanchéifier pour 17 bars afin de pouvoir filmer tous les angles du caisson. De plus, pour ce projet Guillaume Mazille, photographe et cinéaste animalier participe à l'élaboration d'une caméra 360°.

En 2022, la société BioQuest Studios a reçu un Emmy, *Outstanding Nature Documentary* pour *Comme un poisson dans son récif*. Cette société de production audiovisuelle est particulièrement intéressante car elle est spécialisée dans la prise de vue sous-marine macroscopique. La société utilise des aquariums accompagnés de slider électronique à déplacement très précis pour travailler sur des aquariums. L'équipe de production dispose également de microscopes adaptable aux caméras modernes pour approcher le spectateur au plus près du monde marin. En effet il existe des microscopiques de la marque d'optique Zeiss capable d'accueillir notamment les caméras RED avec une bague d'adaptation qui les relie.

En 2023 un nouveau documentaire sur une expédition Gombessa sort, Arte : *Méditerranée, la face immergée des volcans*. Laurent Ballesta est de retour en compagnie du cinéaste italien Roberto Rinaldi. Une nouvelle technologie est mise

à disposition. Suex, entreprise de renom dans les technologies sous-marine, se lance dans le cinéma avec *Suex for cinema*. Grandement influencé par les travaux de Roberto Rinaldi, l'entreprise a conçu un système pour panoter¹⁴ un caisson avec deux scooters. Roberto explique : "Marco (Segatto, propriétaire de Suex) m'a permis de réaliser une idée que j'avais depuis longtemps, en créant en peu de temps un prototype immédiatement opérationnel" (*Roberto Rinaldi and the art of filming underwater*, Suex Stories, 2022).

En 2024, Pawel Achtel, cinéaste et inventeur, dépassent toutes les limites. Il capture des images d'une résolution exceptionnelle de 18,7K grâce à sa caméra numérique 9×7. La projection est destinée à des écrans géants pour voir les détails d'une baleine en grandeur nature. Ce boîtier est conçu pour offrir une netteté inégalée, impossible à atteindre avec les caméras de cinéma numérique traditionnelles, tout en restant compacte et facile à manipuler. Elle est équipée d'un Global Shutter de pointe, d'un capteur au format 4:3 avec 65 millions de photosites et produit des images RAW non compressées en 16 bits à une vitesse de 11 Go/s, soit environ 30 fois plus que les caméras de cinéma numérique haut de gamme. Cette caméra, couplée à un boîtier sous-marin Vanquish sur mesure et des objectifs Nikonos modifiés, a permis de capturer des détails inédits. Elles dépassent même celles du film IMAX 70mm à 15 perforations.

C. James Cameron : ambassadeur de l'innovation sous-marine au cinéma

James Cameron est le porte-étendard du cinéma sous-marin américain. Il en a fait sa spécialité depuis les tout débuts de sa carrière. Si l'on écarte le très vite oublié *Piranha 2 : Les Tueurs volants*, dont James Cameron a été évincé (Screenrant, "Why James Cameron Originally Disowned His Very First Movie", 2020), son premier film aquatique est le célèbre *Abyss* (1989). Mélangeant science-fiction et univers sous-marins, le long-métrage propose un univers inédit. Le film se déroule à plus de 40% dans l'eau, dans une cuve de refroidissement abandonnée pour centrale nucléaire. À cette époque, trouver un studio disposant de 32 millions de litres d'eau n'était pas si simple. Mais James Cameron propose un projet innovant

¹⁴ Panoter est un terme issu du cinéma qui signifie faire pivoter la caméra à droite ou à gauche.

et dépasse toutes les limites. Le cinéaste désire avoir un retour son en direct sur son film, ce qui est normalement impossible pour l'époque. Avec son équipe d'ingénieurs, il propose un système de micro intégrés aux casques des plongeurs/acteurs. Et avec quelques ajustements, ils atteignent une qualité sonore exceptionnelle. *The Abyss* invente des masques de plongée inédits afin de pouvoir filmer les visages des acteurs en gros plan. "Le masque à oxygène traditionnel est donc banni, ceci au profit d'un masque plus large, aux parois de verre planes, et avec éclairage incorporé" (Marc TOULLEC, *Batman - Indiana Jones : une surdose de héros ?* (n°61), *Mad Movies*, septembre 1989). Il souhaite également mettre en scène des robots sous-marins. Pour cela, Cameron va faire appel à la société Can Dive pour faire construire de réels engins. Ces robots vont servir plus tard à filmer l'épave du Titanic en 1997. Dans cette quête pour repousser les frontières du cinéma sous-marin, James Cameron s'appuie également sur des innovations techniques, dont certaines trouvent leur origine chez d'autres pionniers du domaine, comme Pete Romano. En 1987, ce dernier réalise son premier tournage aquatique avec une caméra 16mm. Trouvant l'exercice trop frustrant, il conçoit son propre boîtier, qu'il appellera Hydroflex, marquant ainsi la naissance d'une entreprise spécialisée dans la fabrication de matériel audiovisuel sous-marin. Parallèlement à son travail d'entrepreneur, Pete Romano poursuit sa carrière d'opérateur caméra sous-marin, contribuant à *The Abyss* ou *Jaws: The Revenge*. Il est aujourd'hui une référence hollywoodienne dans la prise de vue sous-marine et propose des Splash Bag ainsi que des caissons multi-caméra.

Phénomène du cinéma, *Titanic* de James Cameron (1997), est un événement de l'imagerie aquatique. La production a demandé une nouvelle fois de se surpasser. En effet, afin de réaliser le film, James Cameron demande à la FOX, société de distribution du film, un budget pour mener une expédition inédite sur le Titanic. Ainsi il réalisa différents plans du Titanic avec une caméra 35mm enveloppée de titane et spécialement conçue pour l'occasion. En outre, la conception de Fox Baja Studios en 1997 a été fortement influencée par les besoins de production du premier film tourné sur place : *Titanic*, le chef-d'œuvre épique de James Cameron. Le projet nécessitait notamment un bassin d'eau capable d'accueillir une réplique de 236 mètres du célèbre navire.

C'est dans la production documentaire que James Cameron continue ses exploits. *Les fantômes du Titanic* (2003) retrace l'histoire du célèbre navire échoué. Le tournage du documentaire implique une combinaison impressionnante de technologies innovantes. Pour cela, le réalisateur, en collaboration avec Sony et le directeur de la photographie Vince Pace, a développé un nouveau système de prise de vue appelé "Reality Camera System". Ce système est composé de deux caméras Sony HD-950 modifiées, espacées de la même distance que les yeux humains (environ 70 mm), et équipées d'un procédé de convergence active pour suivre les mouvements de l'objet filmé. Lors de la projection, les deux images sont transmises simultanément sur l'écran et des filtres polarisants ou des obturateurs à cristaux liquides actifs permettent à chaque œil de voir une image différente, ce qui crée un effet de relief. En plus de ce système d'imagerie 3D, James Cameron et son équipe ont conçu des submersibles pilotés à distance pour assurer les prises de vue à l'intérieur de l'épave (*Titanic en docu et toc*, Libération, 2003). Le réalisateur réitère l'exploit avec *Aliens Of The Deep* (2005) utilisant les mêmes procédés d'imagerie mais cette fois-ci à la rencontre des espèces marines des abysses.

La production de la franchise *Avatar* est également impliquée dans les avancées technologiques pour la prise de vue sous-marine. James Cameron, déjà connu pour ses prouesses technologiques avec la 3D du premier film, s'est encore surpassé. Dès 2006, le réalisateur avait pour ambition de développer une suite en fonction du succès du premier film. Ce fut le cas, *Avatar* premier du nom est toujours premier du box office mondiale. Dans cette course à la technologie, cette fois-ci, c'est l'imagerie sous-marine qui s'est développée avec *Avatar 2 : La Voie De L'eau*. Il construit un réservoir de 900 000 gallons pour imiter les mouvements de l'océan. Bien que certains aient proposé de filmer "au sec" avec des câbles, Cameron a insisté sur l'importance de filmer sous l'eau pour que les mouvements paraissent réalistes. Les essais ont montré que la capture "au sec" ne rendait pas du tout l'effet voulu. Outre les nombreux brevets déposés par les technologies de simulation de l'eau, la production a également collaboré au développement de la motion capture sous-marine. La motion capture consiste à poser des capteurs sur le corps d'une personne pour récupérer ses mouvements dans un logiciel 3D.

Cela permet de créer des films d'animations en utilisant des mouvements au plus près de la réalité. L'objectif pour James Cameron était de réaliser cela dans l'eau pour pouvoir enregistrer des mouvements sous-marins réalistes. L'utilisation du "base optique", un système qui photographie les capteurs sur les combinaisons des acteurs à l'aide de caméras, a posé des difficultés lorsqu'il était utilisé sous l'eau en raison de l'effet de miroir créé par le contact entre l'air et l'eau. Cela a entraîné la création de faux marqueurs, ce qui a rendu le tournage difficile. Pour résoudre le problème, une des solutions a été décidée de recouvrir la surface de petites sphères blanches qui empêchent les lumières du studio de perturber le système de capture de mouvements situé en dessous. En outre, *Avatar 2* a utilisé une technologie de caméra innovante pour ses séquences sous-marines en 3D, créée par le cinématographe australien Pawel Ahtel. Le système *DeepX 3D*, breveté par Ahtel, a permis de filmer en 3D IMAX. Cette technologie utilise des objectifs Nikonos des années 1980, conçus spécifiquement pour la photographie sous-marine. Cette combinaison technologique a permis à *Avatar 2* d'obtenir des images sous-marines d'une clarté et d'une profondeur impressionnantes, sans distorsion, offrant une expérience immersive exceptionnelle. D'autres caméras ont été utilisées comme la Sony VENICE équipées de capteurs déconnectés du boîtier (système Rialto). Des caméras supplémentaires, comme les Sony Alpha et la caméra étanche RX0, ont été utilisées pour les performances sous-marines.

CHAPITRE III : Analyse de la stimulation des productions audiovisuelles dans l'innovation technique de l'imagerie sous-marine

Il est clair que la production audiovisuelle joue un rôle prédominant de la création jusqu'à la diffusion des techniques d'imagerie sous-marines. Ces prochaines parties permettent de décortiquer l'intervention et les bénéfices des productions cinématographiques dans le processus d'innovation. Nous poserons également les limites de leurs impacts et mettrons en exergue d'autres industries de grandes influences.

A. Le cinéma, moteur de la stimulation de l'innovation dans l'imagerie sous-marine

La production cinématographique sous-marine semble être au cœur du processus d'innovation. Que cela soit James Cameron dans la fiction à gros budget ou l'équipe Gombessa dans le documentaire animalier, le cinéma a grandement participé aux innovations d'imagerie sous-marines. Il est intéressant de comprendre le rôle de la production cinématographique dans la stimulation de l'innovation. On peut parler d'utilisateur, ou de concepteur. En effet, la production de films est souvent amenée à utiliser les innovations existantes de la plus basique comme le caisson sous-marin à la plus complexe comme la prise de vue en sous-marin. On peut affirmer que le cinéma et ses acteurs sont des utilisateurs de l'innovation pour l'imagerie sous-marine. En outre, on pourrait également les définir comme des concepteurs de l'innovation. Il existe de réels contacts entre les industries qui conçoivent ces produits et les cinéastes. On retrouve une interdépendance. Les constructeurs bénéficient de retours qualitatifs et les productions s'offrent de nouveaux champs techniques. Les avancées sont concrètes. Jean-Charles de chez Bluearth production nous explique notamment son besoin de sécurité sur les caissons. Avec d'autres opérateurs, il participe à l'ajout d'un seal check sur les caissons Subspaces Pictures. Ces cinéastes ont également une influence plus subjective. Leurs démarches engagées peuvent être

responsables de modifications dans l'innovation. Dans *Planète Méditerranée*, Laurent Ballesta tente de sortir du discours environnemental alarmiste pour faire le choix de mettre en valeur la beauté des fonds méditerranéens. C'est dans cette optique que le projet et ses innovations ont été influencés. Plus concrètement, aux Etats-Unis, James Cameron travaille en collaboration avec Sony pour créer des films sous-marins. Le cinéaste et son équipe de tournage ont été directement responsables des innovations 3D et des effets spéciaux.

Pour aller plus loin, les cinéastes sont vecteurs d'innovation à différentes étapes du processus. On peut différencier trois catégories: la recherche, le développement et la diffusion.

La préhistoire de l'innovation nous situe au temps du cinéaste Jacques Cousteau. L'exemple Cousteau-gagnant est flagrant. Le premier scaphandre autonome a été notamment inventé pour réaliser de la prise de vue sous-marine dans l'objectif de faire du cinéma. De plus, cet homme comme d'autres cinéastes est à la base de la réalisation des premières caissons. Il fût acteur de la recherche et du développement de l'innovation des caissons pour toujours aller plus profond, filmer plus longtemps, etc. Aujourd'hui les cinéastes travaillent encore avec des industries pour développer des caissons spécifiques cependant le caisson sous-marin et le Splash Bag semblent être tous deux les descendants du boîtier en cuivre.

Cette affirmation est toutefois à relativiser quand on analyse des entreprises de renom comme Suex qui développent un nouveau format de caisson sous-marin grâce à l'influence du cinéaste Italien Roberto Rinaldi. Il est donc fréquent de constater une stimulation dans l'étape de développement d'une innovation. C'est le cas également de la motion capture lors de la production d'*Avatar 2*. James Cameron développe une motion capture compatible avec la prise de vue aquatique. De plus, lorsque Jacques Perrin souhaite filmer les dauphins suivant un bateau à ras de l'eau, celui-ci doit réinventer le système de grue pour que cela soit un minimum étanche et utilisable sur un petit bateau. Il est clair que le directeur de la photographie est très souvent responsable de ces innovations. Au plus près de la caméra c'est lui qui va devoir trouver la solution technique pour réussir à développer l'image pensée par le réalisateur. Pour *le grand bleu*, c'est le

chef opérateur Christian Petron qui fabrique des optiques anamorphiques sous-marine.

Certains chefs opérateurs comme Pete Romano (Hydroflex) fabriquent et commercialisent leurs propre matériel. Ce qui entraîne une diffusion de l'innovation. D'une autre façon les documentaristes de l'équipe gombessa diffuse concrètement leurs innovations en partageant dans leurs documentaire le processus. En effet, le développement de la photogrammétrie 3D sous-marine va faire partie du storytelling du documentaire. Enfin, chez l'entreprise Suex, Roberto Rinaldi devient même ambassadeur du produit. Il est à la fois, l'image de marque et conseiller développement. La diffusion se fait également à travers la formation. Les entreprises font souvent appel à des stagiaires passionnés par l'imagerie sous-marine et étudiant en cinéma qui auront l'opportunité de se former aux innovations audiovisuelles sous-marine. Il existe aussi de plus de plus de formations proposées par ces même entreprises spécialisées. L'entreprise Splashprod propose des workshop¹⁵ permettant d'apporter une expertise de prise de vue sous-marine pour les cinéastes.

Cependant la production d'un film ne se résume pas à son réalisateur ou son chef opérateur mais à toute l'équipe présente de la pré-production à la diffusion d'un film. Il serait évident que le scénariste soit également responsable de l'innovation à travers ses idées mais cela pourrait aussi émergé, d'un cadreur, d'un moteur ou même du diffuseur.

Ces productions cinématographiques peuvent aussi faire office de facteurs économiques du développement de l'innovation. Produire un film aussi spécialisé demande un investissement économique sur des industries innovantes. James Cameron à fait le choix de lancer ses propres entreprises dans l'industrie des innovations audiovisuelles et notamment en milieu sous-marin. Il est donc lui-même au cœur du financement des innovations.

¹⁵ Un workshop est un atelier collaboratif, dont l'objectif est de répondre à une problématique commune

A travers les époques, cette stimulation à créer un certain verrouillage technique. Le Splash Bag par exemple à été orienté dans son développement par une volonté de faire des images mi-air mi-eau. Cependant, les innovations sous-marines restent très spécifiques et sont encore en plein développement, c'est notamment par ce contexte que des entreprises comme Subspace Pictures vont se reposer sur les demandes des productions audiovisuelles sous-marines pour innover.

Le niveau de responsabilité de ces acteurs est également à modérer. Il est vrai que la production cinématographique non spécialisée dans le sous-marin est en réalité un facteur d'influence faible pour l'innovation des imageries aquatiques. Seulement certaines productions spécialisées guidées par des passionnés parviennent à réellement créer un lien avec les industries qui développent ce type de matériel. James Cameron est un exemple particulier car il possède ses propres entreprises dans l'innovation. A petite échelle, le chef opérateur est parfois fabricant de son propre matériel mais cela reste très artisanal. C'est pour cela qu'il existe des facteurs externes au service de l'innovation pour l'imagerie sous-marine

B. Influences externes dans l'innovation de l'imagerie sous-marine

Il est nécessaire de rappeler que l'imagerie sous-marine s'est grandement développée dans des contextes économiques, militaires, scientifiques, mais aussi à par des facteurs politiques et sociaux.

La marine américaine a commencé à travailler avec des ingénieurs et des scientifiques pour développer des caméras spéciales qui pouvaient fonctionner sous l'eau et résister aux pressions élevées des profondeurs. Les caméras ont été utilisées pour enregistrer des opérations de sauvetage, des essais de torpilles et des expériences scientifiques sous-marines. Les caméras sous-marines ont ensuite été utilisées pendant la Seconde Guerre mondiale pour surveiller les mouvements des navires ennemis et pour aider les plongeurs de combat à localiser des mines et d'autres obstacles sous-marins.

Puis, pour l'après-guerre, avec la nécessité de développer son économie à travers notamment l'extraction pétrolière. Ce fût et cela reste encore des facteurs économiques pour l'imagerie sous-marine. Avant de se tourner vers le cinéma, la prise de vue sous-marine était principalement développée pour des applications militaires. Subspace Pictures, par exemple, s'est d'abord spécialisé dans la marine militaire avant d'élargir son expertise. Ce parcours est également celui de Pete Romano (Hydroflex), qui a commencé sa carrière dans la marine avant de mettre son savoir-faire au service du cinéma.

Avant de se tourner vers le cinéma, Boxfish Robotics était un acteur clé de l'industrie offshore. L'entreprise développait des robots sous-marins conçus pour l'inspection et la maintenance des infrastructures en mer, notamment dans l'éolien offshore et l'exploitation pétrolière. Leurs technologies permettaient d'éviter l'intervention de plongeurs en milieu hostile, offrant des solutions plus sûres et efficaces pour surveiller les structures sous-marines. Ce savoir-faire, développé dans des environnements exigeants grâce à la commande à distance, trouve désormais sa place dans le cinéma, où la précision et l'absence d'intervention humaine sous l'eau représentent un atout majeur.

Du côté des documentaires sous-marins, les méthodes d'innovations se développent dans le respect des espèces. Jean-Charles Granjon est biologiste marin. A la fois cinéastes et scientifiques, les facteurs sociaux changent de rôle. L'intérêt et leur sensibilité pour les espèces sous-marines passe en amont de la passion pour l'image. Il faut aborder l'espèce de manière discrète, sans le déranger. Plusieurs méthodes sont appliquées notamment l'utilisation du recycleur. En outre, dans le cadre de l'exposition *Sensory Odyssey*, les lumières ultra violet ont été développées dans un spectre de lumière très précis. Assez puissant pour mettre en lumière la bioluminescence des espèces sans risquer de leur envoyer des rayons toxiques. Ce cas est plus spécifique car notre acteur change de rôle permettant ainsi d'améliorer l'innovation dans une démarche scientifique en amont d'une démarche artistique.

C'est également le cas dans les documentaires de Laurent Ballesta. Les démarches dans l'innovation ne vont pas être artistiques mais plutôt de l'ordre de la recherche. C'est le cas du double caisson pour le film *Le Coelacanthe* : plongée

vers nos origines et l'arche d'action cam pour 700 requins dans la nuit. Ces deux films décrivent explicitement toute l'équipe scientifique qui travaille avec Laurent Ballesta. C'est eux qui ont pu constater l'intérêt de filmer à la fois horizontalement et verticalement le coelacanthe. Dans les 700 requins dans la nuit, on comprend également que l'équipe dispose d'ingénieurs qui vont également influencer le projet. Tous les acteurs vont être mobilisés. Par exemple, le photographe Laurent Ballesta et son assistant Thibault Rauby gère la flottabilité de ce produit afin de faciliter la prise de vue pendant que les ingénieurs développent le système de synchronisation des caméras. L'importance de la diversité des acteurs et des perspectives dans le processus d'innovation est un point clef. Les solutions innovantes émergent souvent de la collaboration entre des groupes aux compétences, aux expériences et aux connaissances variées. Les expéditions Gombessa se transforment en plates-formes de collaboration et d'échange où les différents acteurs peuvent se rencontrer, partager leurs idées et travailler ensemble à la résolution de problèmes.

Il existe également des facteurs politiques externes pouvant influencer la conception des innovations. La Fédération Française d'Études et de Sports Sous-Marins (FFESSM) réglemente les plongeurs à ne pas dépasser les 60 mètres et les formations américaines comme PADI (Professional Association of Diving Instructors) se limite à 40 mètres pour la plongée à l'air. On retrouve alors tout un marché basé sur des profondeurs autour de ces réglementations. Par exemple, Ikelite, proposant des caissons entrée de gamme n'a aucun intérêt à développer une technologie dépassant les 60 mètres.

Mais d'autres marques dépassent cette limite. En France, pour travailler en hyperbarie il existe des formations de scaphandrier permettant de travailler à plus de 100 mètres. Cette permission offre au photographe Laurent Ballesta la liberté de plonger dans les 120 mètres lors de son film *Planète Méditerranée*. Subspace Pictures propose pour ce genre de tournage un caisson MK3000 adapté à 250 mètres de profondeur maximum.

Certaines instances publiques, telles que le Centre national du cinéma et de l'image animée (CNC)¹⁶, jouent un rôle dans le développement économique de l'innovation en matière de prise de vue sous-marine. En soutenant financièrement des infrastructures spécialisées comme Provence Studios, qui dispose d'un water tank¹⁷ de grande capacité dédié aux tournages aquatiques, le CNC favorise l'émergence de nouvelles techniques visuelles. Ce soutien permet aux productions françaises de rivaliser avec les standards internationaux en matière de scènes sous-marines. D'autres structures bénéficient également de ces aides, comme La Cité du Cinéma à Saint-Denis, qui a accueilli certains tournages nécessitant des environnements aquatiques.

Il s'avère que les influences de l'innovation s'étendent jusqu'au grand public. Après avoir grandement été critiqué sur l'impact énergétique du film Avatar qui lui-même critique les répercussions environnementales de notre société, James Cameron a corrigé le tir sur le second opus. L'objectif étant de réaliser un film zéro carbone. Pour cela plusieurs méthodes ont été proposées. Dans le cadre des innovations techniques apportées par le film, le principal défi écologique concerne l'alimentation des ordinateurs qui retranscrivent en temps réel la *motion capture*. Le réalisateur a donc proposé l'utilisation de panneaux solaires pour une énergie plus propre. "Nous avons établi très tôt quelle serait la quantité d'énergie nécessaire et, à la suite de ces études, nous avons fait installer un mégawatt de panneaux solaires sur le toit de notre studio. Non seulement ils ont fourni l'énergie nécessaire pour tous nos ordinateurs et nos serveurs, mais nous avons obtenu en prime un surplus que nous avons pu vendre aux Manhattan Beach Studios". Le grand public devient un groupe de pression et donc un facteur d'innovation.

Ce facteur met en évidence une limite à l'environnement à l'innovation. Il sera donc pertinent d'analyser en détail ces éléments limitants dans l'innovation sous-marine au sein des productions cinématographiques.

¹⁶ Le CNC est un organisme qui a pour but principal de financer les films en France. Il dispose d'un budget de 711 millions d'euros pour 2023. (*Le budget du CNC en légère hausse en 2023*, Box office Pro, 2022)

¹⁷ Bassin artificiel

C. Les limites environnemental de l'innovation dans le cinéma sous-marin

La production cinématographique a un impact environnemental important. Selon BpiFrance, une année de production équivaut à 820 000 vols Paris-New York. Le secteur audiovisuel implique l'utilisation de nombreux équipements électroniques, tels que des caméras, des éclairages, des ordinateurs, des serveurs de stockage, des équipements de son, etc. Ces équipements consomment de l'électricité et contribuent à l'augmentation de la demande énergétique, ce qui peut avoir un impact sur l'environnement en augmentant la production de gaz à effet de serre et la pollution atmosphérique. Les déplacements des équipes de tournage peuvent également avoir des conséquences environnementales importantes, en raison de la consommation de carburant des véhicules. La production audiovisuelle génère également une quantité importante de déchets, tels que des câbles, des batteries, des équipements électroniques obsolètes ou cassés, des décors, des costumes, etc. Ces déchets doivent être éliminés de manière appropriée pour éviter leur accumulation dans les décharges et leur impact sur l'environnement. Par ailleurs, cela peut avoir un impact sur les écosystèmes locaux, notamment en raison de la modification des paysages et de l'utilisation de ressources naturelles pour la construction de décors.

Les studios sous-marins de production cinématographique, tels que Baja Studios aux États-Unis, posent plusieurs risques écologiques non négligeables. L'utilisation massive d'eau pour recréer des environnements marins peut engendrer un gaspillage considérable et nécessiter des traitements chimiques susceptibles de polluer l'eau une fois rejetée dans l'environnement. De plus, les effets spéciaux impliquant des explosions, des vagues artificielles ou des substances chimiques peuvent générer des déchets toxiques difficiles à gérer. La production de décors et d'accessoires sous-marins entraîne aussi une surconsommation de matériaux, parfois non recyclables, qui alourdissent l'empreinte écologique de ces studios. Enfin, leur consommation énergétique, notamment pour maintenir la température et la qualité de l'eau, contribue à des émissions de CO₂ importantes.

La particularité de la production sous-marine en milieu naturel, se concentre sur la fragilité des écosystèmes marins. L'environnement sous-marin est caractérisé par une biodiversité importante, avec de nombreuses espèces endémiques et une interdépendance complexe entre les différents organismes. L'association WWF vouée à la protection de l'environnement et au développement durable explique que toute perturbation de cet équilibre peut avoir des conséquences en cascade sur l'ensemble de l'écosystème. Par exemple, la méditerranée est fragilisée par la destruction de la posidonie dû à l'ancrage des bateaux. Ces milieux sont caractérisés par des processus écologiques lents et des capacités de récupération limitées. Les impacts anthropiques sur ces écosystèmes peuvent donc avoir des effets à long terme qui peuvent être difficiles à inverser. Les équipes de tournage doivent transporter des équipements lourds, tels que des caméras, des lumières et des boîtiers étanches, qui peuvent avoir un impact sur les écosystèmes marins lors de leur manipulation ou de leur déplacement.

Tout d'abord, les plongées répétées des cinéastes pour obtenir les prises de vue souhaitées peuvent causer des perturbations au niveau des espèces animales locales. Les mouvements et le bruit associés aux plongées sont susceptibles de transformer les comportements des animaux et de les empêcher de se nourrir, de se reposer ou de se reproduire normalement. Cela peut perturber les comportements naturels des animaux et même causer des blessures ou la mort d'animaux. Les résultats d'une étude menée dans le parc marin de la Grande Barrière de Corail (Australie) ont montré que les impacts varient selon les sites de plongée et les plongeurs individuels. Des facteurs de risque individuels et situationnels ont été identifiés grâce à une modélisation linéaire. Les plongeurs ont été suivis pendant 10 à 15 minutes et tous les contacts et dommages causés aux coraux ont été enregistrés, ainsi que des informations sur le site de plongée, l'expérience de plongée, le genre et l'utilisation d'un appareil photo sous-marin. Sur les 214 plongeurs suivis, 15% ont endommagé ou cassé des coraux, principalement par des coups de palmes. Les dommages étaient le plus souvent causés par des plongeurs masculins, dans les 10 premières minutes de la plongée, sur des sites avec une grande abondance de coraux ramifiés. Les photographes sous-marins spécialisés ont causé en moyenne plus de dommages (1,6 casses par 10 min) que les plongeurs sans appareil photo (0,3 casses par 10 min). Pour explorer plus en amont les effets du sexe et de l'utilisation d'appareils

photo, les chercheurs ont distribué des appareils photo sous-marins à usage unique à des plongeurs. Cela n'a pas influencé le comportement des plongeurs en termes de dommages causés. Les plongeurs masculins ont causé significativement plus de dommages que les plongeuses (1,4 casses par 15 min contre 0,3 casses par 15 min). Les résultats ont montré que la variabilité des impacts causés par les plongeurs reflète les différences de comportement sous-marin entre les photographes spécialisés et non spécialisés, et les plongeurs masculins et féminins.

Il est important de relativiser les choses car les cinéastes du monde sous-marin sont généralement les premiers sensibles des enjeux environnementaux. Jean-Charles Granjon calcule son bilan carbone depuis de nombreuses années, Manuel Ano et Thibault Rauby se référant à des pratiques de plongeurs responsables. Même à plus grande échelle, James Cameron s'adapte à l'énergie verte pour Avatar. Ces acteurs sont généralement des précurseurs pour l'industrie audiovisuelle. Denis Lagrange, réalisateur et chef opérateur sous-marin, relativise l'impact écologique de son métier : "Tout est lié : la sécurité, le respect de l'environnement, la qualité de vos images..." Chaque détail est pensé, du choix du décor à l'ancrage du bateau pour préserver le fond marin. "Mon bateau est contrôlé très régulièrement afin qu'aucune fuite d'huile ne vienne polluer l'eau". Il mise aussi sur l'innovation avec "un système de fond vert rétro éclairé par un mur de LED afin d'économiser considérablement la consommation d'électricité". Pour lui, ce n'est pas l'image sous-marine qui pose problème, mais la logistique, désormais mieux maîtrisée.

De plus, La production audiovisuelle joue un rôle essentiel dans la sensibilisation du public au monde sous-marin. En montrant des images et des vidéos attrayantes et éducatives, ces productions permettent au public de découvrir des écosystèmes marins uniques et souvent méconnus. Les scientifiques apportent leur expertise sur les océans et les écosystèmes marins, tandis que les cinéastes maîtrisent les techniques visuelles pour capturer des informations clefs. Cette synergie permet d'explorer des zones inaccessibles, comme en témoignent les expéditions Gombessa.

CONCLUSION

En conclusion, la production audiovisuelle joue un rôle majeur dans le développement des innovations de l'imagerie sous-marine. Elles participent à influencer les innovations par des facteurs sociaux mais aussi, à l'évidence, économiques. La production audiovisuelle est composée à la fois de concepteurs et d'utilisateurs. Elles interviennent à différentes étapes du processus, participant à la création et à la mise en œuvre de projets nécessitant des technologies sous-marines spécifiques. Elles sont également responsables de la diffusion des innovations à travers leurs productions et la commercialisation des technologies et les formations mise en place

Cette participation à l'innovation est bénéfique. Cela permet de mieux sensibiliser le public à l'importance de préserver les milieux aquatiques, stimuler l'économie et développer des produits capables de repousser les limites de ce que nous connaissons du monde. Malgré cela, il faudra rester prudent sur le développement de ces produits car la production audiovisuelle a un impact environnemental notable. Il est néanmoins possible de distinguer deux grandes catégories de tournage sous-marin : les prises de vue en milieu naturel et celles réalisées en bassin artificiel. Bien que les environnements naturels soient plus sensibles et vulnérables, ils sont en général abordés avec précaution et respect par les équipes de tournage. À l'inverse, les productions en bassin artificiel, bien qu'offrant un meilleur contrôle des conditions de tournage, peuvent engendrer une empreinte carbone nettement plus élevée, notamment en raison des infrastructures techniques mobilisées et de la consommation énergétique qu'elles impliquent.

Cependant, la production audiovisuelle n'est pas la seule force d'influence dans l'innovation de l'imagerie sous-marine. Les scientifiques et les ingénieurs jouent un rôle crucial, apportant des connaissances et des perspectives uniques dans le processus d'innovation. La collaboration entre différents acteurs aux compétences variées est essentielle pour trouver des solutions innovantes.

Le grand public peut également exercer une influence sur l'innovation, en tant que groupe de pression ou consommateur exigeant des produits plus durables et responsables.

Les organismes publics et privés jouent également un rôle déterminant dans le processus d'innovation, en agissant sur les dynamiques économiques. En fonction de leurs priorités, de leurs politiques et de leurs investissements, ils peuvent orienter le développement technologique.

Le choix de se concentrer sur certains domaines spécifiques de l'utilisation des images sous-marines entraîne des perspectives mesurées dans le mémoire. Il est important de reconnaître que l'orientation majoritairement occidentale dans cet écrit peut introduire un certain biais dans l'analyse. Cela peut limiter la compréhension des approches et des développements réalisés dans d'autres régions du monde, qui peuvent avoir des contextes, des enjeux et des perspectives différentes.

ANNEXES

Annexe 1 : Entretien qualitatif (Mémoire de fin d'étude Master Transmedia Science Po Grenoble 2022-2023 par Rémi METIN)

https://docs.google.com/forms/d/1FLtlvQR1r1XqNk3L8WmHrJN5NdRGMM3Xby8gu_DlZRY/edit

Une première série d'entretien a été réalisée puis celui-ci a été restructuré l'entretien afin d'apporter une analyse plus approfondie de l'étude présentée. L'entretien s'est déroulé à travers un questionnaire avec une majorité de réponses libres. Le but étant de dévoiler certains enjeux qui aurait pu être omis dans la partie précédente. Cela permet aussi d'assurer une objectivité du questionnaire sans diriger le témoinnant dans une réponse forcée. C'est aussi pour cette raison que le questionnaire a évolué dans une démarche adaptative.

Première version de l'entretien :

Le premier entretien a été réalisé le 11 mai 2023 avec Guillaume Mazille. Mr Mazille est un cinéaste et photographe animalier. Il a commencé en tant que caméraman pour la télévision puis s'est fait connaître pour ses travaux photographiques. En 2016, Il signe une émission le mettant en scène, lui et ses familles, au quatre coin du monde afin de photographier les animaux les plus surprenants de la planète. Aujourd'hui il travaille sur la réalisation d'un documentaire animalier.

Questions réponse :

Avez-vous des relations avec les industries spécialisées créant des produits lié à l'imagerie sous-marine (Caisson, Lumières, accessoires,...) ?

“Oui”

Avez-vous une quelconque influence sur la conception de leurs produits ?

A la suite de cette question Guillaume Mazille n'a pas su répondre mais à donner des informations clefs pour les autres questions : "J'ai créé un caisson étanche pour caméra 360°. (...) Boxfish, Nouvelle-Zélande (...) vendaient un caisson étanche très cher et qui ne marchait pas. D'où l'idée de créer mon propre matériel".

Guillaume Mazille a évidemment fait appel à des entreprises pour construire la pièce.

Avez-vous participé au développement d'un outil pour un projet audiovisuel sous-marin ? Si oui, citer des exemples.

"Une version du caisson a été développée pour l'expédition Gombessa V. Des modifications spécifiques pour répondre à leur besoin (grande profondeur étanche à 13 bars, reports de commandes accessible depuis l'extérieur du caisson)".

Ce développement à été réalisé avec l'entreprise Subspace picture.

Avez vous des techniques de production propre à la production ou la post-production sous-marine ? Exemples ?

"Oui, je développe régulièrement du matériel en fonction des prises de vue que j'ai à effectuer".

Est-ce que d'une quelconque manière vous former ou partager votre expérience avec d'autres professionnels ou futurs professionnels de la production audiovisuelle sous-marine ?

"Oui. Ça dépend, pas tout non plus. Je prend régulièrement des stagiaires".

Avez-vous des pratiques/techniques/technologies pour la préservation de l'environnement lorsque vous travaillez en milieu naturel ?

“Nous essayons d'éviter d'impacter le milieu et d'être le moins dérangeant possible pour les espèces”

Le deuxième entretien a été réalisé le 12 mai 2023 avec Thibault Rauby. Il est plongeur spécialisé en haut profonde et assistant photographe pour Laurent Ballesta. Il fait partie du programme d'expédition Gombessa qui participe à des documentaires aquatiques. Il est également cofondateur du club de plongée technique Kraken Plongée avec sa compagne Justine Rauby.

Avez-vous des relations avec les industries spécialisées créant des produits liés à l'imagerie sous-marine (Caisson, Lumières, accessoires....) ?

“Oui”

Avez-vous une quelconque influence sur la conception de leurs produits ?

“Non, en général on arrive dans le processus ensuite, lors de la mise en œuvre, malheureusement. Car à ce moment il est trop tard pour faire les modifications sur le produit”.

Avez-vous participé au développement d'un outil pour un projet audiovisuel sous-marin ? Si oui, citer des exemples.

“On a plusieurs fois travaillé sur l'ajustement du matériel pour le rendre efficace dans l'eau : équilibrage, prise en main, etc. La double caméra du documentaire Gombessa, Coelacanth. L'arche d'action cam pour le Bullet time shot des requins gris”.

Avez-vous des techniques de production propres à la production ou la post-production sous-marine ? Exemples ?

“Non”

Est-ce que d'une quelconque manière vous former ou partager votre expérience avec d'autres professionnels ou futurs professionnels de la production audiovisuelle sous-marine ?

“Oui, nous formons les acteurs, opérateurs prise de vie, machiniste à la plongée professionnelle (formations classe B mention 1, 2 et 3) et à l'usage des recycleurs”.

Avez-vous des pratiques/techniques/technologies pour la préservation de l'environnement lorsque vous travaillez en milieu naturel ?

“Pas particulièrement si ce n'est comme dans notre activité d'école de plongée, on essaie de ne pas trop impacter le milieu (ancrage notamment)”.

Le troisième entretien à été réalisé avec Manuel Ano, fondateur de l'entreprise ProdAqua le 17 mai 2023. Cette société est spécialisée dans la production audiovisuelle sous-marine en France et au Québec. Il travaille pour différentes entreprises et associations à la demande d'images sous-marine. Cela peut varier énormément, en passant du corporat de la publicité et du documentaire. Il propose également ses propres projets audiovisuels et se démarque par une sensibilité écologique très forte.

Avez-vous des relations avec les industries spécialisées créant des produits lié à l'imagerie sous-marine (Caisson, Lumières, accessoires....) ?

“Oui”

Avez-vous une quelconque influence sur la conception de leurs produits ?

“Aucune influence. Par contre, déjà émis des suggestions à des fabricants locaux”.

Avez-vous participé au développement d'un outil pour un projet audiovisuel sous-marin ? Si oui, citer des exemples.

“Non, excepté pour des outils internes et pour ma propre utilisation (par exemple, conception de trépieds sous-marins”.

Avez vous des techniques de production propre à la production ou la post-production sous-marine ? Exemples ?

“Oui. Par exemple:

- Adapter son éclairage sous-marin par rapport au type de milieu et moment de la journée.
- Utilisation d'un recycleur de plongée afin de ne pas faire de bulles et donc de ne pas apeurer les espèces aquatiques”.

Est-ce que d'une quelconque manière vous former ou partager votre expérience avec d'autres professionnels ou futurs professionnels de la production audiovisuelle sous-marine ?

“Oui. Avec stagiaires et collègues du milieu. Il s'agit d'un petit milieu et la collaboration est la bienvenue”.

Avez-vous des pratiques/techniques/technologies pour la préservation de l'environnement lorsque vous travaillez en milieu naturel ?

“Oui. Par exemple:

- Désinfection du matériel de plongée
- Filet pour ramassages de déchets
- Des techniques de plongée ne perturbent pas l'écosystème”.

Deuxième version de l'entretien :

Cet entretien à été réalisé avec Jean-Charles Granjon, fondateur de l'entreprise Bluearth Studio et Bluearth Production le 27 mai 2023. Il réalise et produit ses propres documentaires et participe aux tournages nécessitant des images sous-marines. On se rend rapidement compte que l'imagerie sous-marine est omniprésente. L'équipe de Bluearth Studio intervient donc une bonne partie des long-métrage français mais également international notamment avec le film *The Son* sorti cette année.

Avez-vous des relations avec les industries spécialisées créant des produits lié à l'imagerie sous-marine (Caisson, Lumières, accessoires....) ?

“Oui”

Avez-vous une quelconque influence sur la conception de leurs produits ?

“Nous développons du matériel en étroite collaboration avec Subspace Pictures”.

Dans quelle étape du processus d'innovation intervenez-vous ?

Recherche & développement

Avez-vous participé au développement d'un outil pour un projet audiovisuel sous-marin ? Si oui, citer des exemples.

“Pour pratiquement chaque tournage nous développons une technologie destinée au tournage sous-marin. Avec Subspace Pictures, nous avons développé un caisson compact pour avoir plus de mobilité lors du tournage du film *Te vaanui, l'odyssée d'Ismaël*”.

“Nous avons également commandé un caisson pour notre caméra CANON C200”

“Il y a toujours des problèmes à régler. Sur la FS700 par exemple nous avons dû gérer un problème de connectique”

“Nous avons réalisé une BiteCAM avec l'entreprise Callisto c'est-à-dire une caméra permettant de résister aux morsure des requins”. “L'entreprise à réalisé un

caisson pour mettre deux gopro afin d'avoir une vue 360 sur la mâchoire du requin”.

“Toujours avec l'équipe de Subspace Pictures nous avons participé au développement de leurs derniers caissons. Nous nous sommes rendu compte de l'intérêt d'un caisson multi-caméra pour pouvoir répondre aux l'augmentation de la création de nouvelles caméras pour la fiction et le documentaire”. “Trois caissons ont été développés avant de créer la version la plus adaptée”.

“Bluearth Studio s'est intéressé à la Bioluminescence de certaines espèces sous-marines pour l'exposition Sensory odyssey (2022) au Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris. Pour cela l'équipe à dû utiliser une lampe UV d'une longueur d'onde de la catégorie des UV-A (entre 380 et 450 nanomètre) pour transmettre des lumière UV sans endommager la vie marine. L'équipe disposait de 150 000 Lumens environ pour éclairer la vie marine sous un autre jour. Ce travail a pu être réalisé grâce à notre collaboration avec l'entreprise Callisto. Nous avons renouvelé l'expérience cette année pour un tournage en Arabie Saoudite”.

“Il faut savoir que Subspace Pictures travaille avec différents chefs opérateurs qui apportent une expertise et des conseils de conception. J'ai moi même insisté pour avoir une entrée pour un seal check sur les caissons”.

Est-ce que d'une quelconque manière vous former ou partager votre expérience avec d'autres professionnels ou futurs professionnels de la production audiovisuelle sous-marine ?

“Oui. Nous accueillons régulièrement des stagiaires dans l'entreprise. Cette année nous proposons une formation à la prise de vue sous-marine pour les professionnels du cinéma et de l'audiovisuel”. Nous avons trois types de formation dédiés aux assistants caméra, aux chef opérateurs et aux régisseurs”.

Pensez-vous que votre intervention à des répercussions, positives ou négatives, sur l'innovation (notamment dans le domaine de l'environnement) ? Si oui expliciter.

“Oui. Nous avons toujours été dans une démarche environnementale. Nous calculons notre bilan carbone et nous mettons en priorité la fragilité sous-marine lors de tournage en milieu naturel. Ayant tourné pour de nombreux films documentaire je suis conscient que la production audiovisuelle a également un impact négatif sur les milieux marins en engendrant du tourisme de masse sur le site présenté. C'est pourquoi nous évitons de dévoiler les zones de tournages”.

Le dernier entretien à été réalisé le 7 juin 2023 avec Aurélien Le Calvez, un chef opérateur sous-marin. Il est membre d'une société spécialisée dans la prise de vues sous-marine pour tout type de tournage: Cinéma, Publicité, Clip,...

Avez-vous des relations avec les industries spécialisées créant des produits lié à l'imagerie sous-marine (Caisson, Lumières, accessoires,...) ?

“Oui”

Avez-vous une quelconque influence sur la conception de leurs produits ?

“Oui”

Dans quelle étape du processus d'innovation intervenez-vous ?

“Recherche & développement”

Avez-vous participé au développement d'un outil pour un projet audiovisuel sous-marin ? Si oui, citer des exemples.

“Splash Bag et tubes pour Astera”. “Travail en collaboration avec Subspace (Pictures) depuis 10 ans environ”.

Est-ce que d'une quelconque manière vous former ou partager votre expérience avec d'autres professionnels ou futurs professionnels de la production audiovisuelle sous-marine ?

“Oui. Bien sûr”. La société propose notamment des workshop avec l'association des assistants opérateurs associés.

Pensez-vous que votre intervention à des répercussions, positives ou négatives, sur l'innovation (notamment dans le domaine de l'environnement) ? Si oui expliciter.

“Oui positive, mais pas pour l'environnement ...” A noter que l'entreprise travaille majoritairement en milieu naturel.

Annexe 2 : Complément de recherche non utilisé

En mai 1969, un événement historique s'est produit : la première vidéo enregistrée avec succès à partir d'un sous-marin non militaire. L'objectif de cette vidéo était de documenter l'inspection et l'état d'une unité de stockage de pétrole offshore située à 40 mètres de profondeur, au large de la côte de Louisiane (*Harcourt Brace Jovanovich*, *Petroleum Engineer International*, Volume 46, Numéros 1 à 6, 1974). L'industrie pétrolière investit énormément dans la recherche pour capturer des images sous-marines. Jacques Yves Cousteau a notamment financé son navire la Calypso en faisant de la prospection pétrolière

En 1893, Louis Boutan, un professeur de zoologie à la Sorbonne réalise les premiers portraits sous-marins. Il mène des recherches en biologie marine depuis 1884 au Laboratoire Arago de Banyuls-sur-Mer. Avec l'aide de son frère, ils réalisent le premier caisson en cuivre pour appareil photos.

En 1942, Hans Hass, pionnier de la plongée sous-marine, réalise *Pirsch unter Wasser* (en français, "À l'affût sous l'eau"). Ce court-métrage de 16 minutes, produit par Universum Film AG, montre pour la première fois des scènes de chasse sous-marine filmées avec une caméra 16 mm dans un boîtier étanche fait maison.

Edward Lai, fondateur et directeur général de Nauticam, a passé 20 ans à concevoir et fabriquer des moules de précision pour les secteurs de l'électronique, de l'automobile et de la santé. Ancien président du Hong Kong Mold and Die Council (1993-2003), il a fondé Nauticam en 2008 pour créer des caissons sous-marins innovants, s'appuyant sur son expertise en ingénierie, moulage par injection plastique. A l'instar des optiques nikonos nauticam propose des optiques étanches. Cependant celle-ci viennent s'ajouter à l'optique déjà présente dans le caisson pour transformer une optique standard en macro.

Dès 2013, la société 360Heros Inc., spécialisée dans la technologie vidéo à 360 degrés, dévoile le 360Abyss. un système de caméra sous-marine capable de

filmer des panoramas à 360 degrés grâce à des caméras GoPro. Cet appareil compact permet de fixer 6 caméra gopro hero 3 et leurs caissons respectif.

En 2022, la société BioQuest Studios a reçu un Emmy, *Outstanding Nature Documentary* pour *Comme un poisson dans son récif*. Cette société de production audiovisuelle est particulièrement intéressante car elle est spécialisée dans la prise de vue sous-marine macroscopique. La société utilise des aquariums accompagnés de slider électronique à déplacement très précis pour travailler sur des aquariums. L'équipe de production dispose également de microscopes adaptable aux caméras modernes pour approcher le spectateur au plus près du monde marin. En effet il existe des microscopiques de la marque d'optique Zeiss capable d'accueillir notamment les caméras RED avec une bague d'adaptation qui les relie.

Rappelons tout de même que le deuxième record de plongée en eaux profondes est détenu par le réalisateur canadien James Cameron. En 2012, il plongé à une profondeur de 10 908 mètres dans la fosse des Mariannes, à bord du sous-marin Deepsea Challenger (*James Cameron atteint le fond de la fosse des Mariannes*, Le Monde, 2012).

Il existe un verrouillage technique dans le cinéma. Le Splash Bag par exemple à été orienté dans son développement par une volonté de faire des images mi-air mi-eau. Le contexte technologique formate également les perspectives adoptées. Les innovations sous-marines restent très spécifiques et sont encore en plein développement, c'est notamment par ce contexte que des entreprises comme Subspace vont se reposer sur les demandes des productions audiovisuelles sous-marines pour innover. Aux Etats Unis le contexte technologique des innovations pour l'imagerie sous-marine est plus populaire. Il existe une multitude d'entreprises créant du matériel sous-marins. Certaines sociétés de production audiovisuelle sous-marine sont très spécialisées et n'hésitent pas à interagir avec les industries. Il est vrai que la production cinématographique non spécialisée dans le sous-marin est en réalité un facteur d'influence faible pour l'innovation des imageries aquatiques. Seulement certaines productions guidées par des

passionnés comme Howard Hall parviennent à réellement créer un lien avec les industries qui développent ce type de matériel.

Si nous reprenons le cas de James Cameron, celui-ci participe vivement à la diffusion de sa technologie. Étant à l'origine des technologies actuelles en cinéma 3D, ils fondent différentes entreprises tel que Digital Domain pour les effets spéciaux et Cameron Pace Group développent des caméras et logiciels 3D. Avec le succès d' Avatar son entreprise Digital Domain devient un modèle de la tech et participe aux développements de nombreux films pour Hollywoods. (*Inside the Scene-Stealing 3-D Technology Behind James Cameron's Avatar*, Popular Science, 2009) A travers nos entretiens nous avons pu constater que ces innovations ont tendance à se partager entre cinéastes et photographes.