



Caractéristiques et perception des ambiances sous-marines au cinéma

Dimitri COUET

Mémoire de Master 2 - Spécialité Son

Paris, le 30 Juin 2025

Directeur de mémoire interne : Michel CASANG

Directeur de mémoire externe : Jean-Dominique POLACK

Examineur : Thibault NOIROT

Référent académique : Laurent MILLOT

Coordinateur des mémoires : Corsin VOGEL

RÉSUMÉ

Ce travail de recherche vise à comprendre quelles sont les caractéristiques des ambiances sous-marines au cinéma. En particulier, l'objectif est de savoir quels sont les effets des sons subaquatiques sur les spectateurs. Pour y arriver, cette étude va être divisée en trois grandes parties distinctes.

La première partie s'appuie sur la littérature scientifique pour décrire l'évolution des ondes dans le milieu aquatique, avant de comprendre quels sont les sons qui composent réellement les paysages sonores sous-marins. Nous ferons des analyses filmiques pour comprendre les codes des ambiances sous-marines dans le cinéma et voir comment le son est utilisé dans ce contexte.

Ensuite, une seconde partie vise à expliquer l'expérience mise en place dans laquelle des participants vont devoir mixer des ambiances sous-marines de plusieurs extraits de films en fonction d'adjectifs qualificatifs. Cette partie de l'étude montre également comment faire de la prise de sons sous-marine et comment les bandes sonores des extraits choisis ont été reconstruites.

Enfin, la dernière partie est consacrée aux résultats de l'expérience et aux interprétations qu'il est possible de donner. Cette dernière étape a montré quels ont été les choix des participants en fonction de leurs profils (ingénieurs du son, cinéphiles, plongeurs ou autres) et de leur goût, mais aussi de comprendre quelles émotions les sons des ambiances sous-marines peuvent provoquer. En analysant les niveaux des *stems* des différents extraits de films en fonction des adjectifs, il nous a été possible de comprendre plus en détail les rôles que peuvent avoir les sons dans les ambiances sous-marines.

* * *

Mots-clés : perception subaquatique ; propagation ; acoustique sous-marine ; océanographie ; hydrophone ; paysage sonore, ambiances sous-marines

ABSTRACT

This research aims at understanding the features of the submarine soundscape in cinema. In particular, the goal is to be able to know what the effects of underwater sounds on spectators are. To achieve this, this study will be divided into three main clearly defined parts.

The first part relies on scientific publications to describe the evolution of waves in the subaquatic environment, in order to understand what the sounds in submarine soundscapes are. We will conduct some movie analyses to understand the codes of underwater ambiances in cinema and see how sound is used in this context.

Then, a second part aims at explaining the experiment set up in which participants will have to mix submarine soundscapes from a few movie clips based on adjectives. This part of the study also shows how to record sounds underwater and how the sound design of the extracts was made.

Finally, the last part is dedicated to the results of the experiments and the interpretations that are possible to make. This last step has shown what the choices of the participants were, based on their profiles (sound engineer, cinephile, divers or others) and their tastes, but also helps to understand which emotions the sound of the submarine soundscape can make one feel. By analyzing the level of stems in the different clips in relation to the adjectives, we gained a more precise understanding of the role that sounds can play in submarine soundscapes.

* * *

Keywords : underwater perception; propagation ; underwater acoustics ; oceanography ; hydrophone ; soundscape ; submarine soundscape

REMERCIEMENTS

À Jean-Dominique Polack pour sa pertinence et sa rigueur qui ont su me guider pour trouver les bonnes références scientifiques de ce projet et à Michel Casang pour sa disponibilité malgré des problèmes de santé.

À Corsin Vogel pour ses retours, à Florent Fajole pour sa précieuse aide documentaire et à Franck Jouanny pour avoir réparé le transport de l'auditorium, facilitant l'expérience de mixage à une semaine de son commencement.

À Franck Gillardeaux pour ces conseils avisés qui ont su m'orienter au début de ma recherche et à Caroline Christaens pour avoir partagé avec moi son expérience de la prise de son sous-marine.

Aux participants de la PPM pour leur temps et leur implication qui sont venus se prêter à l'exercice sans forcément savoir où ils mettaient les pieds.

À Tim, Léo et Benj pour leur compagnie et leur humour inégalable, sans qui ces journées d'écriture et ces pauses avec la *team babyfoot* auraient rendu beaucoup plus lourde et difficile cette période.

À grand-papa pour m'avoir conduit à travers tout le Valais contre vents et marées et à grand-maman pour ses talents de cuisinière sans qui ces aventures n'auraient pas eu la même saveur et auraient été beaucoup plus éprouvantes.

À ma *famille*, sans qui rien de tout cela n'aurait été possible et qui a depuis le début de ma vie participé au fait que je m'épanouisse dans celle-ci.

* * *

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ

ABSTRACT

REMERCIEMENTS

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION

PARTIE I – Propriétés acoustiques du milieu sous-marin et ambiances sous-marines dans l’histoire du cinéma

1 – Propriétés physiques et perception subaquatiques

1.1. – Ondes acoustiques dans l’eau

- 1.1.1 – Propriété du milieu : température, salinité, pression
- 1.1.2 – densité et stratification de l’océan
- 1.1.3 – Ondes acoustiques

1.2 – Perception sonore subaquatique – le son dans la mer

- 1.2.1 – Dynamique : vitesse de propagation du son
- 1.2.2 – Spectre perçu
- 1.2.3 – Spatialisation et localisation

2 – Définition d’une ambiance sous-marine

2.1 - Définition d’une ambiance

- 2.1.1 - La notion de paysage sonore
- 2.1.2 - Lien entre paysage sonore et écologie acoustique

2.2 - Types de sons qui constituent les ambiances sous-marines

- 2.2.1 – Bruit ambiant et géophonie
- 2.2.2 – Biophonie
- 2.2.3 - activités humaines ou anthropophonie
- 2.2.4 - considérations acoustiques

2.3 - Caractérisation du paysage sonore et des émotions

- 2.3.1 - Catégorisation et langage par opposition
- 2.3.2 - Catégorisation sémantique
- 2.3.3 - Catégorisation prototypique

3 – Analyse des caractéristiques des ambiances sous-marines dans différents genres cinématographiques en fonction de l’intention artistique

3.1 – Ambiances sous-marines réalistes dans le documentaire

- 3.1.1 – *Le Monde du silence*, Jacques-Yves Cousteau et Louis Malle (1956)
- 3.1.2 – *La planète bleue*, Andy Byatt et Alastair Fothergill (2003)
- 3.1.3 – *Océan*, Jacques Perrin et Jacques Cluzaud (2010)
- 3.1.4 - Conclusion sur les ambiances sous-marines dans le documentaire

3.2 – Ambiances sous-marines dans le cinéma d’animation

- 3.2.1 – *La petite sirène*, John Musker et Ron Clements (1989)
- 3.2.2 – *Le monde de Nemo*, Andrew Stanton (2003)
- 3.2.3 - *Ponyo sur la falaise*, Hayao Miyazaki (2008)

3.2.4 - Conclusion sur les ambiances sous-marines dans l'animation

3.3 – Ambiances sous-marines dans les films de fiction

3.3.1 – *Le grand bleu*, Luc Besson (1988)

3.3.2 – *Le chant du loup*, Antonin Baudry (2019)

3.3.3 – *Avatar 2 : la voie de l'eau*, James Cameron (2022)

3.3.4 - Conclusion sur les ambiances sous-marines dans la fiction

3.4 – Comparaison des genres et résumé

PARTIE II – Test expérimental : création d'ambiances sous-marines de fiction au cinéma

1 – Contexte

1.1 – Analyse et conséquence des analyses filmiques

1.1.1 – Champ lexical des ambiances sous-marines

1.1.2 – Adaptation au contexte des extraits

1.2 – Questions de recherche et critères d'évaluation

1.2.1 – Quels sont les *stems* les plus utilisés ?

1.2.2 – La spatialisation est-elle en corrélation avec la sensation d'immersion ?

1.3 – Explication du protocole expérimental

1.3.1 – Composition des *stems*

1.3.2 – Choix des extraits de films utilisés

1.3.3 – Présentation du protocole aux participants

1.4 – L'expérience de mixage

1.4.1 – Installations techniques

1.4.2 – Conditions d'écoutes

1.4.3 – Relevé de données

2 – Prises de son sous-marines

2.1 – Hydrophones

2.1.1 – Principe de fonctionnement

2.1.2 – Exemples de dispositifs

2.2 – Conditions de réalisation

2.2.1 – Matériel utilisé

2.2.2 – Lieux de tournages

2.2.3 - Protocole et démarche de prise de son

2.2.4 - Hypothèses et recherche

2.3 – Résultats des prises de sons

2.3.1 – Conditions de tournages

2.3.2 – Analyse et *de-rushs* des prises de son

2.3.3 – Conclusion sur le tournage

3 – Montage son et mixage des différents stems d'ambiance

3.1 – Synthèse sonore

3.1.1 – Banque de sons *Straylight* de Kontakt

3.1.2 – Le *Sampler Alchemy* de Logic Pro

3.2 – Constitution des stems

3.2.1 – *Stems* composés des prises de son

3.2.2 – *Stems* composés de synthétiseurs

3.2.3 – *Stems* composés de banques de sons

3.2.4 - *Stems* composés de bruitages

3.3 – Construction sonore et différences entre les extraits

- 3.3.1 – Avatar 2 : la voie de l'eau
- 3.3.2 – Harry Potter 4 et la coupe de feu
- 3.3.3 – Le Grand Bleu

PARTIE III – Analyse des données de l'expérimentation

1 – Exploitation des résultats

1.1 - Traitement des données

- 1.1.1 - Linéarisation des résultats
- 1.1.2 - Choix des types de graphiques
- 1.1.3 - Séparation des données

1.2 - Mixage des différents extraits de films

- 1.2.1 - Avatar 2
- 1.2.2 - Harry Potter 4
- 1.2.3 - Le Grand Bleu

1.3 - Mixage des différents adjectifs

- 1.3.1 - Mystérieux
- 1.3.2 - Réaliste
- 1.3.3 - Calme
- 1.3.4 - Énergique

2 – Evaluation des participants

2.1 - Types de participants

2.2 - Mixages des différents profils

- 2.2.1 - Hypothèses et ressenti de l'expérience
- 2.2.2 - Écart types en fonction des profils
- 2.2.3 - Mixage moyen par profil

2.3 - Remarques des participants

- 2.3.1 - Techniques de mixage et montage son
- 2.3.2 - Remarques à propos des adjectifs

3 – Interprétation et discussion sur les caractéristiques sonores des ambiances

3.1 - Lien entre les sons et les adjectifs

- 3.1.1 - Discussion des sons dans les *stems*
- 3.1.2 - Remarques sur les habitudes des participants

3.2 - Lien entre les images et les sons

- 3.2.1 - Extrait avec une connotation plutôt lumineuse
- 3.2.2 - Extrait avec une connotation plus sombre
- 3.2.3 - Extrait ambivalent

3.3 - Possibilité d'améliorations et retours

- 3.3.1 - Élaboration des *stems* et montage son
- 3.3.2 - Accueil et temps passé avec les participants
- 3.3.3 - Choix des adjectifs

CONCLUSIONS

ANNEXES

INTRODUCTION

« *La mer est ton miroir ; tu contemples ton âme*

Dans le déroulement infini de sa lame»

Charles Baudelaire , *L'homme et la mer* , *Les Fleurs du Mal* (1857)

Si pour Baudelaire, la mer est un moyen de sonder notre intériorité, elle est selon Hugo dans *Oceano Nox* un gouffre mortel qui aspire les marins (Hugo, 1840). Ce double aspect à la fois inconnu et dangereux existe depuis le Moyen Âge, comme dans *L'Odyssée* d'Homère, dans laquelle Ulysse doit faire face à tous les écueils de la Méditerranée pendant un voyage de 20 ans. Ces légendes ont fasciné les hommes et les écrivains jusqu'à ce que les grands navigateurs du XVI^e siècle aient pu à travers leurs voyages montrer la réalité de la surface du monde des océans, laissant alors la part de mystère au subaquatique. Cette part d'inconnu va être saisie par les artistes et écrivains comme Jules Verne, auteur à la fin du XIX^e siècle de *Vingt mille lieues sous les mers*. Chef-d'œuvre incontestable, le roman explore les mythes et les fantasmes du monde sous-marin embarquant les lecteurs à bord du *Nautilus* dirigé par le capitaine Nemo. C'est à cette même époque que la science s'empare de la question des mondes sous-marins puisque la première mesure officielle de la vitesse du son dans la mer est réalisée sur le lac Léman en Suisse en 1826 par Colladon et Sturm. Bien que ce soit la première fois qu'on puisse parler d'acoustique sous-marine, on considère que c'est un autre événement majeur qui va permettre l'avènement de cette discipline. Dans la nuit du 14 au 15 avril 1912, le plus gros paquebot de l'histoire sombre, entraînant avec lui la mort d'environ 1500 personnes au large de Terre-Neuve. Le naufrage du Titanic fut un véritable choc pour le monde et amena les scientifiques à s'intéresser à l'acoustique sous-marine pour éviter de nouvelles catastrophes. La même année, Lewis Fry Richardson déposait un brevet pour un premier prototype de sonar avant l'invention officielle de ce dernier par Langevin et Boyle en 1917 à la fin de la Première Guerre mondiale, ouvrant définitivement la voie à l'acoustique sous-marine. Mais qu'en était-il donc du cinéma ?

L'avènement du 7^e art au début du XX^e siècle par les frères Lumières, véritable révolution artistique, est resté muet jusqu'à dans les années 1930. L'arrivée progressive du son au cinéma s'est faite parallèlement aux débuts de la recherche sous-marine. Étant donc aux balbutiements de cette conquête horizontale, les ingénieurs du son ont dû, pour trouver des réponses, se tourner à la fois vers le réalisme, mais aussi vers l'imaginaire et les fantasmes des mondes abyssaux. Aujourd'hui, bien que nous ayons exploré à peine plus de 5% des grandes profondeurs, nous avons une bien meilleure connaissance des sons qui se trouvent sous la surface. Cependant, le design sonore ne doit pas toujours être réaliste puisqu'un des intérêts premiers dans la fiction est de transmettre des émotions aux spectateurs.

On pourra alors se demander quels sont les éléments qui composent une bande sonore sous-marine dans la fiction au cinéma et quels sont les paramètres qui influent sur l'aspect immersif du spectateur dans le film. On essaiera alors de confronter la perception subaquatique aux artifices et illusions utilisés par le cinéma pour représenter le monde sous-marin.

Après avoir rappelé les propriétés acoustiques et la réalité physique du son dans le milieu aquatique, puis en nous appuyant sur des analyses filmiques, nous recréerons le son d'ambiances sous-marines sur des extraits de films de fictions grâce à des prises de son et de la synthèse sonore, avant de faire mixer ces extraits à des participants. Nous serons alors en mesure d'analyser et d'interpréter ces résultats pour caractériser et définir les ambiances sous-marines au cinéma.

* * *

PARTIE I – Propriétés acoustiques du milieu sous-marin et ambiances sous-marines dans l’histoire du cinéma.

1 – Propriétés physiques et perception subaquatiques

1.1. – Ondes acoustiques dans l’eau

1.1.1 – Propriété du milieu : température, salinité, pression

Afin de mieux comprendre les enjeux de la physique sous-marine et de comprendre les phénomènes physiques qui sont à l’œuvre dans ce milieu, il nous faut comprendre et définir certaines grandeurs physiques clefs.

La première grandeur est la **température**, qui est selon le dictionnaire *Le Robert* le degré de chaleur ou de froid de l’atmosphère d’un lieu. En océanographie, on parle beaucoup de la

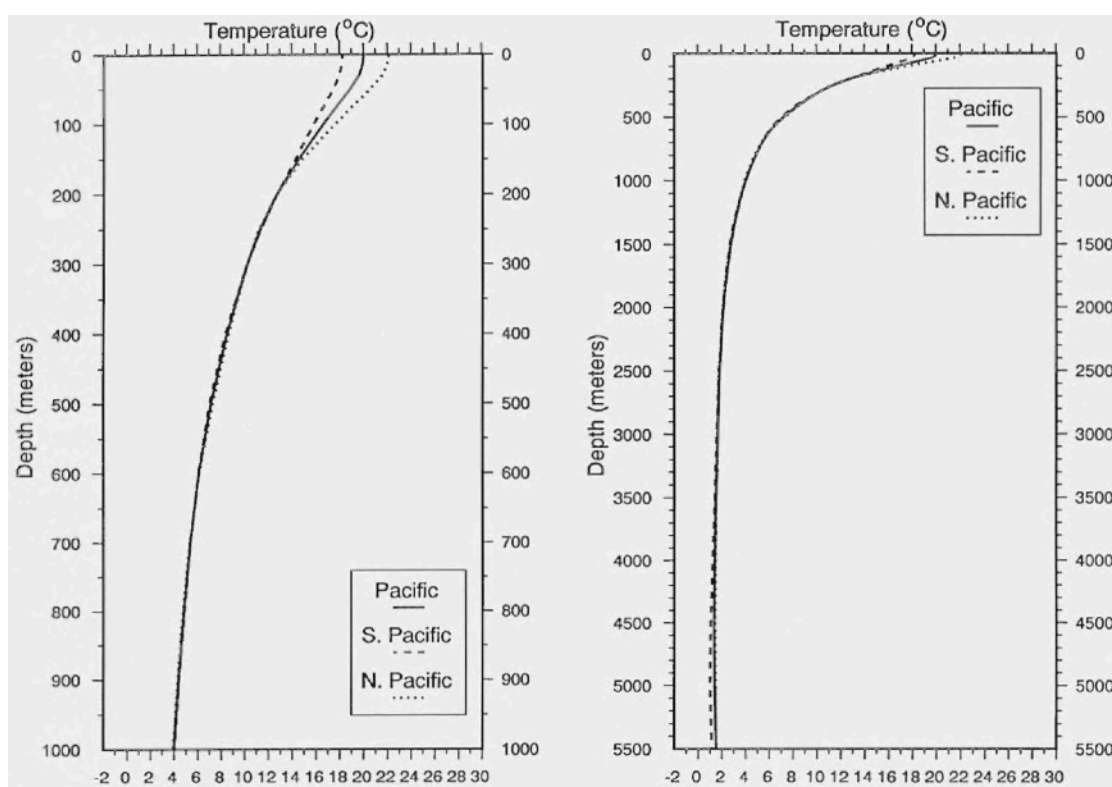


Figure 1. Evolution de la température en fonction de la profondeur dans (Levitus *et al.*, 1994)

température à la surface de la mer (*SST pour Sea Surface Temperature*) puisque ça a été l'une des premières mesures que l'on a pu faire avec les imageries satellites. Aujourd'hui, on surveille de près cette mesure parce que ce sont des échanges de chaleur entre la surface de la mer et l'air que naissent les phénomènes météorologiques. (Minnett *et al.*, 2019)

L'océan a un différentiel de température qui peut aller de 30°C à la surface près de l'équateur jusqu'à environ -2°C aux pôles. Plusieurs facteurs sont à l'origine de ces variations, notamment l'exposition à l'énergie solaire et la densité (que nous définirons par la suite). Plus l'eau est chaude, plus la densité est basse et inversement. Il existe aussi une variation de température au sein des océans due aux courants océaniques, aussi bien horizontalement que verticalement. (Gordon, 2004)

Pour acquérir des informations, l'Organisation mondiale de la météorologie (OMM) lance en 2000 le programme *ARGO*, dont le but est de déployer 3000 flotteurs à travers l'océan, pouvant aller jusqu'à 2000m de profondeur, pour qu'ils puissent fournir des données en temps réel sur la salinité et la température des océans. (Argo France)



Figure 2. Représentations des flotteurs Argo (Argo France)

Le deuxième paramètre est la **salinité** qui est la quantité de sels dissouts dans l'eau, exprimée en partie par milliers, notée aussi ‰ ou PSU (*practical salinity unit*). 1 PSU correspond à un

gramme de sel sec par kilogramme d'eau. Dans les océans et les mers ouvertes, la salinité varie en surface de 31 à 37,9 PSU. (Ifremer, 2025)

L'eau de mer est donc un mélange d'eau pure et de sels dissous et, bien que la concentration puisse changer en fonction de la pression et de la température, le pourcentage de sels présents (Chlore, Sodium, etc.) reste souvent identique dû au fait que le brassage des océans se fait à une échelle géologique et que les océans communiquent entre eux. (Le Calvé, 2002)

La salinité des océans est assez élevée près de la surface car, lors du phénomène d'évaporation de l'eau, le sel reste dans l'océan, on observe ainsi une plus grande concentration de sel dans les mers tropicales où il y a beaucoup d'évaporation ou près des pôles (dû à la formation des glaciers) tandis que les mers qui subissent plus de précipitations sont plus douces. (Gordon, 2004)

Les données récoltées par Levitus *et al.* (1994) nous permettent d'avoir un graphique de l'évolution de la salinité avec la profondeur. On observe bien une augmentation de la salinité près de la surface avec un maximum entre 100 et 150 m, puis une diminution jusqu'à atteindre une valeur constante à partir de 2500 m de profondeur.

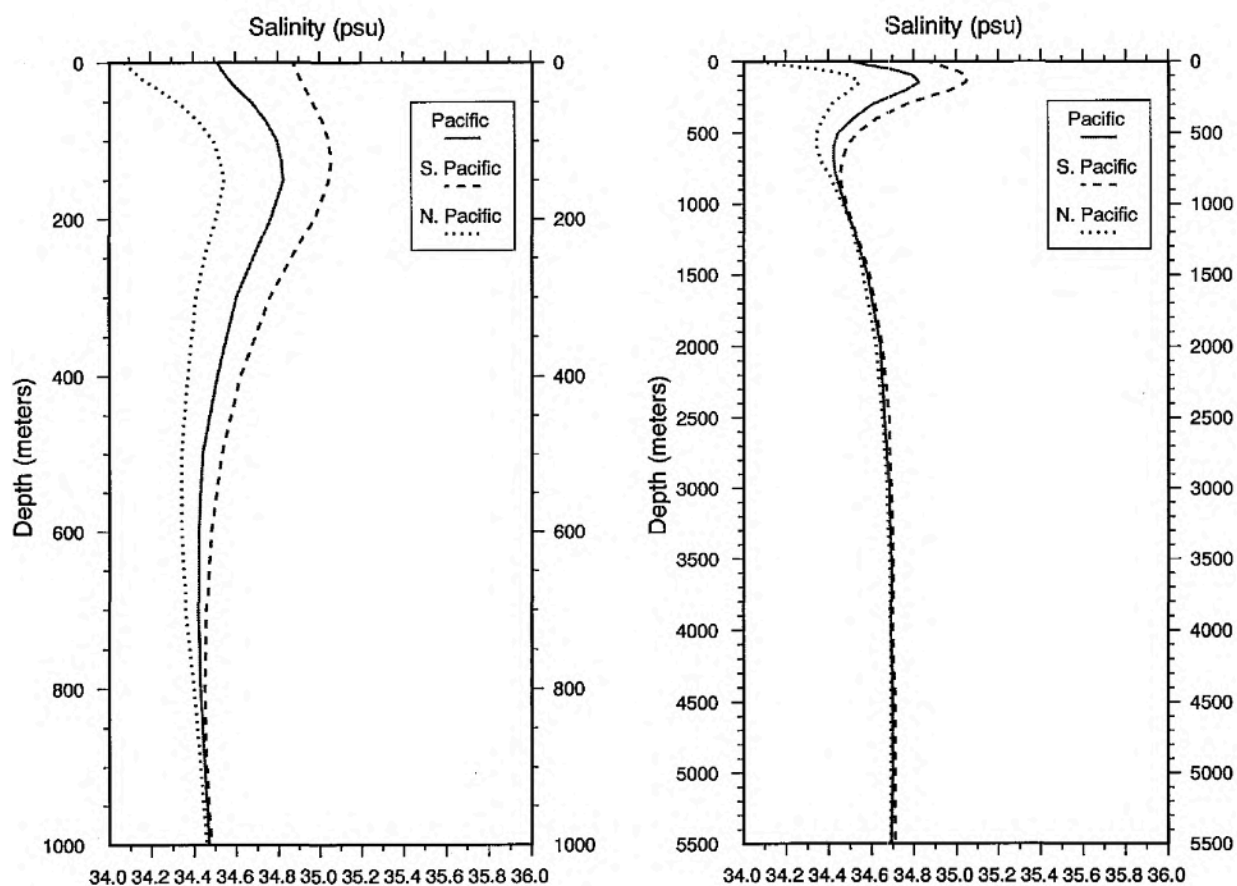


Figure 3. Evolution de la salinité en fonction de la profondeur dans (Levitus *et al.*, 1994)

Enfin, on définit la **pression** comme étant une force qui agit sur une surface donnée. En supposant qu'elle ne dépende que de l'altitude (z), on a alors l'expression :

$$dp = -\rho \cdot g \cdot dz \quad (1)$$

avec : dp : la variation de pression ;

ρ : la masse volumique en un point donné ($kg \cdot m^{-3}$) ;

g : le champ de pesanteur ou champ gravitationnel (accélération en $m \cdot s^{-2}$) ;

En prenant l'hypothèse des fluides incompressibles puisqu'ici on s'intéresse à des liquides, (1) devient :

$$P(z) - P(z_0) = -\rho \cdot g \cdot (z - z_0) \quad (2)$$

En isolant $P(z)$ et en faisant l'application numérique en prenant :

$$z = -10m$$

$$z_0 = 0m$$

$$P(z_0) = 1 \times 10^5 Pa$$

$$\rho = 1000 kg \cdot m^{-3}$$

$$g = 9,81 m \cdot s^{-2}$$

on obtient que la pression à 10 m de profondeur $P(-10) = 198100 Pa \approx 2 \times 10^5 Pa$ soit équivalente au double de la pression au niveau de la mer.

Ainsi, on peut donc légitimement approximer que tous les 10 m, l'eau exerce une pression supplémentaire équivalente à une atmosphère.

Maintenant que nous avons défini ces trois paramètres (la **température**, la **salinité** et la **pression**), nous pouvons aborder le principe de densité, qui est le plus utilisé pour comprendre l'acoustique sous-marine.

1.1.2 - densité et stratification de l'océan

On appelle **densité** le rapport entre la masse volumique d'un corps et celle d'un corps de référence. Dans le cadre de l'étude des océans, on compare la masse volumique de l'eau de mer (dépendant de la pression, de la température et de la salinité) par rapport à de l'eau distillée à 4°C. La masse volumique ou densité (utilisée de manière abusive en océanographie,

dérivée de l'anglais *density* qui signifie masse volumique) de l'eau des océans varie entre 1020 kg/m^3 et 1070 kg/m^3 alors que celle de l'eau pure est à 1000 kg/m^3 . (Le Calvé, 2002) En 1980, l'UNESCO recommande la création d'une Équation d'État internationale pour l'eau de mer ou *EOS 80* dans laquelle on retrouve que la masse volumique est fonction de la salinité S , de la température T et de la pression P telles que :

$$\rho = f(S, T^{-1}, P) \quad (\text{Copin-Montégut, 2002})$$

La densité est proportionnelle à la salinité et la pression alors qu'elle est inversement proportionnelle à la température. C'est cette dernière qui exerce une influence prépondérante sur la densité, et cela explique pourquoi les eaux de surface (qui sont globalement plus chaudes) sont moins denses. (voir la **Figure. 4**)

Avec la profondeur, il y a une rapide augmentation de la densité que l'on appelle la **pycnocline** qui coïncide avec la **thermocline** qui correspond à une forte diminution de la température avec la profondeur qui augmente. Ces deux phénomènes combinés créent une sorte de barrière protectrice qui empêche les eaux froides et denses de se mélanger avec les eaux les plus chaudes du dessus.

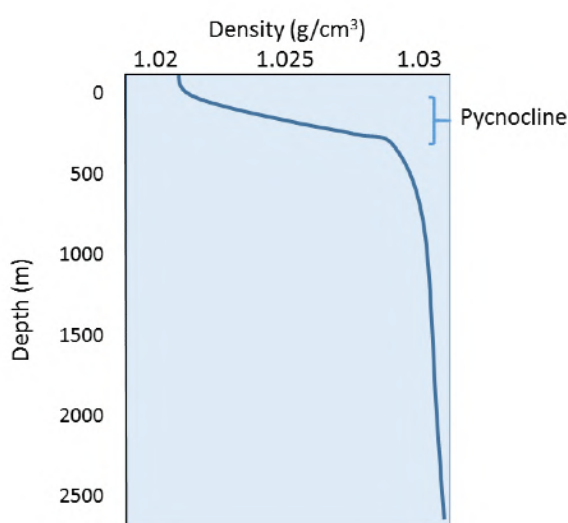


Figure 4. Évolution de la densité en fonction de la profondeur (Webb, 2019)

Comme on le voit sur la **Figure 4**, après la zone de la **pycnocline**, la densité ne fait plus qu'augmenter légèrement, on parle alors de circulation **thermohaline**, qui est le mouvement des courants océaniques dus aux variations de masse volumique de l'eau. Cela met en évidence le phénomène de stratification des océans, une théorie selon laquelle l'eau peut être

décompensée en couches en fonction de ses paramètres d'état (pression, température, salinité) et qui ne varie que selon la profondeur et pas d'un point de vue horizontal. (Webb, 2019)

1.1.3 – Ondes acoustiques

Ces paramètres qui constituent le milieu aquatique exercent une influence sur les ondes acoustiques que l'on définit comme étant une perturbation qui se propage dans un milieu. On parle d'onde acoustique lorsque cette perturbation concerne la pression qui peut alors être à l'origine d'une sensation auditive à condition qu'elle soit dans le domaine de l'audible (entre 20 Hz et 20 kHz) pour l'Homme.

On note alors L_p le niveau de pression acoustique en décibels (dB) dont la formule se note :

$$L_p = 20 \ln \frac{P_{eff}}{P_{ref}} \quad (1)$$

Où $P_{ref} = 1 \mu Pa$ car on se trouve dans un milieu liquide au lieu de 20 μPa dans l'air. De cette différence de pression de référence résulte le fait que dans l'eau, on a des niveaux de pression acoustique bien plus importants, on peut se le prouver en faisant deux applications numériques.

Les manuels d'acoustique (Fischetti, 2003) montrent qu'au décollage, un avion peut produire des niveaux acoustiques allant jusqu'à 140 dB(C). L'appellation dB(C) signifie qu'on a appliqué une pondération fréquentielle qui reflète mieux la sensibilité humaine sur certaines fréquences et convient pour qualifier des sons avec une forte pression acoustique (Lee *et al.*, 2022). Ainsi, en manipulant la formule (1), on obtient que :

$$P_{eff} = P_{ref} \times e^{\frac{L_p}{20}}$$

Ce qui nous donne que $P_{eff} \simeq 1 \times 10^{-3}$ W dans l'air

Dans l'eau cela correspond à une puissance de $P_{eff_{eau}} \simeq 22 \times 10^{-3}$ W

En comparant les deux, on a $\frac{P_{ref_{eau}}}{P_{ref_{air}}} = \frac{22 \times 10^{-3}}{1 \times 10^{-3}} = 22$ (sans unité)

Il faut donc 22 fois moins de puissance acoustique sous l'eau pour produire un niveau en décibel de l'ordre de grandeur d'un décollage d'avion que dans l'air. Cela est notamment dû à la célérité de l'eau, que nous verrons dans le paragraphe suivant.

1.2 – Perception sonore subaquatique – le son dans la mer

Maintenant que nous avons compris les caractéristiques des ondes mécaniques dans le milieu aquatique, nous allons expliquer la perception sonore qui est l'effet d'une onde sonore sur un être vivant (humains en l'occurrence) qui implique la reconnaissance et la qualification d'un son. C'est ce qu'explique Michèle Castellengo (2015), qui montre que la caractéristique fondamentale de la perception humaine est d'identifier la source sonore. Pour identifier cette source, il nous faut comprendre comment évoluent les ondes dans le milieu aquatique.

1.2.1 – Dynamique : vitesse de propagation du son

La propagation des ondes acoustiques est pilotée par la célérité des ondes qui est donnée par la formule :

$$c^2 = \frac{\partial p}{\partial \rho} = \frac{1}{\beta \rho}$$

Avec β le coefficient de compressibilité de l'eau de mer en bar^{-1} qui dépend de la pression, de la salinité et de la température.

À partir de l'équation d'état de l'eau de mer *EOS 80* dont nous avons parlé précédemment, Medwin & Clay (1997) en ont déduit une formule qui nous permet de bien comprendre la dépendance entre la vitesse du son dans l'eau et les paramètres de température (T exprimé en $^{\circ}\text{C}$), la profondeur (z exprimé en m) et la salinité (S en PSU).

$$c = 1449.2 + 4.6T - 0.055T^2 + 0.00029T^3 + (1.34 - 0.01T)(S - 35) + 0.016z$$

La célérité s'exprime en m/s et en varie essentiellement de 1440 à 1540 m/s dans l'océan, ce qui est environ cinq fois plus que dans l'air, notamment, car le milieu est plus dense que l'air (Le Gall, 2015).

Les molécules d'eau étant plus proches les unes des autres que les molécules d'air, il y a moins de pertes d'énergies au moment de transmettre les petites perturbations locales de pression, ce qui permet aux sons de parcourir des distances plus grandes et plus rapidement. (Webb, 2019)

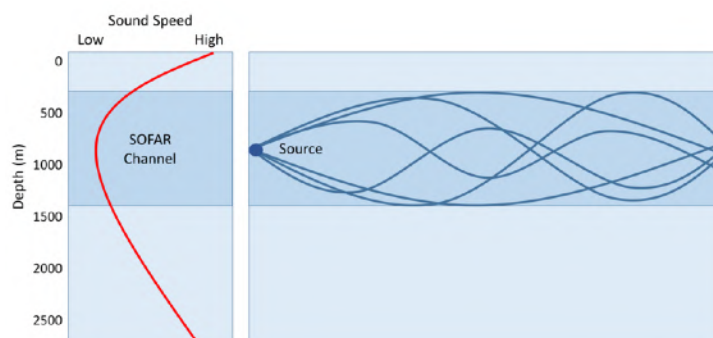


Figure 5. Propagation du son dans le "canal SOFAR" en fonction de la profondeur (Webb, 2019)

Un exemple de l'utilisation de la vitesse du son dans l'eau est le canal *SOFAR* (*Sound Fixing and Ranging*) qui est un canal sous-marin situé entre 250 et 1400m de profondeur dans lequel la vitesse du son est minimale. Lorsqu'un signal est émis dans cette zone, les ondes sonores qui se propagent se trouvent être réfléchies vers l'intérieur lorsqu'elles rebondissent sur les bords du canal en rencontrant une zone dans laquelle la célérité du son est plus rapide (à cause de la température de la **thermocline** proche de la surface pour le bord supérieur ou de la pression pour le bord inférieur en profondeur). Découvert par Ewing et Worzel en 1948, ce canal a été utilisé pendant la Seconde Guerre mondiale pour repérer les pilotes échoués en mer. En effet, les avions étaient pourvus de bombes qui étaient programmées pour exploser une fois le canal *SOFAR* atteint, pour permettre aux hydrophones de les localiser par triangulation. (Webb, 2019)

Les ondes acoustiques émises dans ce canal peuvent parcourir des centaines de milliers de kilomètres, en particulier pour les basses fréquences qui sont utilisées par les baleines et autres cétacés pour communiquer sur de longues distances notamment puisqu'ils produisent des sons forts et graves, de l'ordre de 20 Hz qui sont, comme nous le verrons par la suite, moins absorbés dans les océans. (Webb, 2019)

1.2.2 – Spectre perçu

Les ondes mécaniques qui se propagent dans l’océan subissent une atténuation en fonction de la distance qu’elles parcourent. Cette atténuation n’est pas causée par les mêmes facteurs selon la fréquence qui est émise. En effet, pour les fréquences au-delà de 300 kHz, c’est la viscosité du milieu qui absorbe l’énergie mécanique, tandis que pour les fréquences entre 100 Hz et 10 kHz, il s’agit d’un phénomène de relaxation du bore et du magnésium présents dans l’eau salée (Leonard *et al.*, 1949). Ces composés chimiques change de structure moléculaire lors d’une légère variation locale de pression créée par l’onde acoustique et vont chercher à reprendre leur forme d’origine pour des fréquences inférieures à la fréquence caractéristique du composé dont il est question. Pour les fréquences en dessous de 100 Hz, le son est atténué à cause de la diffraction ou de la dispersion des ondes par la propagation à travers le milieu. (Ilyina *et al.*, 2010)

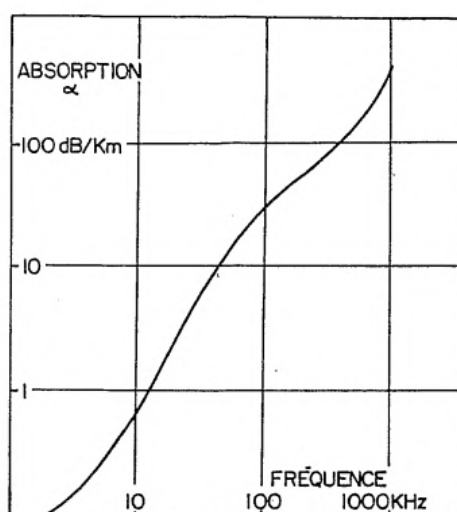


Figure 6. Absorption par km en fonction de la fréquence (Lévenez, 1990)

On voit bien d’après la **Figure 6** que l’absorption (exprimée en acoustique sous-marine en dB/km) est faible lorsque la fréquence est basse (de l’ordre de la dizaine de kHz).

Il est possible de montrer que l’amplitude de l’onde émise décroît en $1/R$. Les ondes acoustiques dans les liquides ou les gaz obéissent aux lois de la mécanique des fluides, dont l’équation de propagation des ondes est donnée par :

$$\Delta p = \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2(x, y, z)} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2}$$

Avec p , la pression d'une onde acoustique qui se déplace pendant un temps t dans un espace en trois dimensions est donnée par les axes x , y et z .

En considérant une propagation uniquement selon l'axe horizontal x , on peut dire grâce aux considérations bathymétriques que la célérité est constante (puisque le gradient de vitesse évolue selon la profondeur z), l'équation devient alors :

$$\Delta p = \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (1)$$

On reconnaît alors l'équation de d'Alembert, de dimension 1 que l'on peut réécrire :

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 0$$

En factorisant, on montre que cette équation admet deux uniques solutions indépendantes d'après le théorème de Cauchy-Lipschitz dont les formes générales sont :

$$\begin{cases} (\frac{\partial}{\partial t} + c \frac{\partial}{\partial x})(\frac{\partial}{\partial t} - c \frac{\partial}{\partial x})p = 0 \implies p(x, t) = f(x - ct) \\ (\frac{\partial}{\partial t} - c \frac{\partial}{\partial x})(\frac{\partial}{\partial t} + c \frac{\partial}{\partial x})p = 0 \implies p(x, t) = g(x + ct) \end{cases}$$

$p(x, t)$ est donc la somme de ses deux uniques solutions, donc

$$p(x, t) = f(x - ct) + g(x + ct)$$

Où f représente la partie « aller » de l'onde et g la partie « retour » de l'onde acoustique.

Maintenant que nous savons résoudre l'équation en dimension 1, essayons de résoudre celle en trois dimensions pour pouvoir caractériser au mieux l'évolution d'une onde acoustique dans l'océan. En coordonnées sphériques, l'équation d'onde (1) devient :

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 p}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial p}{\partial r} \quad (2)$$

On effectue alors un changement de variable en posant $u = pr$ pour se ramener à une forme d'équation de d'Alembert qu'on a réussi à résoudre en dimension 1 précédemment.

(2) devient donc :

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial r^2}$$

Comme vu précédemment, $u(r,t)$ admet une unique solution dont la forme générale est $u(r,t) = f(r - ct) + g(r + ct)$ qui lorsqu'on réutilise notre changement de variable nous permet de dire que :

$$p(r,t) = \frac{1}{r} u(r,t) = \frac{1}{r} (f(r - ct) + g(r + ct))$$

Ainsi, une onde mécanique qui se propage dans l'océan subit bien une décroissance en $1/r$, qui est le phénomène limitant qui explique la décroissance des fréquences basses (inférieures à 100 Hz) dans l'océan.

1.2.3 – Spatialisation et localisation

Maintenant que nous avons compris comment étaient atténuées les ondes, nous allons d'abord rappeler brièvement comment fonctionne notre oreille dans l'air, avant de passer aux caractéristiques et spécificités du fonctionnement de cette dernière sous l'eau.

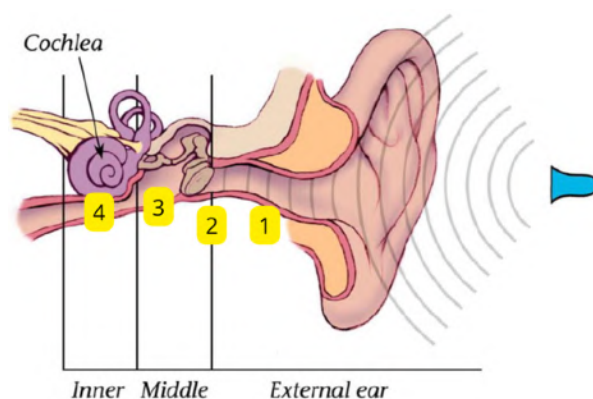


Figure 7. Coupe de l'oreille humaine (Brownell, 1997)

Dans l'air, l'onde acoustique qui parvient à l'oreille est amplifiée par le conduit auditif et le pavillon **(1)** jusqu'au tympan **(2)** qui va transmettre le signal via l'oreille moyenne **(3)** par conduction solidienne à travers les osselets jusqu'à l'oreille interne et la cochlée **(4)**.

Ensuite, pour localiser, il nous faut trois éléments :

- l'angle azimutal dans le plan horizontal ($0 \pm 180^\circ$)
- l'angle d'élévation dans le plan vertical ($0 \pm 90^\circ$)
- la distance avec la source ($0 \pm \infty$)

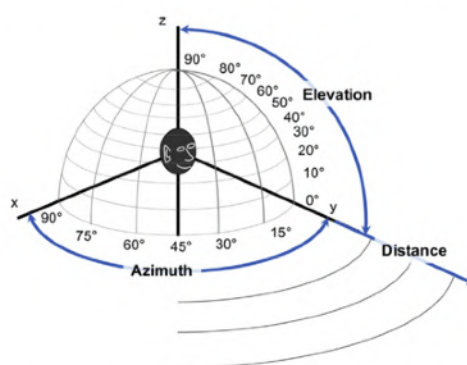


Figure 8. Les trois paramètres de la localisation (Risoud et al, 2018)

Dès 1907, Rayleigh montre que nous localisons avec deux informations principales, la première est la différence interaurale de temps (ITD) et la seconde la différence interaurale de niveau (ILD).

L'ITD nous permet de localiser, car il y a une différence temporelle entre le signal qui arrive à l'oreille droite et celui qui arrive à l'oreille gauche, alors que l'ILD se base sur la différence de niveau du signal qu'il y a entre les deux oreilles.

Comme montré précédemment, le son sous l'eau a une vitesse de propagation d'environ 1500 m/s, ce qui rend les ITD beaucoup plus petits et rend plus difficile la localisation.

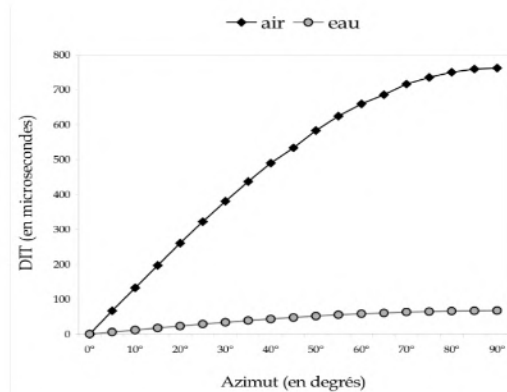


Figure 9. Comparaison des ITD de l'eau et de l'air pour différents azimuts (Savel, 2001)

Concernant l'ILD, elle est réduite dans l'eau, car la tête ayant une masse volumique proche de l'eau (le corps humain étant constitué à 75% d'eau), il n'y a pas de changement d'impédance, ce qui a pour effet de rendre invisible la tête pour le son qui va traverser le crâne par conduction osseuse (Bernaschina, 2003). Cependant, S. Savel en 2001 a montré avec une expérience sur des plongeurs qu'il était possible de localiser sous l'eau, notamment en orientant la tête. Contrairement aux attentes, les oreilles auraient bien un rôle à jouer pour localiser des sources.

Par la suite, E. Oury (2008) qui s'est intéressé à la perception stéréophonique dans des bassins, a pu constater que les oreilles même bouchées avaient effectivement un rôle à jouer puisqu'elles apportaient plus de précisions dans les basses fréquences, plus de définitions et une sensation d'espace (sûrement dû à un retard par rapport à la perception solidienne). Concernant le domaine spectral, on retrouve plus de basses au fond d'une piscine alors qu'on a un renfort des médiums près de la surface.

La perception subaquatique est majoritairement ressentie de manière physique, on ressent les vibrations dans notre crâne et la perception est limitée par rapport au domaine aérien (Oury, 2008).

Ainsi, nous avons compris quelle était notre perception des ondes acoustiques dans le milieu aquatique en fonction des différents paramètres de l'océan et des paramètres propres aux fréquences du domaine de l'audible. Sachant cela, nous allons donc maintenant essayer de comprendre quels sont les types de sons que nous pouvons retrouver dans les ambiances sous-marines.

2 – Définition d’une ambiance sous-marine

2.1 - Définition d’une ambiance

2.1.1 - La notion de paysage sonore

Le terme de paysage sonore a été inventé et théorisé par le canadien R. Murray Schafer dans un ouvrage du même nom en 1977. Selon lui, la notion de paysage sonore est associée à un lieu acoustique qui représente tout ce que l’humain peut entendre dans un même espace géographique. Ce lieu acoustique est composé de ce qu’il appelle des « objets sonores », qui sont en quelque sorte les plus petites sources qui émettent des sons dans un « environnement sonore ». (Candau *et al.*, 2013)

Ces « objets sonores » peuvent être des « tonalités » lorsqu’ils sont perçus de manière inconsciente par l’auditeur. Ce sont des sons qu’on a l’habitude d’entendre ou qui ont un niveau trop faible pour qu’on puisse facilement les discerner (sauf si l’on prête volontairement attention). Il se trouve que ces « tonalités » sont souvent associées à des sons dont les sources sont naturelles ; Schafer les qualifie de « sons archétypes » ou encore « anciens et mystérieux ». (Candau *et al.*, 2013)

L’autre catégorie d’objets sonores décrite par le compositeur canadien est celle des « signaux », qui sont à l’opposé, des sons que nous percevons consciemment et qui attirent notre attention. L’effet de surprise, le niveau, les sons d’avertissements en fonction du contexte de notre intérêt peuvent être qualifiés de « signaux » selon la théorie de Schafer. (Candau *et al.*, 2013)

Pour résumer, en fonction de leurs nombre et de leurs importance, on qualifiera de hi-fi (*hi fidelity* en anglais) les paysages sonores fournissant plutôt des « signaux ». À l’inverse, les paysages sonores sujets à des phénomènes de masquages où il est difficile de distinguer des signaux devant la masse de tonalité seront qualifiés de lo-fi (*low fidelity*). (Candau *et al.*, 2013)

Les travaux de Schafer et des autres théoriciens des paysages sonores se sont majoritairement concentrés sur des lieux acoustiques aériens, les premiers à s'intéresser aux ambiances sous-marines l'ont fait par l'intermédiaire de l'écologie acoustique.

2.1.2 - Lien entre paysage sonore et écologie acoustique

L'écologie acoustique ou éco-acoustique est une « *discipline théorique et appliquée qui étudie le son sur une large gamme d'échelles spatiales et temporelles afin d'aborder la biodiversité et d'autres questions écologiques. L'utilisation du son comme matériau à partir duquel déduire des informations écologiques permet à l'éco-acoustique d'enquêter sur l'écologie des populations, des communautés et des paysages* » (Sueur & Farina, 2015).

Selon le prisme de l'écologie acoustique, il y a beaucoup à dire sur les ambiances sous-marines, notamment puisqu'on s'est aperçu que les mammifères marins communiquaient par le biais de sons et que les nuisances sonores des engins industriels perturbaient le comportement des cétacés. (John Richardson *et al.*, 1985)

L'évolution des technologies et des équipements sonores ont spécialement permis l'essor du *field recording*, discipline qui consiste à aller enregistrer des sons dans la nature. Les études ont permis à l'être humain de pouvoir faire l'inventaire et de mieux comprendre quels étaient les sons que l'on pouvait percevoir dans les paysages sonores subaquatiques. (Christiaens, 2024)

Les scientifiques qui ont travaillé sur la protection des systèmes marins et de la biologie sous-marine ont vite compris le rôle majeur qu'avait la pollution sonore sur les comportements des espèces sous-marines. Aujourd'hui, de nombreux hydrophones sont utilisés pour récolter des données sur la faune et la flore, comme dans le sanctuaire français AGOA dans les Caraïbes qui a déployé une vingtaine d'hydrophones pour étudier les mammifères marins. (Office français Biodiversité, s. d.)

Le contenu des enregistrements sonores permet de vérifier que ces paysages sonores sont préservés au fur et à mesure des années et nous permet donc de comprendre quels sont les types de sons que nous pouvons trouver dans les ambiances sous-marines.

2.2 - Types de sons qui constituent les ambiances sous-marines

2.2.1 – Bruit ambiant et géophonie

Lorsqu'on parle d'acoustique sous-marine, il est important de définir le bruit ambiant, qui est la résultante de toutes les ondes acoustiques émises dans l'océan, filtrées par propagation. Par la suite, je qualifierai ce bruit ambiant par le terme de « fond d'eau », qui, par analogie avec un fond d'air, se veut être le son qu'on perçoit sous l'eau lorsqu'il n'y a a priori plus aucun son. Ce fond d'eau est principalement dû aux interactions des phénomènes météorologiques avec la surface et permet notamment d'avoir des indications sur ces dernières. (Ma *et al.*, 2005)

Maintenant qu'on a défini le bruit ambiant, intéressons-nous à la « géophonie », qui est un terme inventé par Bernie Krause un compositeur et un précurseur de l'éco-acoustique, pour qualifier toutes les sources sonores naturelles non animales. (Krause *et al.*, 2011)

La géophonie contient tout ce qui a attiré à l'activité géothermique de la planète (séismes, éruption volcanique, etc.). Ces sons sont essentiellement composés de fréquences très graves de l'ordre du Hz. (Ardhuin *et al.*, 2011)

On retrouve également dans cette catégorie, les sons liés aux activités météorologiques, comme les vents, les tempêtes ou les précipitations. La **figure 10** ci-dessous donne un aperçu des niveaux et des bandes de fréquences concernés en fonction des phénomènes météorologiques. Dans la zone **I**, il n'y a que du vent. La zone **II** est celle des grosses gouttes de pluie. En zone **III**, on retrouve l'influence de la bruine (une pluie légère) tandis que la zone **IV** contient à la fois des petites et des grosses gouttes. Enfin, la zone **V** représente un effet de masquages avec les bulles qui se forment à la surface. (Ma *et al.*, 2005)

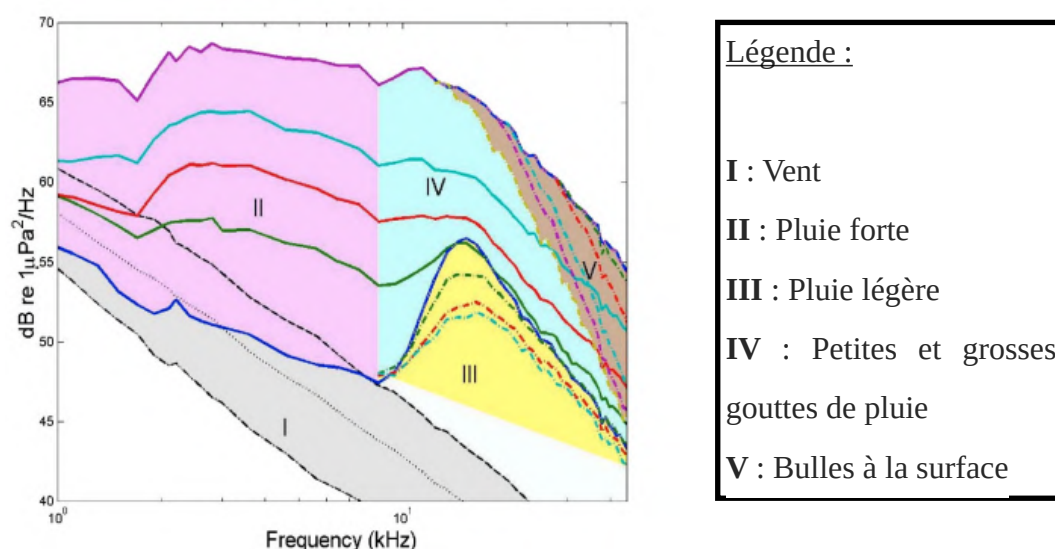


Figure 10. Niveau des éléments en fonctions de la fréquence (Ma et al., 2005)

2.2.2 – Biophonie

Passons ensuite à la biophonie, qui est, toujours, selon Krause, un terme qui permet de qualifier toutes les sources sonores d'origine animale. Dans l'océan, on pense surtout aux cétacés, avec qui nous avons une plus grande affinité du fait qu'ils sont des mammifères comme nous et qu'ils produisent des sons caractéristiques assez graves qu'ils utilisent souvent pour communiquer, que ce soit pour la chasse ou pour des questions de sociabilité. On peut aussi retrouver les crustacés et les poissons qui produisent des sortes de petits cliquetis que l'on pourrait assimiler à des sons de feu qui crépite. Ces sons émis par ces crustacés sont très importants, notamment pour les récifs coralliens, puisque des chercheurs du Massachusetts ont démontré qu'en diffusant ce genre de sons sur des récifs en voie d'extinction, il favorisait l'installation de nouveaux coraux. (Aoki *et al.*, 2024)

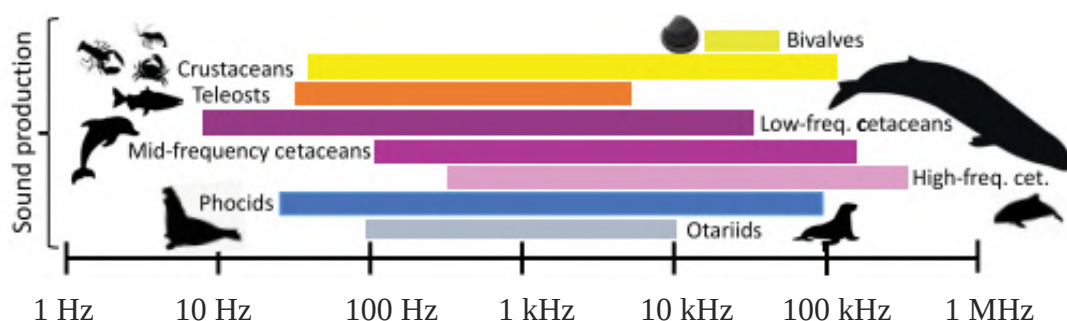


Figure 11. Animaux produisant des sons par bande de fréquence (Duarte *et al.*, 2021)

2.2.3 - activités humaines ou anthropophonie

La troisième catégorie de Krause, “l’anthropophonie”, correspond à l’ensemble des sources sonores d’origine humaine.

On pense alors en premier lieu aux porte-conteneurs et à tous les moteurs des bateaux dont la réduction de la vitesse est un des fers de lance des éco-acousticiens puisqu’ils produisent des niveaux élevés dans les plages de fréquences graves utilisées par les mammifères marins pour communiquer. Des études montrent que réduire de 20% la vitesse des cargos permettrait de diminuer leurs nuisances sonores de 36% (en dB re 1μPa). (Findlay *et al.*, 2023)

Lors de la recherche de gisements de gaz ou de pétrole, les compagnies utilisent des *seismic airguns* qui envoient des impulsions depuis la surface pour sonder le plancher océanique. Ils envoient de l’air sous haute pression à des fréquences graves (en dessous de 200 Hz) qui peuvent parcourir jusqu’à 4000 km de distance. Ces sons qui peuvent être émis pendant plusieurs semaines sont particulièrement nocifs pour la faune marine et les mammifères marins. (Kavanagh *et al.*, 2019)

On trouve aussi les sonars des sous-marins ou des bateaux qui, par exemple, se servent de ces derniers pour repérer des bancs de poissons. Ils sont dits actifs puisqu’ils ont besoin d’émettre des sons pour avoir une vision de l’environnement qui les entoure en analysant le temps de retour des signaux. Ils peuvent envoyer tous types de fréquences allant du grave à l’aigu en fonction de la distance à ce qu’ils veulent analyser. Ils utilisent aussi des *sweep*, qui sont des sons continus qui parcourent toute la bande passante du grave vers l’aigu ou inversement. (Knowlton, 2023)

2.2.4 - considérations acoustiques

Pour parler des ambiances sous-marines, il faut aussi considérer les habitats, puisque les sons ne sont pas transmis et réfléchis de la même façon en fonction de ces derniers.

Des études récentes montrent par exemple que les forêts de kelps (qui sont de très grandes algues) peuvent absorber la pollution sonore qui viendrait de l’extérieur, de la même manière

qu'elles freinent les vagues. Ces forêts sous-marines permettraient donc de préserver les paysages sonores et fonctionneraient comme une sorte d'abris acoustiques pour la faune locale. (Cox *et al.*, 2024)

Concernant les fonds océaniques (majoritairement constitués d'argile et de boue), il faut comprendre que, plus les sédiments ont une rugosité élevée, plus ils vont diffracter les signaux, et inversement (Bjørnø, 2017). Il faut aussi prendre en compte la taille des grains des matériaux, et ce faisant, on arrive à déterminer que le sable est plus réfléchissant que la vase et beaucoup plus réfléchissant que l'argile. (Fauziyah *et al.*, 2018)

Maintenant que nous comprenons mieux ce qu'est un paysage sonore et quels sont les sons que nous pouvons retrouver dans les ambiances sous-marines, nous allons essayer de catégoriser différentes perceptions que ces sons peuvent nous procurer.

2.3 - Caractérisation du paysage sonore et des émotions

2.3.1 - Catégorisation et langage par opposition

Commençons par rappeler les liens entre le langage, la représentation mentale et les émotions. Les sons que nous percevons produisent en nous des émotions qui, lorsqu'elles sont utilisées dans des phrases via le langage, peuvent nous donner accès aux représentations mentales (la manière dont on organise le sens en mémoire) d'une personne. (Polack, 2020)

Les penseurs classiques ont travaillé sur la catégorisation en expliquant qu'il s'agissait de former des groupes qui partageaient les mêmes propriétés. Cependant, Saussure (1916) a théorisé le fait que « la langue est basée sur l'opposition », ce qui semble être appuyé par Greimas (1970) qui montre que ce qui ressort entre deux termes, c'est leur opposition. On comprends alors que pour former des groupes et appartenir à une catégorie, il vaut mieux faire apparaître des oppositions entre les termes plutôt que d'essayer de leur trouver des caractéristiques communes.

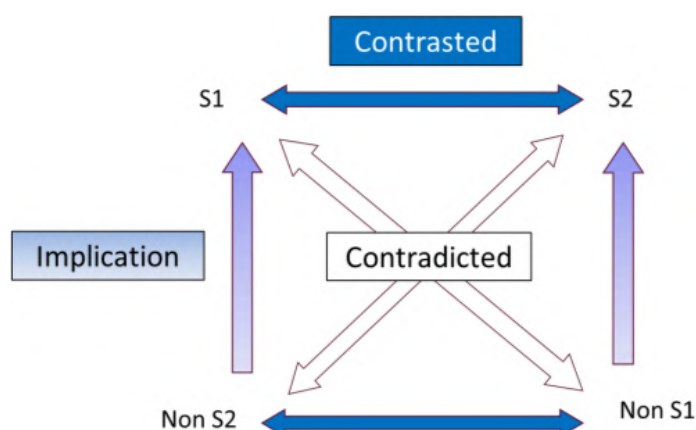


Figure 12. Carré sémiotique (Greimas, 1970)

Le carré sémiotique est développé par Greimas et permet de faire apparaître la structure entre des concepts par opposition. On peut l'appliquer à des adjectifs qui décrivent les paysages sonore pour pouvoir les caractériser. Par exemple Axelsson a étudié des ambiances sous le prisme de quatre adjectifs qui forment un carré sémiotique : agité (S1), agréable (S2), calme (Non S1) et désagréable (Non S2). (Axelsson *et al.*, 2010)

Ces adjectifs ne sont pas les plus appropriés pour notre étude, donc nous ne les utiliserons pas. En revanche, nous allons copier cette structure de catégorisation par opposition avec nos propres adjectifs.

2.3.2 - Catégorisation sémantique

La catégorisation en groupe permet d'avoir des résultats plus précis que s'il fallait catégoriser chaque son de manière indépendante, en demandant aux participants de classer les sons en fonction des quatre adjectifs cités ci-dessus et voir si l'on peut extraire plusieurs catégories communes de ces quatre adjectifs. (Dubois, 2000)

Russel, qui s'est lui intéressé aux émotions, a montré qu'il était possible d'organiser les émotions placées sur un cercle pour mieux discerner les oppositions entre elles. (Polack, 2022)

2.3.3 - Catégorisation prototypique

La catégorisation prototypique est introduite par Rosch et Lloyd en 1978 qui montrent que lorsque nous analysons un signal perçu, nous le relierons à une catégorie. Nous catégorisons

suivant trois niveaux : le niveau subordonné (qui est le plus spécifique et précis), le niveau de base (qui est le plus représentatif de sa catégorie) et le niveau superordonné (qui est le niveau le moins précis et le plus généraliste). On appelle alors prototypes les membres de la catégorie de base qui ont le plus de ressemblance et d'attributs communs avec les autres membres de leurs catégories (Vogel, 1999).

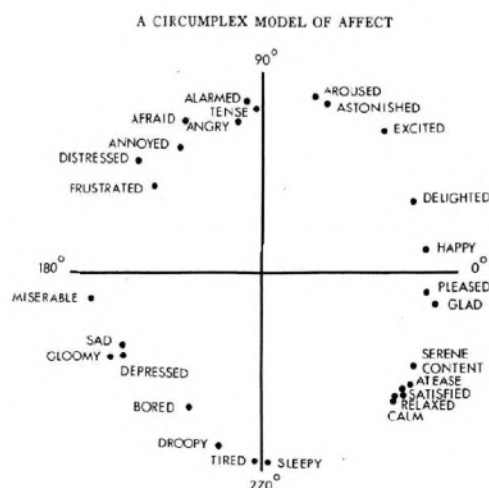


Figure 13. Les 28 émotions placées sur un cercle (Russell, 1980)

À la manière de ces études sémantiques, nous pouvons alors établir des adjectifs prototypiques qui seront des représentants de leurs groupes. Nous pouvons distinguer, d'après le diagramme de Russel, que les adjectifs éloignés sont opposés sur le cercle. Cela nous permet donc de pouvoir les catégoriser. Cependant, les adjectifs des émotions de Russel ne sont pas tous très représentatif des ambiances sous-marines, il nous a donc fallu créer notre propre diagramme avec notre propre catégorisation.

Nous avons d'abord commencé par lister une cinquantaine d'adjectifs qui pouvaient être utilisés pour qualifier les ambiances sous-marines, puis les avons séparé en 4 groupes en fonction de leurs sens communs.

Groupe 1 - Émouvant, **Calme**, Paisible, Tranquille, Harmonieux, Apaisant, Doux, Posé, Agréable, Chaleureux, Plaisant, Rassurant, Réconfortant, Sécurisant, Charmant, Utopiste, Joyeux, Heureux.

Groupe 2 - Inquiétant, Anxieux, **Mystérieux**, Effrayant, Tendu, Troublant, Sombre, Intrigant.

Groupe 3 - Original, Lumineux, Émerveillement, Fascinant, Fantastique, Grandiose, Enthousiaste, Dynamique, Éblouissant, Génial, **Énergique**, Excitant, Puissant, Entraînant, Gracieux, Magnifique, Phénoménal, Majestueux, Rayonnant.

Groupe 4 - Naturel, Rationnel, Objectif, **Réaliste**, Sérieux, Positif, Cohérent, Fidèle.

On peut alors définir quatre adjectifs prototypiques qui seront les représentants de quatre émotions principales : **mystérieux**, **réaliste**, **calme** et **énergique**. Ils nous seront utiles pour qualifier nos ambiances et voir quels seront les *stems* (qui sont des groupes de sons de même famille), les plus utilisés lors du test pratique. Ces adjectifs ont été choisis pour pouvoir s'appliquer à trois extraits de films qui ont à l'image des différences de direction artistique notables que nous verrons dans une prochaine partie.

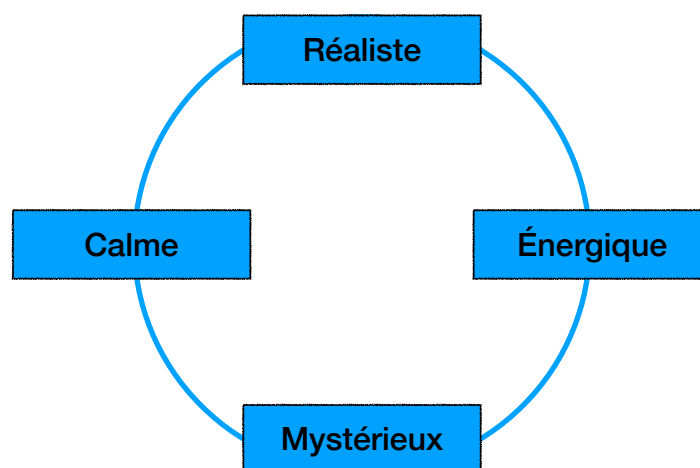


Figure 14. Adjectifs prototypiques descriptifs des ambiances sous-marines

Maintenant que nous avons réussi à définir une ambiance sous-marine, à comprendre quels étaient les types de sons que nous pouvions effectivement trouver dans le milieu subaquatique et comment nous pouvions caractériser les émotions qu'ils produisent, nous allons analyser l'utilisation des sons de ces ambiances subaquatiques dans un cadre cinématographique.

3 – Analyse des caractéristiques des ambiances sous-marines dans différents genres cinématographiques en fonction de l'intention artistique

3.1 – Ambiances sous-marines réalistes dans le documentaire

3.1.1 – *Le Monde du silence*, Jacques-Yves Cousteau et Louis Malle (1956)

Le Monde du silence (1956) est un film documentaire de Jacques-Yves Cousteau qui lui a valu la palme d'or à Cannes en 1956, dans lequel il filme ses expéditions pour aller explorer le monde aquatique. À la manière du titre, les ambiances sous-marines sont totalement silencieuses, on n'entend en général que la respiration des plongeurs suivie d'un lâché de bulles lors des scènes sous-marines. Cela donne une impression de vide et cela a tendance à éloigner le spectateur des images. Les seuls sons sous-marins sont ceux produits par l'être humain qui utilise parfois des scooteurs des mers pour se déplacer plus vite, qui font un bruit de tondeuse très puissant ou lorsque les plongeurs explorent une épave et trouvent une cloche. Cette cloche est très sèche et s'apparente exactement au son qu'elle devrait faire à la surface et reste assez cohérente avec la réalité sous-marine.

3.1.2 – *La planète bleue*, Andy Byatt et Alastair Fothergill (2003)

La Planète bleue (2003) est un film documentaire d'Andy Byatt et d'Alastair Fothergill dans lequel ils partent à la rencontre de la faune et de la flore du monde des océans. On peut tout d'abord noter la présence quasi-constante d'un fond d'eau qui est assez grave et bouillonnant. Par-dessus, on retrouve des mouvements de liquides qui sont associés aux déplacements des êtres vivants (mammifères marins, poissons, coraux, etc.) qui peuvent être appuyés par des *wooshs* ou des bruits blancs plus aigus utilisés pour symboliser la multitude de petits poissons qui se déplacent en bancs. On remarque que les séquences de nuit sont les seules dans lesquelles le fond d'eau devient quasiment imperceptible, ce qui provoque une sensation de calme un peu étrange et amène du suspense. Le film utilise un traitement assez spécifique pour les abysses, puisque dans ces séquences, les sons peuvent être qualifiés d'expérimentaux,

en particulier concernant les êtres vivants à l'image. Les petits organismes lumineux produisent tous des sons très différents les uns des autres qui proviennent vraisemblablement de synthétiseurs. Cette utilisation particulière dans le film produit un effet d'éloignement qui donne presque l'impression que ce sont des espèces extra-terrestres appartenant à un autre monde.

3.1.3 – Océans, Jacques Perrin et Jacques Cluzaud (2010)

Océans (2010) est un film documentaire qui emmène les spectateurs à travers tous les océans du globe à la rencontre des animaux qui y vivent. Les ambiances sous-marines sont souvent composées d'un son de vagues plus ou moins filtrées et fortes en fonction de la distance à la surface. Ensuite, peu importe les mers, il y a toujours un fond d'eau (même dans l'obscurité) qui est dans le film une sorte de bouillonnement assez grave ou bas médium. On remarque que, dans les eaux sales et les abysses, ce bouillonnement est plus grave et plus lent, ce qui a pour effet de donner un climat un peu plus inquiétant. Les déplacements de tout petits animaux (crabes, oursins, krill, etc.) sont bruités par de petits craquements assez secs et les animaux plus imposants déplacent de grandes quantités d'eau dans des sons de mouvement de fluides. Enfin, on peut entendre certains grands mammifères marins comme des baleines, des dauphins ou des bélugas. Ils produisent différents sons, mais qui ont en commun de paraître assez loin, même lorsque l'animal est très proche à l'écran. Cela donne l'impression que le son n'est pas corrélé à la source qui les émet et ça peut perturber un peu nos sens.

3.1.4 – Conclusions sur les ambiances sous-marines dans le documentaire

Nous avons choisi des films documentaires sur une très grande temporalité, avec Le monde du silence qui date de 1956 et Océans qui date de 2010. L'objectif était de pouvoir constater des différences et des évolutions du son subaquatique dans ce genre cinématographique. On remarque que les similitudes sont grandes, notamment que la volonté est souvent de faire un son « vrai », même s'il ne donne pas toujours l'impression qu'il est réel. En effet, le son réel est très sec et peu réverbéré, contrairement à ce que notre imaginaire nous fait croire. Cela peut être déstabilisant pour le spectateur. On remarque que les sons de fond d'eau et le bruit naturel de l'océan prennent une place très importante dans la bande sonore, ce qui participe à cette sensation de réalité qu'on souhaite donner aux images.

3.2 – Ambiances sous-marines dans le cinéma d’animation

3.2.1 – *La petite sirène*, John Musker et Ron Clements (1989)

La petite Sirène (1989) est un film d’animation qui raconte l’histoire d’Ariel qui tombe amoureuse d’un prince humain. Les ambiances sous-marines sont assez peu présentes, on retrouve un fond très léger par moment qui se présente sous la forme de petites bulles qui bouillonnent. Il y a surtout des bulles fines assez aiguës qui viennent ponctuer les déplacements et les mouvements des personnages. On peut noter cependant l’utilisation récurrente de réverbération assez prononcée dès que les personnages s’éloignent de la caméra ou rentrent dans des lieux acoustiques fermés (grotte sous-marine, épaves). Cela donne l’impression que l’eau est un milieu réverbérant, alors qu’en réalité, c’est plutôt l’inverse qui se produit. Les effets sonores sont traités sans distinction avec le milieu aérien. Cependant, lorsqu’on entend des sons de la surface depuis le milieu subaquatique, ces derniers sont filtrés dans les aigus, ce qui donne une sensation assez réaliste d’éloignement.

3.2.2 – *Le monde de Nemo*, Andrew Stanton (2003)

Le monde de Nemo (2003) est un film d’animation qui raconte l’histoire d’un père qui part à la recherche de son fils, un petit poisson-clown avec une nageoire atrophiée, qui a été enlevé à l’autre bout de l’océan. L’immense majorité du film se déroule sous la surface de l’eau, dans différents biotopes sous-marins, allant du récif corallien aux abysses, en passant par un aquarium ou l’intérieur d’une baleine. On remarque que les déplacements des personnages sont quasi systématiques, accompagnés d’un son de déplacement d’eau, qu’on pourrait assimiler à un *woosh* avec de petites bulles en fonction de l’amplitude du mouvement. *A contrario*, les gros éléments par rapport aux personnages (requins, sous-marin, baleine) sont souvent accompagnés d’un drone ou *woosh* lent et grave. L’ambiance sous-marine est principalement signifiée par ces effets ponctuels qui se trouvent souvent au premier plan dans l’espace sonore. Il est intéressant de noter que de manière quasi-systématique, dès que l’on voit un objet métallique d’origine humaine, on y associe un son métallique, et ce même si l’objet en question est tout à fait immobile, cela participe souvent à créer une atmosphère inquiétante. Il est possible de percevoir des sons qui viennent de l’extérieur du milieu aquatique, ceux-ci sont cependant moins forts, un peu réverbérés et très filtrés pour en couper les

composantes aiguës. Concernant l'ambiance en tant que telle de l'océan, elle est souvent très calme, habillée par un fond d'eau qui, par analogie avec un fond d'air, est une sorte de nappe très faible et calme composée de petites bulles ou de mouvement de liquide. Il arrive régulièrement que les personnages soient dans des lieux assez vides au milieu de l'océan ou sur le plancher océanique. Cela pose des questions sur l'acoustique et la réverbération des voix des protagonistes. Ces voix possèdent une réverbération caractéristique qui est à la fois très longue, mais qui se coupe assez vite, ce qui semble symboliser assez fidèlement le son qu'on pourrait imaginer avoir à cet endroit.

3.2.3 - *Ponyo sur la falaise*, Hayao Miyazaki (2008)

Ponyo sur la falaise (2008) est un film d'animation du studio Ghibli qui raconte comment la fille de la reine des océans va tomber amoureuse d'un garçon humain. Les ambiances sous-marines sont souvent composées par un fond d'eau plutôt grave et calme qui est accompagné par des mouvements de fluides plus ou moins forts en fonction de la vitesse des personnages. Lors de la première scène, le père de Ponyo pratique de la magie dans une sorte de laboratoire sous-marin. Il produit des sons technologiques, qui sont un mélange de bulles et de sons musicaux. Justement, les bulles, dès qu'elles sont visibles à l'image, sont systématiquement mises en son et sont utilisées dès qu'un personnage se déplace ou qu'il y a une action mécanique sous l'eau. Les bulles ont généralement un son assez aigu qui éclate lorsqu'on montre des objets ou des personnages de petite taille. Elles deviennent plus graves pour signifier la saleté du port de pêche de la ville ou alors lorsqu'il y a un torrent de poisson qui file à travers l'océan, provoquant alors une forme de bouillonnement.

3.2.4 – Conclusions sur les ambiances sous-marines dans l'animation

Le corpus de films a été choisi pour avoir une vision d'ensemble sur les ambiances sous-marines dans l'animation. La Petite Sirène est un des premiers films d'animation dont l'intrigue se passe sous l'eau la majeure partie du temps, Le Monde de Nemo est une référence dans ce domaine et a été une grande source d'inspiration pour d'autres films et enfin Ponyo sur la falaise nous permet d'avoir un représentant du cinéma japonais avec le studio Ghibli. Ces trois œuvres nous ont montré que la musique prenait une place fondamentale dans

la bande sonore, laissant donc très peu de place pour les ambiances sous-marines et les fonds d'eau. Ainsi, ce sont les whooshs et les bulles qui sont utilisés pour mettre en son les mouvements des personnages et qui rappellent que les séquences se passent sous l'eau. La couleur du son des bulles avec leur spectre plus ou moins grave nous permet de savoir si l'objet en question est plus ou moins gros. Elles sont énormément utilisées et représentent la majeure partie de ce qu'on pourrait qualifier d'ambiance sous-marine. On constate également qu'avec le temps, les sons utilisés sont de meilleures qualités et les montages sont de plus en plus précis et détaillés.

3.3 – Ambiances sous-marines dans les films de science-fiction

3.3.1 – *Le grand bleu*, Luc Besson (1988)

Le grand Bleu (1988) raconte la vie d'Enzo et Jacques, deux apnéistes de renom, dans leur quête des records pour l'un, et de la passion de la mer pour l'autre. César du meilleur son et de la meilleure musique originale en 1989, il est important de parler de la musique, puisqu'elle joue un rôle central dans la bande sonore. En effet, elle contient régulièrement des sons ponctuels qui sont très proches d'éléments de sound design qui parfois rendent difficile la distinction entre son et musique. On peut citer par exemple les chants de baleines, les drones graves ou encore des sons de lourd fracas. Les rares séquences où l'on peut entendre des bruitages d'action sous l'eau sont toujours très réverbérées, cela donne l'impression que les sons dans l'océan sont très diffus. L'autre effet de cette réverbération algorithmique qui sonne très artificielle est de faire sonner les objets sonores comme s'ils faisaient partie de la musique. Les ambiances sous-marines sont composées presque uniquement de petites bulles qui surviennent lorsque les personnages du film s'immergent ou lorsqu'on voit des plongeurs dont on entend aussi les respirations à travers le détendeur.

3.3.2 – *Le chant du loup*, Antonin Baudry (2019)

Le Chant du Loup (2019) nous plonge avec l'équipage d'un sous-marin nucléaire dans un contexte géopolitique tendu. On suit notamment « l'oreille d'or » du bâtiment qui est capable d'identifier les sons qui se trouvent autour du sous-mersible. L'univers et les ambiances sous-marines sont tout à fait réalistes, on peut y retrouver le bruit des vagues en surface, filtré, ou

encore des sons de cétagés qui évoquent l'aspect profond et inconnu de l'océan. Lorsque l'oreille d'or écoute l'extérieur du submersible, on peut entendre de nombreux cliquetis que peuvent faire certains poissons ou crustacés qui se mélangent parfois avec des signaux électroniques que peuvent émettre les sonars ou certaines machines. Lorsqu'il se déplace, le sous-marin produit un écoulement liquide qui est retransmis en son et amplifié par de long *wooshs* graves qui viennent accentuer la sensation de mouvement. Le sous-marin émet aussi des craquements métalliques inquiétants, des grincements métalliques et des *wooshs* assez graves. Dans le film, on a des moments où c'est la caméra qui est en mouvement. On est donc dans le point de vue interne de cette dernière et ses déplacements sont donc mis en son avec des mouvements de fluide par exemple.

3.3.3 – Avatar 2 : la voie de l'eau, James Cameron (2022)

Avatar 2 : La voie de l'eau (2022) raconte le combat des Na'vi, un peuple d'autochtones proche de la nature, contre des humains qui viennent piller les ressources de la planète. Un de ces clans est très proche de l'océan et s'est adapté à la vie aquatique, ce qui explique les nombreuses scènes sous-marines du film. Les ambiances sous-marines sont composées d'un fond d'eau grave un peu bouillonnant qui est un troisième plan sonore assez éloigné du reste de la bande sonore. Au premier plan sonore, on retrouve les *whooshs* (utilisés pour les mouvements rapides ou pour les objets massifs) et des mouvements de déplacements liquides lorsque les personnages nagent. L'écart de niveau entre ce premier plan et le fond d'eau permet de créer une atmosphère calme dès que les personnages arrêtent de s'agiter. Au contraire, lorsqu'ils font des mouvements brusques, on peut avoir des bulles qui viennent compléter les mouvements fluides. Le film comporte plusieurs espèces aquatiques intelligentes qui communiquent avec les peuples indigènes par des sons. Certaines ont des cris assimilables à ceux des dauphins en utilisant de petits cliquetis. D'autres espèces de plus grande taille émettent des chants graves caractéristiques des cétagés et alternant parfois avec des cliquetis plus médiums et réverbérés. Le film nous met à certains moments dans la peau de ces animaux qui entendent le monde avec un filtre dans les aigus et les voix qu'ils perçoivent ont un léger écho. Enfin, d'un point de vue acoustique, l'univers semble très réaliste, il y a très peu de latéralisation, les cris des animaux semblent proches malgré leurs

distances (dû à la vitesse de propagation du son) et les éléments sont très secs et peu réverbérés (comme le sonar ou des chutes de pierres).

3.3.4 – Conclusions sur les ambiances sous-marines dans la fiction

Les films qui composent le corpus de fictions ont été choisis pour représenter des types d'ambiances sous-marines différentes. *Le Grand Bleu*, par son succès, est un film référence dans ce que l'imaginaire collectif pense des ambiances sous-marines. *Le Chant du Loup* est lui plus réaliste et se concentre sur les sons qu'on peut vraiment entendre sous l'eau à travers l'oreille d'or du submersible. Enfin, *Avatar 2* nous permet d'assister à des scènes sous-marines dans un univers merveilleux avec des créatures fantastiques. Il y a moins de codes en fiction, mais on constate toujours une part plus ou moins importante de la musique qui peut se mélanger avec la bande sonore. Cependant, on peut mettre l'accent sur le côté réaliste et dans ce cas les sons non musicaux prennent de l'importance. Les sons utilisés sonnent de manière plus vraisemblable, même si ce n'est pas toujours cohérent avec la réalité. Les bandes sonores sont plutôt créatives et il y a une recherche très poussée au montage son, notamment lorsqu'il y a des personnages et des êtres fantastiques dont il faut inventer les sonorités.

3.4 – Comparaison des genres et résumé

Pour conclure sur ces analyses filmiques à travers différents genres, on peut dire que les films d'animation n'accordent que très peu de place aux ambiances sous-marines qui sont réduites à des *whooshs* et des bulles qui remplacent les présences et les bruits de pas qu'on retrouve pour les personnages à la surface. Au contraire, les films documentaires mettent en avant les fonds d'eau et essaient de faire des ambiances sous-marines les plus réalistes possibles, même si parfois elles en deviennent perturbantes puisqu'elles ne correspondent pas aux codes cinématographiques habituels. Enfin, les films de fiction sont plus libres et, en fonction des films, peuvent faire des choses plus ou moins musicales. Les films de fiction suivent les codes de l'imaginaire des ambiances sous-marines, même si ces derniers ne sont pas toujours en accord avec la réalité. Les trois genres ont cependant des points communs. Par exemple plus les films sont récents, plus les bandes sonores sont chargées, précises et avec des sons de meilleure qualité.

* * *

PARTIE II – Test expérimental : création d'ambiances sous-marines de fiction au cinéma

1 - Contexte

1.1 - Analyse et conséquences des analyses filmiques

1.1.1 - Champ lexical des ambiances sous-marines

Les analyses filmiques que nous avons menées dans la partie précédente nous ont permis de voir tous les sons qu'il était possible de retrouver dans les ambiances sous-marines. Ces types de sons permettent de qualifier à peu près toutes les ambiances sous-marines, de la fiction en passant par l'animation jusqu'au documentaire. Ces types de sons sont très différents et notre expérience vise à comprendre quelles influences ils ont sur les spectateurs et quelles émotions ils peuvent provoquer.

1.1.2 - Adaptation au contexte des extraits

Bien que certains types de sons soient plus utilisés dans certains genres cinématographiques, nous allons nous efforcer de donner aux participants de l'expérience de mixage le plus de matière possible. L'intérêt de cette étude est de donner le plus de choix de matière sonore aux participants pour qu'ils puissent reconstruire les ambiances sous-marines comme bon leur semble, avec le moins de restrictions possible. La construction des montages sons est donc faite avec la volonté d'avoir à chaque fois au moins un son de chaque catégorie dans l'extrait et, puisqu'il est relié à l'image, qu'il soit un minimum cohérent avec cette dernière.

1.2 – Questions de recherche et critères d'évaluation

1.2.1 – Quels sont les *stems* les plus utilisés ?

À travers cette expérience, on va essayer d'établir une relation entre les adjectifs utilisés et l'utilisation de certains *stems* en particulier. Notamment, on pourra essayer de se demander quels sont les *stems* qui ont été les plus utilisés, ceux qui ont été mixés le plus fort et ceux qui ont au contraire été plutôt délaissés en fonction de la direction artistique imposée aux participants.

1.2.2 – La spatialisation est-elle en corrélation avec la sensation d'immersion ?

Un autre point intéressant à analyser est la sensation d'immersion, que l'on définit comme étant la sensation d'un spectateur d'être plongé dans un film. Le fait que certains des *stems* soient avec différentes spatialisations permettra de pouvoir déterminer si la sensation d'immersion résulte de la diffusion sur des enceintes situées autour de la personne ou si elle est plutôt due aux types de sons.

1.3 – Explication du protocole expérimental

1.3.1 - Compositions des *stems*

Nous allons recréer les ambiances sous-marines de ces extraits en regroupant les sons des mêmes familles en *stems*. Chaque *stem* aura une spatialisation différente et sera associé à un *fader*. En nous basant sur la partie précédente sur les analyses filmiques et la réalité des sons qu'on peut trouver sous la surface, nous avons établi huit *stems* différents dont voici la liste avec la spatialisation entre parenthèses :

- 1) Fond d'eau (5.1)
- 2) Cétacés (*stereo* avec une réverbération 5.1)
- 3) Métal (*mono*)
- 4) Wooshs & bulles (*mono*)
- 5) Tonal (*stereo*)

- 6) Drones (*stereo*)
- 7) Scintillements (*mono*)
- 8) Animaux (*mono* avec une réverbération 5.1)

L'objectif de cette expérience est de pouvoir comprendre quelles sont les émotions que certains types de sons produisent sur les spectateurs lorsqu'ils visionnent des scènes subaquatiques.

Pour ce faire, nous allons faire mixer des ambiances sous-marines aux participants de l'expérience en fonction d'adjectifs clefs qui correspondront à une sensation ou direction artistique qu'il faudra donner à la séquence.

Pour ce faire, les participants disposeront d'une console de mixage dans un auditorium de cinéma avec huit *faders* qui auront tous des types de sons différents associés à chacun. Ces sons regroupés par *fader* sont ce qu'on appellera des *stems*, des groupes de sons qui appartiennent à la même famille que nous détaillerons par la suite.

Nous essayerons alors de trouver des corrélations entre les émotions données et la mise en avant de certains *stems* pour pouvoir donner des caractéristiques aux ambiances en fonction des différentes séquences.

1.3.2 – Choix des extraits de films utilisés

Pour réaliser notre expérience, nous allons utiliser des séquences qui proviennent de différents films de fictions, pour essayer de nous assurer de la stabilité de nos résultats et comprendre des éventuelles variations en fonction de l'image.

Comme l'expérience se veut ouverte à tous, nous avons choisi des films assez médiatisés qui ont connu une forme de succès. L'idée est de mettre les participants dans une zone de confort, puisqu'ils peuvent être familiers avec les personnages et avoir une idée de l'histoire qui précède et qui suit l'extrait dont il est question. Pour avoir des extraits qui durent environ une minute, nous avons réalisé des coupes dans les images originales. Le but est de pouvoir avoir suffisamment d'éléments différents et en même temps des images qui se déroulent entièrement sous l'eau durant la durée des extraits, tout en ayant des temps d'extraits relativement courts. Comme la plupart des participants sont novices devant une console de mixage, il ne faut pas que les extraits soient trop longs pour qu'ils puissent mixer

suffisamment rapidement. De plus, plus la séquence est longue et variée, plus il devient nécessaire de mixer avec des positions de fader qui varient en fonction du temps, alors que nous cherchons au contraire un niveau de fader unique sur l'ensemble de la séquence.

Au vu de ce que nous avons expliqué précédemment, les extraits sélectionnés sont donc :

- *Avatar 2 : La voie de l'eau* (2022)¹ : première immersion : **00 : 57 : 49**
- *Harry Potter et la coupe de feu* (2005)² : La scène du lac : **01 : 32 : 00**
- *Le Grand Bleu* (1988)³ : la première plongée profonde en apnée **01 : 19 : 00**

Le timecode donné est indicatif et donne une idée du début de la séquence, puisque nous avons effectué des coupes dans l'image.

¹ <https://youtu.be/fUdJdARUFuc>

² <https://youtu.be/N6t0Nwz1XGA>

³ <https://youtu.be/MsHTS-DHwdE>

1.3.3 - Présentation du protocole aux participants

Voici la présentation du protocole aux participants :

Assurez-vous avant de commencer d'avoir bien pris connaissance et signé la notice d'information et de consentement éclairé.

Pour commencer l'expérience, merci de répondre à ces trois questions par oui ou par non.

- Êtes-vous professionnel ou en voie de professionnalisation dans les métiers du son ?
- Allez-vous plus de dix fois par an au cinéma ?
- Avez-vous déjà eu des expériences en apnée ou en plongée en bouteille ?

L'objectif de cette session est de mixer les ambiances sous-marines des extraits de film en fonction d'un adjectif qui correspond à une direction artistique qu'on souhaite donner à la séquence. Les ambiances sont découpées en stems qui sont en fait des sons similaires rassemblés sous un même fader. Dans le temps imparti, vous allez devoir mettre au niveau que vous semblez être juste chacun des fader présents ci-dessous en fonction d'un adjectif donné. Voici comment va se dérouler l'heure devant vous :

- **15 minutes** de découverte de la console et des stems sur une séquence test (Le Chant du Loup⁴) pour se familiariser avec l'environnement.
- **20 minutes** pour mixer l'extrait 1 avec les 4 adjectifs
- **20 minutes** pour mixer l'extrait 2 avec les 4 adjectifs
- **5 minutes** de débriefing et de conclusion

Avant de commencer, nous allons vous distribuer un guide d'utilisation de la console avec les quelques boutons qui pourront vous être utiles pour l'expérience.

Il est important de noter que le passage des différentes séquences et le choix des adjectifs associés sera effectué par moi-même. Il est possible que vous soyez seul ou en binôme, dans le second cas, il est important de trouver un commun accord avant de valider le mixage d'un extrait. »

-----[début de l'expérience] -----

⁴ <https://youtu.be/rPhmgM-KIL8>

1.4 – L'expérience de mixage

1.4.1 – Installations techniques

Les mixages auront lieu du 28 avril au 10 mai dans l'auditorium de mixage de Louis Lumière pendant des sessions de 1h30 avec un ou deux participants. L'auditorium est une salle insonorisée dont les dimensions sont : 10,43m x 7,36m x 2m (voir **Figure 15**). Elle est équipée d'un projecteur Christie ME08637 – LWU502 pour la diffusion de l'image.

Au niveau du matériel, le mixage est réalisé sur un bac de *fader* de la console Euphonix S5 *Fusion*, les films seront projetés sur l'écran en face et les participants auront aussi sous la main le transport et un écran dédié pour pouvoir faire défiler le film.

1.4.2 – Conditions d'écoute

La façade de la salle est équipée d'enceintes actives Meyer Sound Acheron Studio, d'enceintes JBL 3310 sur les côtés (*surround*) et de deux caissons de basses X800-C. Tout ce système est monitoré par deux processeurs d'écoute Meyer Sound Galiléo 408. La diffusion se fera au format 5.1, qui est un format classique de mixage et de diffusion au cinéma. Les participants écouteront donc le film au centre de la salle, devant la console, à la place d'un mixeur, au niveau de ce qu'on appelle le *sweetspot*, une zone d'écoute optimale ou « point de convergence du système d'écoute multicanal ITU le centre du cercle d'écoute » (Périaux *et al.*, 2015).



Figure 15. Auditorium de mixage de Louis Lumière

1.4.3 – Relevé des données

Le mixage se fera à l'aide du logiciel *ProTools*, c'est là que se trouvera la session de travail avec les différents *stems* et les images. On recréera une nouvelle session à chaque nouveau participant pour s'assurer que chacun effectue l'expérience avec la même base de travail. Une fois un mixage effectué, on inscrira le niveau de chacun des *faders* dans la session pour pouvoir traiter ces informations après les sessions (**voir l'annexe C**). On sera donc en mesure pour chacun des participants de savoir (en dB) quel est le niveau qu'il a mis sur chacun des *stems* en fonction de l'extrait vidéo et de l'adjectif utilisé.

Les données seront rentrées dans un tableur pour pouvoir traiter ces informations. Pour linéariser les niveaux, nous allons découper un *fader* en 6 zones pour transformer des valeurs en dB en des informations de zone. Avec une zone de niveau lorsque le fader n'est pas utilisé (0), une zone de niveau très faible (1), une zone de niveau faible (2), une zone de niveau moyen (3) et une zone de niveau fort (4) et une zone de niveau très fort (5).

Echelle de Linéarisation	
1	si compris entre -99 et -50,1 dB
2	si compris entre -50 et - 20,1 dB
3	si compris entre -20 et - 10,1 dB
4	si compris entre -10 et -0,1 dB
5	si compris entre 0 et 12 dB
Sinon 0	

Figure 16. Échelle de linéarisation des *faders*

La linéarisation des données va nous permettre de faire des moyennes et de pouvoir donner des informations plus claires sur les résultats de l'expérience.

Maintenant que nous en savons un peu plus sur le contexte de l'expérience, nous allons nous intéresser à la prise de son sous-marine qui nous permettra de constituer certains *stems* pour le test de mixage.

2 – Prises de son sous-marines

2.1 – Hydrophones

2.1.1 – Principe de fonctionnement

Un hydrophone est un transducteur qui transforme une variation de pression causée par une onde mécanique en un signal électrique qui est ensuite filtré, amplifié et analysé pour qu'on puisse l'écouter. (Boumchedda et al., 2007)

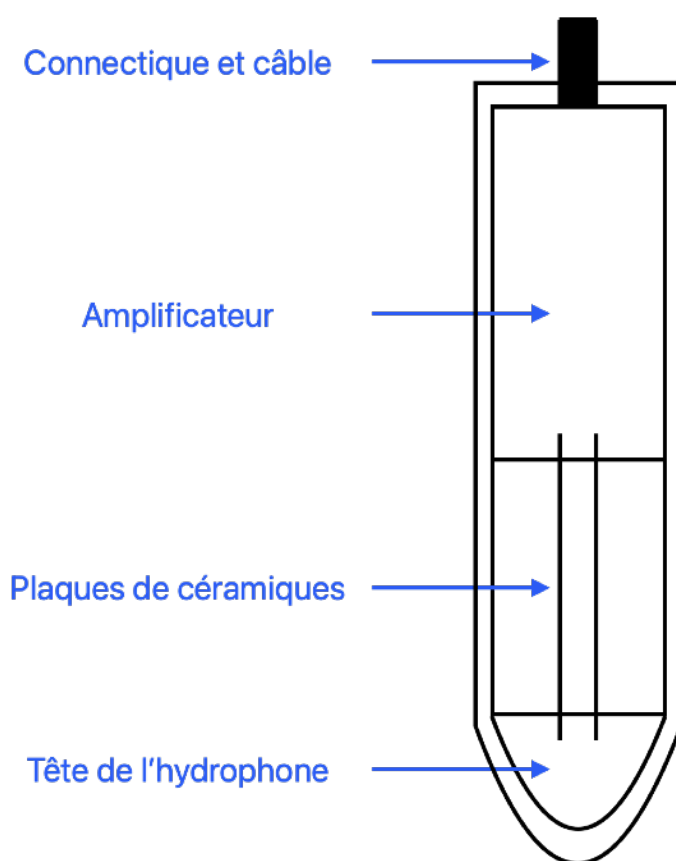


Figure 17. Schéma simplifié d'un Hydrophone

Bien qu'il existe plusieurs technologies différentes, les hydrophones piézoélectriques sont les plus courants. Comme sur la **Figure 17**, la pression va déformer les plaques en céramique qui vont produire un courant électrique que l'on va pouvoir exploiter pour obtenir des informations acoustiques.

2.1.2 – Exemples de dispositifs

Il existe de nombreux dispositifs de prises de son sous-marines, et nous allons en détailler quelques-unes ici.

Ce qui différencie les hydrophones, ce sont principalement leurs usages, c'est-à-dire quels types de sons on cherche à analyser. Il existe des hydrophones dits passifs (puisqu'ils n'émettent aucun son) qui sont utilisés pour faire des paysages sonores sous-marins, comme ceux de l'observatoire acoustique CARI'MAM, un réseau d'hydrophones déployé dans les Caraïbes pour enregistrer l'activité des mammifères marins.

Les hydrophones sont aussi utilisés à des fins militaires, comme avec le programme SOSUS (Sound Surveillance System) qui a été développé dans les années 1950 par les Américains pour suivre et détecter la présence des sous-marins russes autour de leurs côtes. (Edward, 2005)

On peut aussi noter que certains hydrophones sont utilisés pour vérifier l'activité sismique et les niveaux générés par les chantiers maritimes comme la construction des ports (Bouée RUBHY).

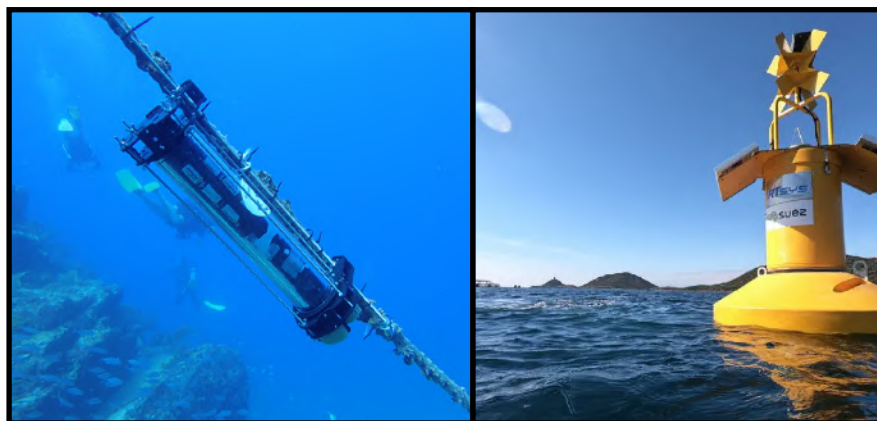


Figure 18. Hydrophone du réseau CARI'MAM (gauche) et une bouée RUBHY (droite)

Pour faire nos prises de son, nous allons utiliser du matériel moins onéreux et plus approprié pour le paysage sonore.

2.2 – Conditions de réalisations

2.2.1 – Matériel utilisé

Pour le tournage, nous avons loué chez *Tapages et Nocturnes* l'hydrophone ASF-2 MKII qui correspond à un modèle milieu de gamme de la marque *Ambient* qui est assez connu sur le marché des hydrophones. C'est un hydrophone qui permet d'enregistrer jusqu'à 10m de profondeur et sur une bande de fréquence allant de 70Hz à 90kHz ce qui est largement suffisant pour le type de son que nous recherchons.

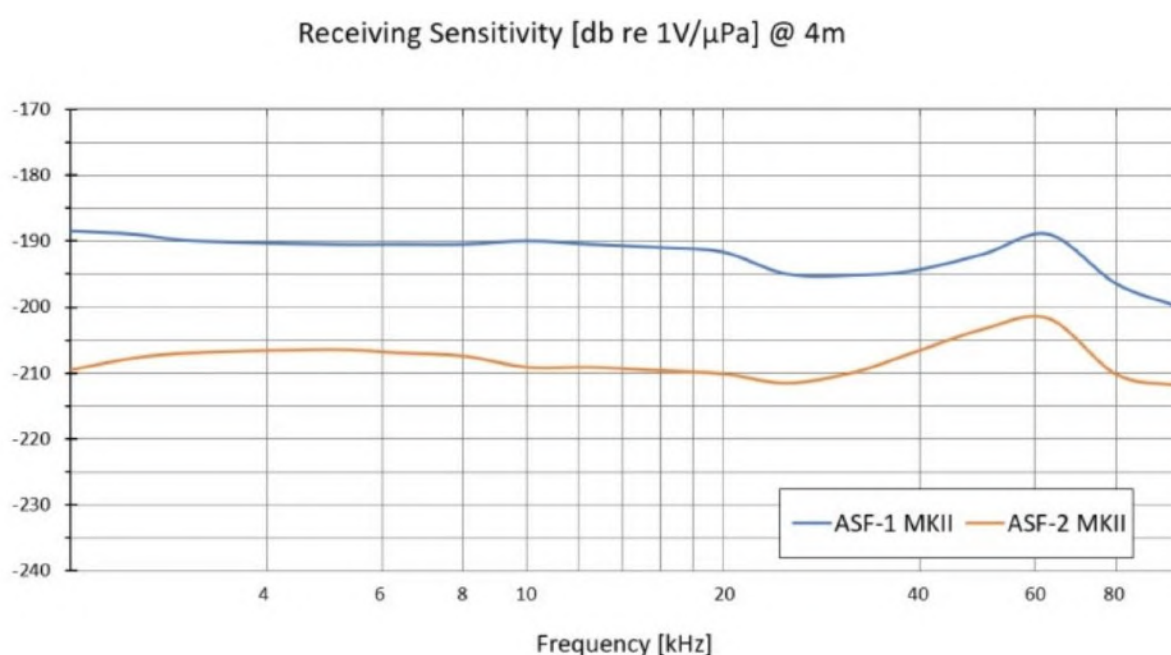


Figure 19. Courbe de sensibilité du ASF-1 MKII (bleu) et de l'ASF-2 MKII (jaune) en fonction des fréquences

Pour l'enregistreur relié à l'hydrophone, nous prendrons une carte son *MixPre 3 II Sound Devices* qui est disponible à l'école. Elle possède de très bons préamplificateurs de qualité professionnelle qui permettent d'enregistrer des sons jusqu'à 32bits flottant à une fréquence de 192kHz. Bien que l'on fasse la majorité des enregistrements en 24bits/48kHz qui sont les configurations habituelles pour le son à l'image, il pourra nous être utile d'enregistrer à des fréquences d'échantillonnages plus élevées pour aller voir ce qui se passe dans des fréquences très aiguës. Bien que trop loin pour être audible, il sera intéressant de les ramener dans notre domaine d'écoute pour entendre ce qui s'y trouve.

2.2.2 – Lieux de tournages

Les prises de son auront lieu dans le lac Léman qui se situe entre la France et la Suisse qui a une profondeur moyenne de 152,7m pouvant aller jusqu'à 309,7m selon un rapport de la Commission internationale pour la protection des eaux du Léman (CIPEL, 2020).

Nous ferons également des prises de sons dans des cours d'eau du Valais, comme des rivières, des étangs ou des piscicultures. D'un point de vue logistique et économique, il était plus pratique pour moi d'aller faire ces prises de sons là-bas puisque je pouvais être hébergé par mes grands-parents et que mon grand-père pêcheur connaît très bien les eaux des environs.

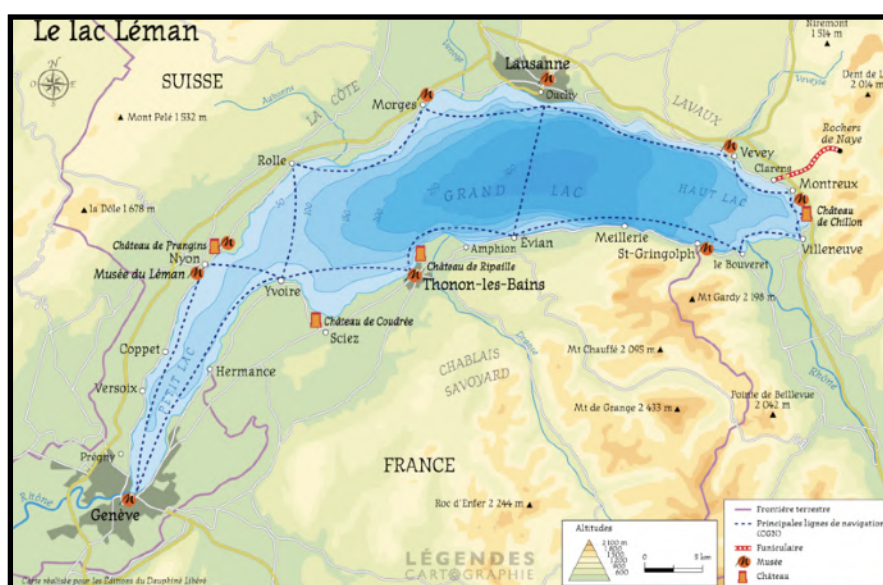


Figure 20. Carte du Lac Léman (Légendes Cartographie, 2022)

2.2.3 - Protocole et démarche de prises de son

Le but de cette session de prise est de trouver différentes textures de sons pour comprendre comment le son se propage, mais aussi de ramener de la matière sonore qui va nous servir pour compléter le montage son des extraits de film de notre partie pratique.

Bien que cette démarche soit purement artistique, nous allons essayer de catégoriser les sons et renseigner le plus de détails sur les conditions d'enregistrement.

Un journal de bord, disponible en **annexe D**, montre les différents lieux de tournages ainsi que les conditions météorologiques et les types de sons qui ont été enregistrés.

2.2.4 - Hypothèses et recherches

Les prises de son nous permettront d'essayer de répondre à plusieurs hypothèses qui découlent des analyses filmiques de la partie précédente. Nous essayerons donc de voir comment les sons extérieurs sont perçus en fonction de l'immersion du microphone et de la contribution de la houle en fonction de la profondeur.

On essaiera de constater les différences acoustiques lorsque l'hydrophone est proche ou loin du fond, s'il est près du bord et la différence entre les types de sols (pierre, vase, etc.).

On essaiera aussi de voir comment des sons éloignés sont perçus en fonction de leurs distances (activités humaines, sonar, etc.) et pourquoi pas constater du son de la faune et de la flore locale.

Enfin, cette prise de son sera l'occasion de constater des différences en fonction des différents phénomènes météorologiques.

2.3 – Résultats des prises de son

2.3.1 – Conditions de tournages



Figure 21. Système canne + hydrophone

Le tournage a duré cinq jours, durant lequel j'ai réalisé des prises de son dans différents environnements sous-marins. J'étais accompagné de mon grand-père qui connaissait très bien

la région et qui s'occupait de tenir le système canne + hydrophone (voir **Figure 21**) pendant que j'écoutais l'enregistrement.

L'hydrophone passait à travers une boucle fixée à l'extrémité de la canne, ce qui permettait à la fois de contrôler sa profondeur d'immersion, mais aussi de pouvoir atteindre des zones qui auraient été inaccessibles sinon. Le système s'est avéré très efficace puisqu'il a permis un meilleur contrôle sur l'hydrophone et a limité les bruits de manipulations ou les sons de frottements le long du câble.

2.3.2 – Analyse et *de-rushs* des prises de son

Une fois les enregistrements terminés, j'ai fait un *de-rush* des sons à l'aide du logiciel *Reaper*. Cette étape permet de pouvoir réécouter les sons loin du lieu de tournage, pour mieux les analyser et filtrer ou couper les parties inutilisables. Par exemple, lorsque l'hydrophone touche un objet, il émet un son très fort qu'il n'est pas nécessaire de garder. Une fois coupé et analysé, on renomme les sons de manière plus propre pour pouvoir les distinguer plus facilement et les utiliser dans de futurs projets.

2.3.3 – Conclusions sur le tournage

Ces cinq jours de tournages auront permis de réaliser environ une quarantaine de sons, allant de rivières plus ou moins rapides en passant par le lac Léman, des étangs ou encore une pisciculture. À partir des hypothèses de base que nous avons formulées, il nous a été possible de tirer plusieurs conclusions sur la prise de son sous-marine.

Tout d'abord, ce qui se passe à la surface comme la pluie ou le bruit des vagues sur la coque du bateau est tout à fait audible lorsqu'on enregistre à 10m de profondeur dans l'eau calme d'un lac. Il est possible de capter les sons d'un moteur de bateau même si celui-ci se trouve à plusieurs centaines de mètres de l'hydrophone. On a même pu entendre le son très grave d'un train qui passait sur la berge à plusieurs centaines de mètres de nous. Lors d'une prise de son dans un étang, on a pu entendre des pas dans la neige à quelques mètres de l'hydrophone qui était immergé à environ un mètre de profondeur. Les prises de son dans une pisciculture nous ont permis de trouver des cliquetis vraisemblablement émis par les truites qui étaient dans le bassin. Plonger un hydrophone dans un liquide en écoulement, lorsqu'il y a plus de courant, par exemple, nous permet d'entendre des mouvements de liquides. Une prise de son devant

une barrière de bouées de plusieurs centaines de mètres reliées entre elles par des chaînes nous a permis de nous rendre compte du lien entre la réverbération et l'acoustique sous-marine. Il était possible d'entendre le grincement des chaînes situées assez loin, mais avec une toute petite sensation de réverbération, beaucoup plus faible que si elles grinçaient à l'air libre. Cela vient du fait que sous l'eau, le son se propage beaucoup plus rapidement.

Une petite partie de ces sons a été utilisable pour le montage son des différents extraits que j'ai réalisés. Je détaillerai plus en détail leur provenance et leurs utilisations.

3 – Montage son et mixage des différents stems d'ambiance

3.1 – Synthèse sonore

3.1.1 – Banque de sons *Straylight* de Kontakt

Pour la synthèse sonore, on va utiliser une banque de sons qui se nomme *Straylight* et qu'on retrouve dans le logiciel *Kontakt*. C'est une banque de son que j'ai déjà utilisée et qui offre la possibilité de faire de la synthèse granulaire avec à une approche très intuitive, ce qui facilite la création. Elle a notamment été beaucoup utilisée pour la création de musique, pour des films ou des jeux vidéo. Ces sons qui sont assez tonaux peuvent être utilisés dans les différentes séquences.



Figure 22. Interface utilisateur de *Straylight*

L'interface principale est composée de deux échantillons au milieu à droite et à gauche qu'il est possible d'interchanger, de mettre plus ou moins fort et de voir l'évolution du son sur la forme d'onde correspondante juste en dessous. La partie du centre est un repère de coordonnées de la forme XY qui va venir appliquer des modifications en temps réel sur la combinaison de ces deux échantillons en fonction de la position.

**Figure 23.** Menu *Grain* de *Straylight*

Le menu *Grain* est un menu secondaire qui nous permet d'avoir un contrôle plus précis sur nos deux échantillons et de venir modifier des paramètres plus classiques de la synthèse granulaire comme la taille des grains, leur *pitch* ou l'enveloppe.

Ainsi, bien que simpliste et facile à prendre en main, il est quand même possible d'avoir accès à des réglages plus fins pour détailler le son de manière plus précise.

3.1.2 – Le sampler *Alchemy* de *Logic Pro*

La synthèse sonore des extraits a également été travaillée avec *Alchemy* qui est le synthétiseur d'échantillons qui est fourni avec le logiciel *Logic Pro*. Il permet de faire de la synthèse spectrale, granulaire et additive, ce qui en fait un outil très complet une fois qu'on a une bonne prise en main.

Il a l'avantage d'avoir une très grande banque de son et de *presets* qui peuvent servir de base de travail en fonction du son que l'on veut obtenir.



Figure 24. Paramètres avancés dans *Alchemy*

La figure ci-dessus montre que l'on peut avoir 4 sources (A, B, C et D) que l'on va pouvoir modifier séparément en termes de niveau ou panoramique. En haut à droite, on a un panneau de master et un panneau de filtrage, au milieu, un espace de modulation pour gérer l'enveloppe du son et en bas, des effets assez communs comme la *reverb*, le *delay* ou la chaleur.

Encore une fois, on a un outil qui est plutôt facile à prendre en main et qui peut s'utiliser pour modifier le son en live grâce à des macros qui permettent un contrôle des paramètres avec des boutons sur le clavier maître sur lequel nous jouons les sons.

Maintenant que nous avons compris comment utiliser la synthèse sonore, nous allons décrire notre montage son et voir de plus près la composition des *stems*.

3.2 – Constitution des stems

3.2.1 – Stems composés des prises de son

Nos prises de sons en Suisse nous ont permis de ramener beaucoup de matière sonore qui rentrait parfaitement dans le *stem* **Fond d'eau** et le *stem* **Wooshs&Bulles**. Ces deux *stems* contenaient certaines de nos prises de son comme des *roomtone* à quelques mètres sous la surface du lac Léman, utile pour l'extrait du Grand Bleu lorsque l'apnéiste se trouve au fond de l'océan ou des mouvements de liquides que nous avons trouvés au Vieux Rhône, là où les eaux du fleuve se jettent dans le lac. Ces mouvements liquides nous ont été utiles pour bruiser les mouvements de brasse dans Harry Potter, le déplacement à proximité du sous-marin du Chant du Loup ou encore la descente de l'apnéiste du Grand Bleu.

3.2.2 – Stems composés de synthétiseurs

Le *stem* Tonal était uniquement composé de sons créés avec *Alchemy* et *Straylight*. Ce *stem* contenait plusieurs couches de sons qu'on appelle des *layers* qui permettent de complexifier et densifier le son pour faire entendre plusieurs choses différentes. Il est important de noter que nous avons mixé au préalable ces *layers* puisque les participants n'y avaient pas accès.

3.2.3 – Stems composés de banques de sons

Les *stems* **Fond d'eau**, **Cétacé**, **Scintillement**, **Whooshs&Bulles**, **Animaux**, **Drones**, **Métal** ont été constitués avec des sons trouvés dans la sonothèque de Louis Lumière. La majorité des sons du montage sonore des extraits sont issus de cette sonothèque. On retrouve principalement des sons de l'océan, des sons de bulles, des grincements métalliques, des scintillements aigus (qu'on appelle des *chimes* en anglais) et des animaux marins.

3.2.4 – Stems composés de bruitages

Enfin, le *stem* **Whooshes&Bulles** contenait des bruitages réalisés avec un microphone de la marque *Octava* et une bassine d'eau. Ces bruitages ont été nécessaires pour symboliser le déplacement des personnages dans l'eau.

3.3 - Construction sonore et différences entre les extraits

Les trois extraits soumis à notre étude présentent des différences majeures à l'image, il est donc important de noter pour chacun d'entre eux quelles sont les émotions dominantes pour pouvoir au mieux les comparer et pouvoir analyser le plus précisément que possible les résultats qu'on obtiendra.

3.3.1 - Avatar 2 : la voie de l'eau ⁵

Cet extrait propose une version assez idyllique du monde sous-marin, avec une flore magnifique et abondante de vie. Dans ce contexte, notre montage son est composé de nombreux *wooshs*, de bulles et de mouvements liquides qui sont utilisés pour les déplacements des créatures présentes à l'image. On a également des scintillements lorsqu'il y a une nuée de petits animaux qu'on peut assimiler à des poissons. Les sons tonaux sont plutôt à tendance majeure, pour refléter le caractère paradisiaque de cet environnement.

3.3.2 - Harry Potter et la coupe de feu ⁶

A contrario, cet extrait est beaucoup plus sombre, les séquences se déroulent dans un lac aux eaux troubles et sombres. La visibilité est réduite et tout laisse penser que ce monde est plutôt hostile envers les protagonistes qui ont du mal à évoluer dans ce milieu qui semble abriter des créatures menaçantes. Le fond d'eau est donc plus sombre et les bulles sont plus graves pour accentuer le caractère trouble et angoissant des scènes. Les sons tonaux sont, eux aussi, dramatiques et oppressants.

⁵ <https://youtu.be/fUdJdARUFuc>

⁶ <https://youtu.be/N6t0Nwz1XGA>

3.3.3 - Le Grand Bleu ⁷

Cet extrait est en deux parties, une première plus lumineuse où l'apnéiste quitte la surface pour explorer les profondeurs. Une deuxième partie plus sombre où on retrouve le plongeur à plus de 100m de profondeur dans une eau noire sans visibilité autour. L'apnéiste n'est pas en pleine possession de ses moyens et pense entendre des bruits autour de lui. Le fond d'eau plutôt léger au début sera plus grave dans la 2^e partie de l'extrait pour symboliser le fait qu'il se trouve dans un environnement hostile. Les sons tonaux suivront cette mouvance en donnant une note d'espoir qui se transforme en sons inquiétants, voire désaccordés par la suite.

* * *

⁷ <https://youtu.be/MsHTS-DHwdE>

PARTIE III – Analyse des données de l'expérimentation

1 – Exploitation des résultats

1.1 - Traitement des données

1.1.1 - Linéarisation des données

Une fois les expériences terminées, nous avons reporté toutes les valeurs des *faders* qui étaient stockées dans *ProTools* dans un grand tableau pour pouvoir mieux travailler ces données.

TABLEAU DE MESURES												
	Mystérieux	Réaliste	Calm	Energique	Mystérieux	Réaliste	Calm	Energique	Mystérieux	Réaliste	Calm	Energique
Candidat 10	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Fond Eau		1,2	-1,8	-8,5	8,8	2,0	-2,8	-15,5	-1,9			
Catéacé		-11,0	-29,0	-14,9	-3,4	1,8 -∞		-30,0	1,3			
Scintillement		7,9 -∞		-7,4	-1,2	-4,5 -∞		-35,8	1,2			
Tonal		-7,1 -∞		-15,4	3,1	1,2 -∞		-31,0	-7,2			
Whoosh		-1,7	-15,3	-22,2	4,8	-10,6	-2,5	-14,2	5,0			
Animaux		0,0	-24,3	-26,2	2,7	0,3 -∞		-29,2	9,0			
Drones		-8,2	-27,3	-31,1	-10,2	-5,1	-15,5	-39,7	8,5			
Métal		2,5 -∞		-35,0	4,1	-24,0 -∞		-46,8	-15,2			
Candidat 11	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Fond Eau		-4,9	-6,0	-3,6	-7,5					-4,0	-3,2	-1,4
Catéacé		-22,9	-17,0	-15,0 -∞						-6,5 -∞		-13,4
Scintillement		-22,0 -∞		-10,0	-19,7					-∞		-23,8
Tonal		-21,1 -∞		-11,3 -∞						-∞		-4,0 -∞
Whoosh		-8,8	-4,8	-9,5	-0,5					-5,0	-11,1	-21,6
Animaux		-13,8	-23,1 -∞		-18,8					-14,2 -∞		-22,0
Drones		-26,1	-15,7	-20,5	-19,3					-1,0 -∞		-12,5
Métal		-15,1 -∞	-∞							-16,2	-14,7	-32,7
Candidat 12	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Fond Eau						-6,5	-11,1	-13,5	-7,4	-2,4	-8,2	-27,0
Catéacé						-1,8	-33,4	-6,2	-23,5	0,5	-48,1	-38,2
Scintillement						-34,9 -∞		-25,0	-19,8	-2,5 -∞		-31,8
Tonal						-8,7 -∞		-∞	-0,8	-26,3 -∞		-13,1
Whoosh						-12,0	-25,9	-17,0	-6,4	-12,5	-13,9	-27,8
Animaux						-15,3	-38,0	-38,0	0,7	-6,9 -∞	-∞	-5,4
Drones						-4,7	-14,9 -∞		-15,9	0,2	-11,5 -∞	-11,2
Métal						-10,8	-28,2 -∞		-25,0	-16,8	-22,5	-31,0
Candidat 13	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Fond Eau		-8,4	-13,0	-19,9	-25,0	-11,7	-11,5	-6,7	-6,0			
Catéacé		-∞	-∞	-25,6 -∞		-13,6 -∞		-28,7	-0,1			
Scintillement		-∞	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞			
Tonal		-19,0 -∞		-19,5	-28,6	-9,5	-95,4 -∞		-6,9			
Whoosh		-30,1	-4,3	-26,8	-4,3	-41,6	-9,5	-29,6	0			
Animaux		-4,3	-2,1	-13,9	-5,4	-3,3	-24,4 -∞		-2,9			
Drones		-∞	-∞	-∞	-∞	-9,3 -∞	-∞	-∞	-∞			
Métal		-∞	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞			
Candidat 14	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Fond Eau		-26,1	-9,1	-22,5	-2,7					-12,6	-5,1	-12,1
Catéacé		-11,5	-27,5	-17,8	-5,7					-34,8	-27,5	-17,2
Scintillement		-5,6	-29,3	-16,2	-11,7					-26,5 -∞		-6,0
Tonal		-11,7 -∞		-15,4	-15,5					-22,0 -∞		-21,0
Whoosh		-20,9	-10,2	-23,9	0,6					-25,3	-16,9	-25,2
Animaux		-9,1	-13,0	-25,9	4,6					-34,8	-31,7	-36,3
Drones		-8,0	-42,3	-29,8	2,4					1,0	-21,4	-26,9
Métal		-21,6	-24,5	-30,8	-11,2					-16,3	-10,1	-24,7
Candidat 15	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Figure 25. Tableau de mesures des niveaux des *faders*

Nous nous sommes aperçus que, du fait de leur nature logarithmique et de leurs grandes amplitudes de valeurs ($-\infty$; +12 dB), il était plus judicieux de linéariser les données en leur assignant un nombre de 0 à 5.

1.1.2 - Choix des types de graphiques

Cette étape de linéarisation nous a permis de faire des histogrammes avec les différents stems en abscisses et les niveaux des *faders* allant de 0 à 5 en ordonnées. Cette représentation permet d'avoir un rendu visuel proche d'une vue du bac de *faders*. On peut donc immédiatement se rendre compte de quels sont les *faders* mis le plus fort et lesquels sont plutôt baissés. Tous les graphiques de notre étude auront cette forme d'histogramme avec le niveau en ordonnées (allant de 0 à 5) et les huit *stems* en abscisses.

1.1.3 - Séparation des données

Une fois la forme définie, nous avons décomposé le tableau principal en sous-tableaux en fonction des caractéristiques que nous voulions analyser. La séparation des données va nous permettre de comprendre les choix de mixage en fonction des profils des participants, d'avoir une idée des différences de mixages en fonction des films et enfin de pouvoir comprendre quelles sont les différences de mixage en fonction des adjectifs.

1.2 - Mixage des différents extraits films

1.2.1 - Avatar 2⁸

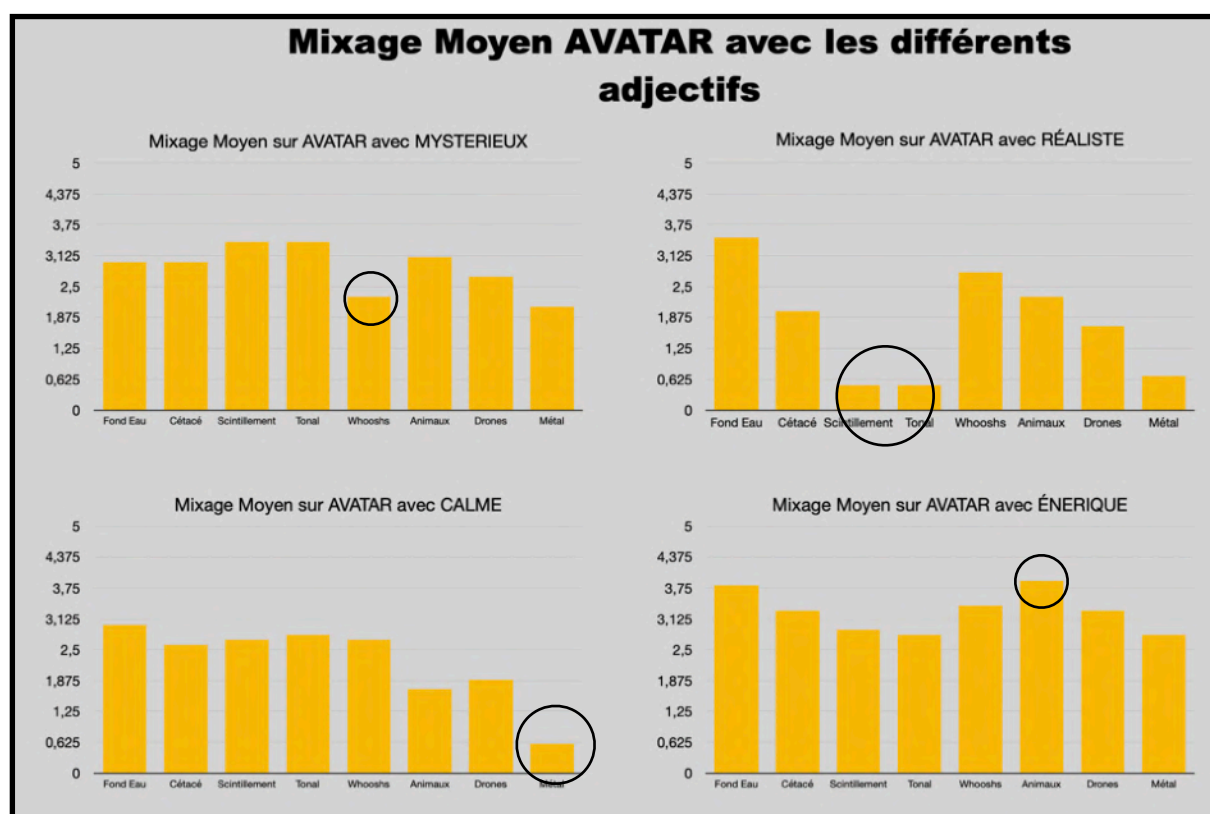


Figure 26. Mixage moyen d'Avatar avec les différents adjectifs

La **Figure 26** montre la moyenne des mixages des 27 participants de l'expérience pour l'extrait d'Avatar et nous permet de remarquer plusieurs choses. La première est qu'avec l'adjectif **mystérieux**, le *stem* Whooshs est le moins utilisé.

Pour l'adjectif **réaliste**, Scintillement, Tonal et Métal sont clairement en retrait, tandis que le Fond d'eau est très présent avec les Whooshs.

Avec l'adjectif **calme**, ce sont surtout le Métal et les Animaux qui sont les moins présents, alors que pour l'adjectif **énergique**, ce sont tous les *stems* qui sont largement augmentés, en particulier les Animaux.

⁸ <https://youtu.be/fUdJdARUFuc>

1.2.2 - Harry Potter 4⁹

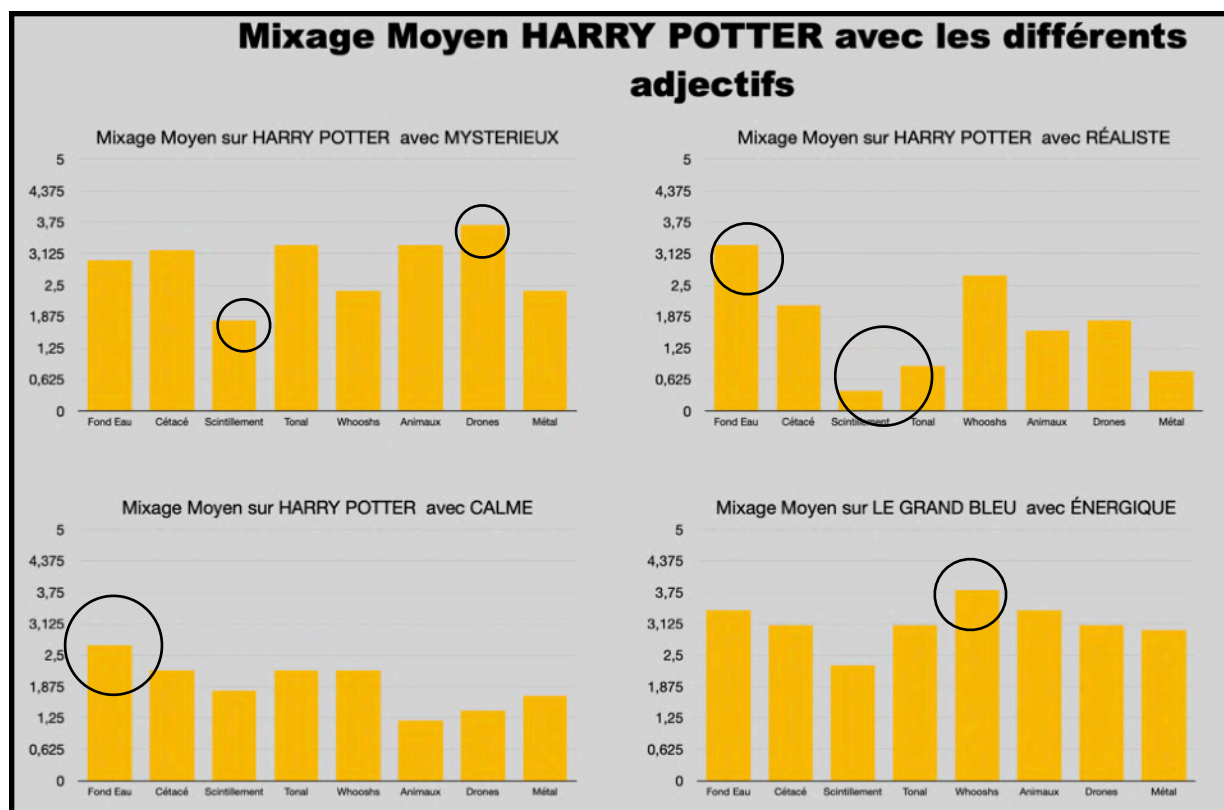


Figure 27. Mixage moyen de Harry Potter avec les différents adjectifs

Pour l'extrait de Harry Potter, on remarque que ce sont les Drones qui sont les plus mis en avant, à l'instar des Whooshs et des Scintillements qui sont beaucoup moins utilisés avec l'adjectif **mystérieux**.

De la même manière que pour Avatar, l'adjectif **réaliste** est caractérisé par le Fond d'eau et les Whooshs alors que le Métal, le Scintillement et le Tonal sont mis en retrait.

Pour l'adjectif **calme**, le Scintillement, le Métal et le Tonal gagnent un peu en niveau alors que les autres diminuent. Tous les *faders* sauf Fond d'eau sont en dessous de 2,5.

⁹ <https://youtu.be/N6t0Nwz1XGA>

Enfin, pour **énergique**, c'est le stem Whoosh qui est le plus largement utilisé. On observe que ce sont tous les *stems* qui sont augmentés, en particulier les Animaux. Le Scintillement est lui beaucoup plus faible en niveau bien qu'il soit augmenté.

1.2.3 - Le Grand Bleu¹⁰

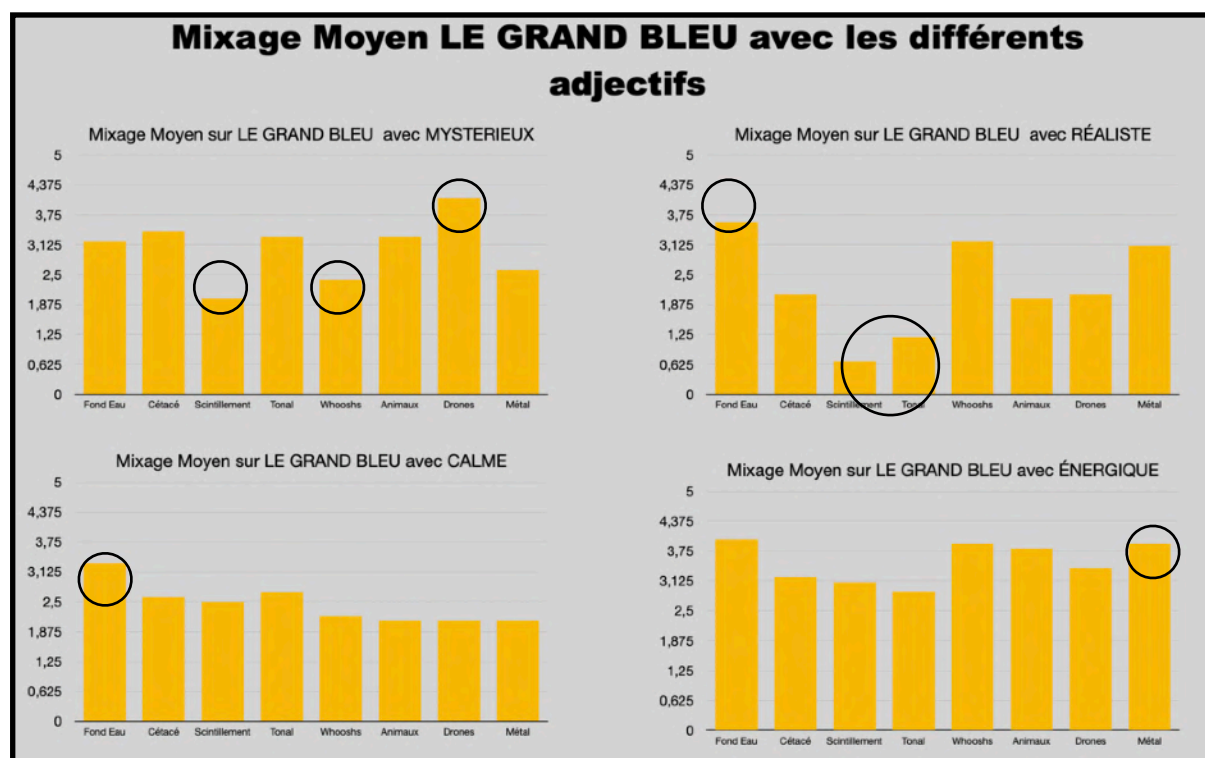


Figure 28. Mixage moyen du Grand Bleu avec les différents adjectifs

La **Figure 28** nous permet de voir que pour l'adjectif **mystérieux**, les participants qui ont mixé l'extrait du Grand Bleu ont décidé d'appuyer sur le *stem* Cétacé, Tonal et plus particulièrement sur Drone. Les Scintillements et les Whooshs sont, eux, plus en retrait.

Pour l'adjectif **réaliste**, on retrouve une prédominance du Fond d'eau, des Whooshs et du Métal. Comme dans les films précédents, le *stem* Scintillements et le *stem* Tonal sont sous-mixés par rapport aux autres adjectifs.

Tous les *faders* sont abaissés avec l'adjectif **calme** et il semble que seul le Fond d'eau garde une prédominance et soit le plus représentatif de cet adjectif.

Enfin, l'adjectif **énergique** a incité les participants à remonter l'ensemble des *faders* en particulier Métal qui n'a jamais été aussi présent que pour cet adjectif.

¹⁰ <https://youtu.be/fUdJdARUFuc>

Maintenant que nous avons vu les résultats en fonction des films, nous allons comparer les mixages en fonction des adjectifs qui étaient imposés.

1.3 - Mixage des différents adjectifs

1.3.1 - Mystérieux

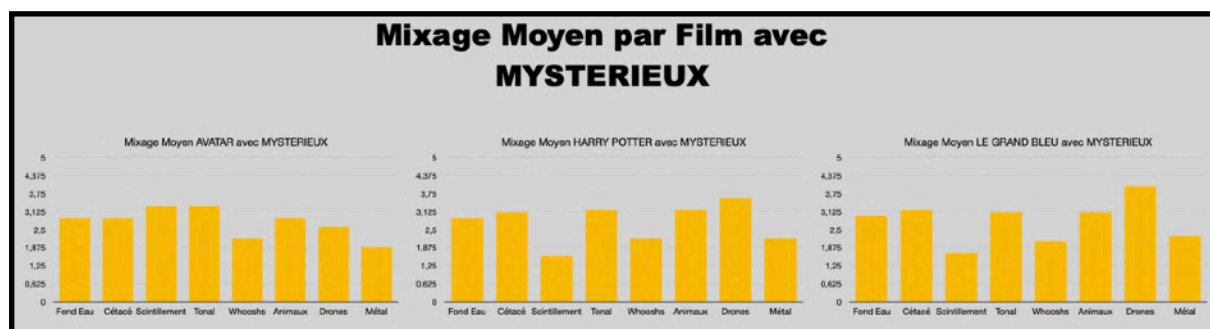


Figure 29. Mixage moyen par film avec MYSTÉRIEUX

La Figure 29 montre le mixage moyen lorsqu'on a donné l'adjectif **mystérieux** aux participants pour chacun des trois extraits de films. On remarque déjà à première vue l'extrême similitude des graphiques de Harry Potter et du Grand Bleu, avec une grande prédominance du *stem* Drones et suivi par les Animaux, Tonal et Cétacé. Pour ces deux graphiques, les Scintillements ont été mixés le moins fortement. Le graphique du film Avatar nous montre que ce sont les Scintillements qui caractérisent le mieux l'adjectif **mystérieux**, suivi par le Tonal. Le Métal est peu utilisé sur les trois extraits de films.

1.3.2 - Réaliste

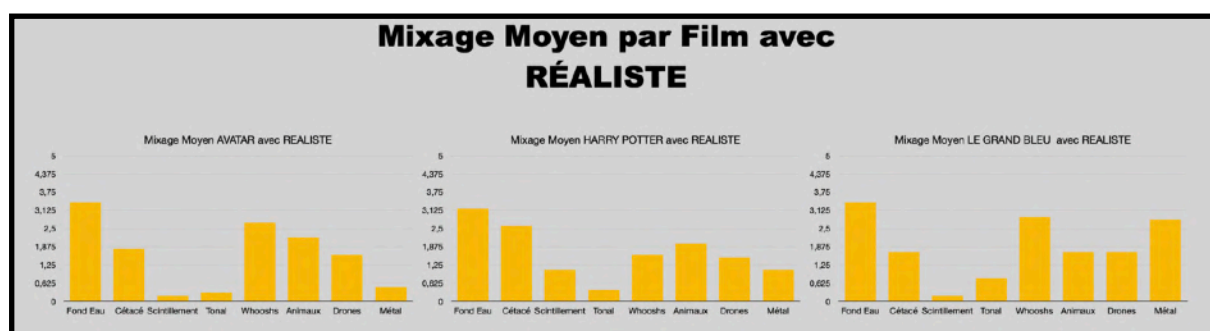


Figure 30. Mixage moyen par film avec RÉALISTE

Les trois extraits de film nous permettent d'observer que c'est le *stem* Fond d'eau qui est le plus significatif et qui a été mixé le plus fort avec l'adjectif **réaliste**. C'est ensuite le *stem*

Whooshs qui a été privilégié par les participants. Dans Le Grand Bleu, on note la prépondérance du *stem* Métal contrairement aux deux autres. Cela s'explique vraisemblablement parce que c'est le seul extrait où on constate également l'utilisation d'un engin métallique à l'image, tandis que dans Harry Potter, le *stem* Cétacé est fortement représenté alors qu'il n'apparaît pas à l'image. Les participants ont dans les trois extraits plutôt délaissé les *stems* Scintillement et Tonal.

1.3.3 - Calme

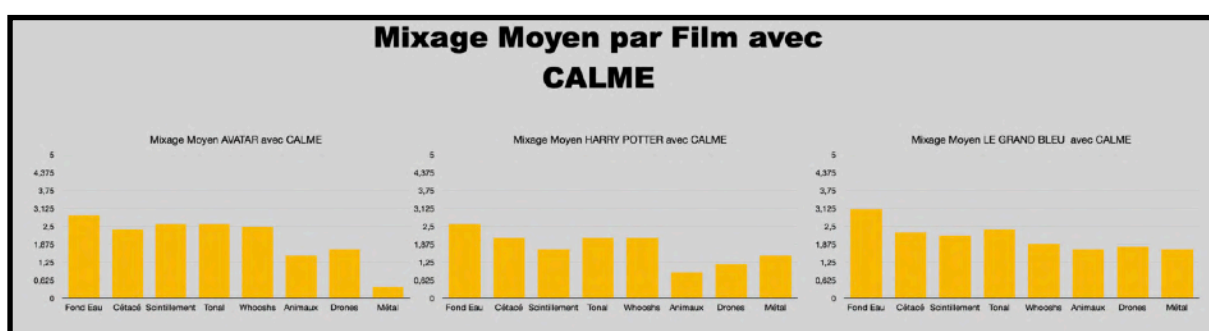


Figure 31. Mixage moyen par film avec CALME

La Figure 31 nous permet de voir quels ont été les choix des participants lorsqu'ils devaient mixer avec l'adjectif **calme**. On peut voir que les résultats sont assez homogènes, les *faders* sont globalement à des niveaux assez égaux et plutôt bas. On distingue le Fond d'eau qui est plus fort que les autres aux alentours de 3,125 pour Le Grand Bleu et vers 2,5 pour les deux autres extraits. On peut remarquer que le Métal est tout à fait en bas pour Avatar, choix qui est assez logique puisqu'il n'était pas très pertinent dans une séquence sans éléments métalliques.

1.3.4 - Énergique

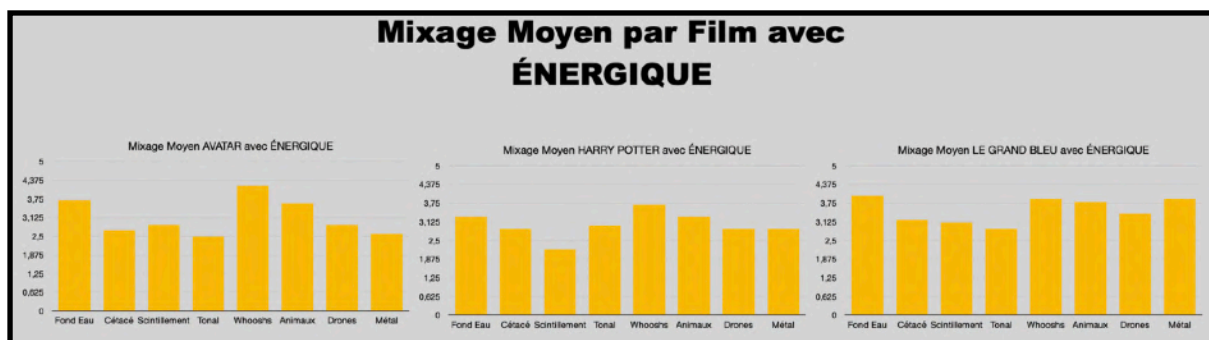


Figure 32. Mixage moyen par film avec ÉNERGIQUE

Avec **énergique**, on remarque que c'est le *stem* Whooshs qui est le plus dominant dans les deux premiers extraits. Il est suivi de près par le Fond d'eau et les Animaux. On remarque aussi que tous les *faders* sont globalement beaucoup plus forts en moyenne que sur les adjectifs précédents. Le Métal a une grande importance dans l'extrait du Grand Bleu. Les participants préféraient souvent le *stem* Drones au *stem* Tonal.

2 – Évaluation des participants

2.1 - Types de participants

Pour notre expérience, nous avons eu au total 27 participants, séparés en plusieurs groupes selon leurs habitudes et leur expérience. Nous avons donc des ingénieurs du son qui sont spécialistes des métiers du son, des plongeurs qui ont expérience concrète de l'immersion et du milieu sous-marin, des cinéphiles qui sont familiers avec la diffusion de films en salle de cinéma et enfin certains participants qui n'appartiennent à aucune de ces trois catégories. Nous allons essayer de comprendre quelles sont les différences entre ces différents groupes.

2.2 - Mixage des différents profils

2.2.1 - Hypothèses et ressenti de l'expérience

Lors des différents passages, il nous a semblé remarquer que les ingénieurs du son proposaient des mixages très assumés, avec de forts partis pris et très différents les uns des autres, là où les autres profils proposaient des mixages plus similaires.

Également, il nous a paru que le groupe des ingénieurs du son avait tendance à mixer plus fort que les autres groupes, ce qui pourrait être logique au vu de leur expertise du son.

Nous allons donc essayer de vérifier ces deux hypothèses à l'aide des résultats de notre étude.

2.2.2 - Écart Type en fonction des profils

En comparant les écarts-types entre les *stems* des différents profils (**Figure 33**), on peut voir qu'il n'y a finalement pas de différence majeure entre les ingénieurs du son et les autres types de participants. On remarque cependant, en calculant l'écart-type des écarts-types entre les

ÉCART TYPE - Ingénieurs du son

Fond Eau	1,11
Cétacé	1,31
Scintillement	1,8
Tonal	1,86
Whooshs	1,17
Animaux	1,45
Drones	1,51
Métal	1,63

ÉCART TYPE - Cinéphiles

Fond Eau	1,13
Cétacé	1,34
Scintillement	1,64
Tonal	1,65
Whooshs	1,35
Animaux	1,5
Drones	1,61
Métal	1,68

ÉCART TYPE - Plongeurs

Fond Eau	1,04
Cétacé	1,32
Scintillement	1,62
Tonal	1,54
Whooshs	1,21
Animaux	1,29
Drones	1,64
Métal	1,49

ÉCART TYPE - Autres

Fond Eau	0,98
Cétacé	1,33
Scintillement	1,67
Tonal	1,35
Whooshs	1,25
Animaux	1,44
Drones	1,52
Métal	1,46

Figure 33. Écart-type en fonction des différents profils

différents *stems* pour chacun des profils (**Figure 34**), que les ingénieurs du son obtiennent des valeurs plus grandes que les trois autres groupes qui ont des valeurs semblables. Cela semble donc montrer que pour un même mixage, ils vont avoir tendance à faire des variations plus fortes entre les différents *stems*.

Ingénieurs du son	0,28
Cinéphiles	0,2
Plongeurs	0,21
Autres	0,2

Figure 34. Écart-type entre les différents *stems* par profils

Cette différence montre que les ingénieurs du son sont plus enclins à prendre des positions fortes, ce qui semble cohérent, car dans le cadre de leur travail, ils doivent justement prendre des partis pris et être force de proposition pour les personnes qui s'occupent de la direction artistique du projet. Lorsqu'une proposition n'est pas concluante, ils doivent s'adapter de manière à ce que les personnes qui ont refusé la proposition aient le sentiment qu'il y a eu une vraie évolution ce qui les incite à faire des choix forts et contrastés.

2.2.3 - Mixage moyen par profil

Pour répondre à la deuxième question, nous avons étudié les mixages moyens en fonction des profils des participants. La première chose qui est remarquable quand on observe la **Figure 35**

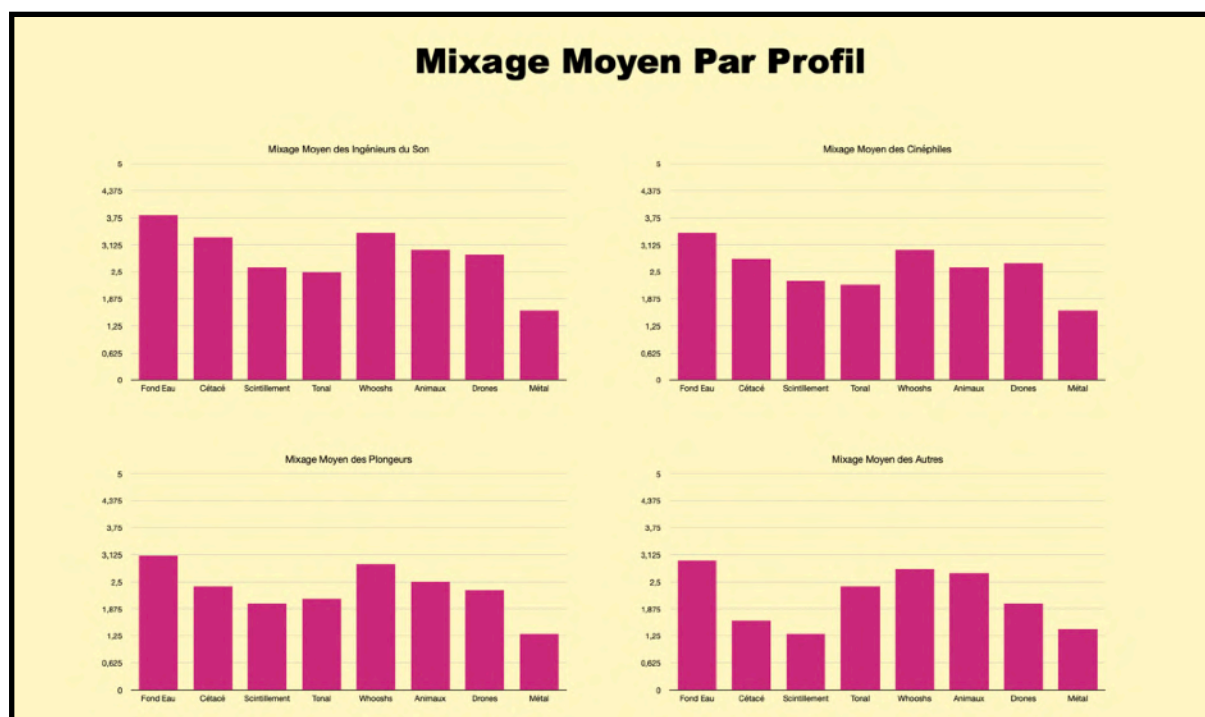


Figure 35. Mixage moyen par profil

c'est la ressemblance entre les quatre graphiques. Si on omet l'échelle de l'axe des ordonnées, on peut voir que les graphiques ont une forme semblable, ce qui montre que les participants ont en moyenne fait des choix similaires.

En revanche, si on regarde plus en détail, on se rend compte que les ingénieurs du son mixent toujours plus fort ou égaux pour chacun des stems vis-à-vis des trois autres catégories.

Cela semble confirmer notre hypothèse et le ressenti obtenu en salle. Les ingénieurs du son ont bien tendance, en moyenne, et peu importe le type de son, à mixer plus fort que les autres profils.

2.3 - Remarques des participants

Pendant la durée de l'expérience, nous avons pris des notes sur les remarques des participants lors du petit débriefing en fin d'heure ou en fonction de la spontanéité des candidats.

Nous avons donc répertorié ces paroles en fonction de leur sens dans deux tableaux récapitulatifs.

2.3.1 - Techniques de mixage et de montage son

Candidat 6	« Je voudrais bouger les <i>faders</i> dans le temps pour être plus précise »		
Candidat 8	« Je voudrais décomposer bulles et <i>whooshs</i> »	Volonté de filtrer les sons pour avoir moins de médiums	Volonté de changer certaines choses du montage son (expiration plongeur)
Candidat 9	Prémixage du son avant d'écouter		
Candidat 10	Prémixage du son avant d'écouter	« Je voudrais plus de sons de clapotis pour l'adjectif calme »	
Candidat 12	Volonté d'aller plus en détail dans les <i>stems</i>	Volonté de mettre de la <i>reverb</i> sur les palmes pour adjectif calme	
Candidat 19	Commence avec tous les <i>faders</i> à moitié avant de commencer		
Candidat 23	« C'est dommage qu'on ne puisse pas séparer les bulles du plongeur du moteur de la gueuse »		
Candidat 24	Voudrait plus filtrer le plongeur pour Avatar réaliste	« Il y a suffisamment de <i>faders</i> différents pour pouvoir créer des ambiances différentes, c'est surprenant »	

Figure 36. Remarque concernant les techniques de mixage et le montage son

Une partie des remarques sont liées au mixage, par exemple certains participants ont décidé de faire du prémixage avant de lancer les extraits. En général, une fois qu'ils avaient mixé avec le premier adjectif, ils connaissaient suffisamment bien l'extrait et les sons qui le

composaient pour monter ou non les *faders* avant de faire commencer leur travail et de les rectifier. On s'est aperçu que les personnes qui utilisaient cette méthode mixaient beaucoup plus rapidement. Ce faisant, ils avaient un temps de réflexion qui est séparé de l'action et du stress d'avoir le film qui se déroule en temps réel. Certains ont aussi choisi de mettre tous les *faders* à un niveau moyen pour avoir une vision d'ensemble de tous les sons, pour comprendre la séquence avant d'écouter les *faders* séparément.

Certains participants ont également émis la volonté de vouloir bouger les *faders* dans le temps, pour faire évoluer le son en même temps que l'image.

Plusieurs participants ont eu des remarques sur le montage son, en voulant rajouter certains sons ou en déplaçant des sons dans un autre *stem*. Ces remarques ont toutes en commun le fait d'avoir un plus grand contrôle sur le son pour pouvoir faire des mixages plus précis et répondre mieux à la consigne. Ces limitations, inhérentes à l'exercice, n'auraient pas été le cas si on avait fait un mixage traditionnel.

2.3.2 - Remarques à propos des adjectifs

Une partie des paroles rapportées des participants sont en lien avec les adjectifs, qui étaient la principale source de difficultés des candidats. Chacun a dû faire preuve d'inventivité pour essayer de répondre à une direction artistique avec seulement quelques *faders* à disposition.

Les participants ont été plusieurs à vouloir faire quelque chose qui mette mal à l'aise le spectateur pour accentuer le caractère mystérieux. Cela passait souvent par le fait d'enlever radicalement certains *stems*, ceux associés aux mouvements comme le *Whooshs* par exemple. L'adjectif réaliste s'est avéré plus facile que prévu, bien que deux des trois extraits avaient un caractère très fantastique avec des personnages fictifs à l'écran. L'adjectif énergique est celui qui a posé le plus de problèmes. Certains participants avaient du mal à s'imaginer comment pouvait sonner un mixage énergique sous l'eau.

Candidat 2	« C'est difficile d'être énergique sous l'eau »		
Candidat 11	Energique Avatar - « compliqué »	« 2 sens possibles à mystérieux (peur de l'inconnu ou féérique) »	
Candidat 13	Réaliste moins « fun »		
Candidat 14	Mystérieux Le Grand Bleu - le candidat enlève les sons de bulles pour créer de l'inconfort		
Candidat 21	Energique Avatar - « c'est dur de faire quelque chose énergique »		
Candidat 22	Mystérieux Avatar - « J'ai voulu faire quelque chose pour que le spectateur sente un truc de bizarre, donc j'ai essayé d'isoler le personnage de l'environnement »		
Candidat 23	Calme Harry Potter - « J'essaie de m'imaginer les sons qu'écotent les gens avant de s'endormir »		
Candidat 24	Réaliste Avatar - « pas si dure que ça au final »		
Candidat 25	Calme Avatar - « J'imagine qu'on est au spa »	« C'est difficile de faire quelque chose d'énergique sous l'eau parce que c'est lent »	Énergique - « Il faut toujours qu'il y ait des sons »
Candidat 27	Énergique Harry Potter - « Je trouve cet adjectif inadapté à l'extrait »		

Figure 37. Remarques concernant les adjectifs

3 – Interprétation et discussion sur les caractéristiques sonores des ambiances

3.1 - Liens entre les sons et les adjectifs

3.1.1 - Discussion des sons dans les stems

Au vu de notre expérience et des analyses qui ont suivi, on peut essayer d'interpréter les données pour mieux comprendre quelles associations ont été faites entre les sons et les différents adjectifs qui qualifiaient les ambiances sous-marines.

Le **fond d'eau** a été le *stem* qui a été mis le plus fort sur chacun des trois extraits (**Figure 35**). C'est celui qui caractérisait le plus l'immersion dans l'ambiance sous-marine, dans les deux sens du terme, puisque c'était également le *stem* qui avait les plus fortes contributions dans les enceintes arrières et latérales. C'est aussi le son avec l'écart type le plus faible, quel que soit l'extrait ou le type de profil. On peut le voir comme une sorte de pilier pour les participants sur lequel ils se sont appuyés.

Le *stem* **Cétacé** est revenu le plus souvent lorsqu'on a donné l'adjectif mystérieux et l'adjectif énergique. Cependant, comme sur énergique, tous les sons ont été mis beaucoup plus fort. On peut donc dire que par rapport aux autres *stems*, **Cétacé** a été plus mis en valeur lorsqu'on voulait qualifier la séquence de mystérieuse. Dans le montage son, les sons de cétacés étaient placés lorsqu'on avait l'impression que le personnage était un peu perdu, de sorte qu'on imagine le cétacé en hors-champs. Cela montre que le **Cétacé** était qualifié de mystérieux, car il était associé au caractère inconnu et vaste du monde sous-marin.

Le *stem* **Scintillements** a été le moins utilisé pour qualifier l'adjectif réaliste sur chacun des extraits, et très utilisé dans l'extrait d'Avatar pour l'adjectif mystérieux. On en conclut que ces sons sont associés à une sensation de mystère lorsque l'image est plutôt lumineuse, féérique.

Le *stem* **Tonal** au même titre que les scintillements, a été largement abandonné dans les trois extraits pour l'adjectif réaliste. Son côté musical a conduit les participants à le délaisser pour gagner en réalisme avec l'argument qu'il n'y avait pas de musique sous l'eau.

Le *stem* **Whooshs** était un peu à l'opposé du *stem* précédent, puisqu'il était prédominant dans les adjectifs réalistes et énergiques, et a été mis moins fort lorsqu'il fallait qualifier le caractère mystérieux des ambiances sous-marines. C'est dans ce *stem* qu'il y avait tous les mouvements qu'on voyait à l'image (personnages, objets...) donc le mettre en avant permettait aux candidats d'accentuer le réalisme avec des mouvements forts devant une ambiance plus calme. Son absence pouvait aussi amener une situation d'inconfort qui pouvait être recherchée avec l'adjectif mystérieux.

Le *stem* **Animaux** contenait des sons d'animaux bien présents à l'image, contrairement aux sons du *stem* Cétacé. Il était plus fort lorsqu'on a demandé aux gens de faire un mixage énergique. Cela a été l'un des leviers principaux pour donner une impression d'énergie aux séquences.

Le *stem* **Drones** a été très largement utilisé lorsque les participants devaient créer des ambiances mystérieuses. Majoritairement composés de sons très graves, les drones ont aidé à donner une sensation d'oppression et à renforcer la part mystérieuse dans le sens « peur de l'inconnu » des ambiances sous-marines, notamment pour les extraits plus sombres.

Le *stem* **Métal** qui était associé à des mouvements de créature dans l'extrait d'Avatar et dans Harry Potter, a été peu utilisé pour suggérer une ambiance calme. Dans Le Grand Bleu, en revanche, le *stem* contenait plus de sons qui étaient associés à la gueuse auxquels l'apnéiste était accroché. Dans cet extrait, le *stem* a été beaucoup plus utilisé, quels que soient les adjectifs, en particulier avec l'adjectif énergétique. La couleur spectrale et le fait que ces sons aient de très forts transitoires sont des raisons pour lesquelles ce *stem* a été mis en valeur lorsqu'il fallait qualifier les séquences d'énergiques.

3.1.2 - Remarques sur les habitudes des participants

Les participants, bien qu'ils appartiennent à des profils différents, ont fait des choix globalement assez similaires, à la différence des ingénieurs du son qui, comme montré précédemment, ont fait des choix très forts et assumés dans leurs mixages. Les valeurs d'écarts-types entre les *faders* nous ont permis de voir qu'au sein d'un même mixage, ils n'hésitaient pas à mettre certains *stems* très forts et à en enlever d'autres pour faire des propositions très assumées, à l'inverse des trois autres profils.

3.2 - Lien entre l'image et les sons

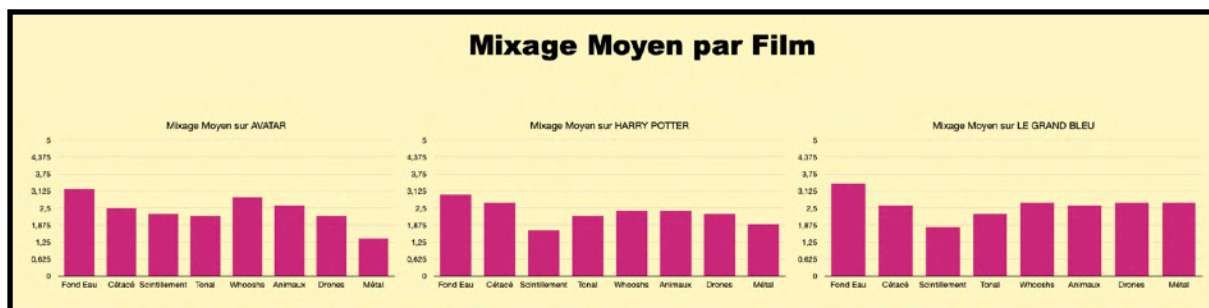


Figure 38. Niveau moyen par films

3.2.1 - Extrait avec une connotation plutôt lumineuse

Même si notre étude était focalisée sur le son, elle dépendait forcément de l'image qui lui était associée, puisqu'avant de mixer pour un adjectif, les participants gardaient un œil sur l'image. C'est pour cela que nous avons choisi différents extraits, avec des « couleurs » et des sensations différentes. L'extrait d'Avatar avait une connotation plutôt lumineuse, dans le sens où les extraits étaient plus merveilleux qu'effrayants. On remarque que c'est plutôt au moment de l'adjectif mystérieux qu'on a eu les plus grandes divergences par rapport à l'image. Notamment dans Avatar, ce sont les scintillements qui ont été mis en avant pour le caractère mystérieux de la séquence.

3.2.2 - Extrait avec une connotation plus sombre

L'extrait de Harry Potter avait quant à lui une connotation beaucoup plus sombre, puisque la scène se passait dans un lac froid, des eaux verdâtres et hostiles. Ici encore, c'est l'adjectif mystérieux qui a montré des différences parce que dans cet extrait, on a beaucoup moins de scintillements et à l'inverse, ce sont les drones, qui étaient des sons très graves et continus, qui ont été particulièrement privilégiés par les participants.

3.2.3 - Extrait ambivalent

L'extrait du Grand Bleu était plutôt lumineux au début et assez sombre à la fin et avait donc deux sensations distinctes. Il en ressort des partis pris beaucoup moins forts : les participants ont cherché à plusieurs reprises à faire des mouvements de *faders* et à différencier les deux

parties du film. Puisque cela était impossible pour eux, ils ont dû faire des compromis, qui se matérialisent par un niveau moyen un peu plus fort sur chacun des *stems* (**Figure 38**).

3.3 - Possibilité d'améliorations et retours

3.3.1 - Élaboration des *stems* et montage son

Maintenant que l'expérience est terminée, nous pouvons faire un bilan et donner quelques pistes d'amélioration possibles. Bien que les *stems* et que le montage son étaient beaucoup plus chargés que dans les extraits originaux, certains participants ont parfois souhaité avoir un peu plus de matière sonore sous les doigts pour avoir encore plus de choix et de moyens de faire des ambiances sous-marines différentes. On aurait aussi pu faire un prémixage plus complet avec une utilisation plus fine de la réverbération, de modifications dynamiques et de l'égalisation. C'est une étape difficile à faire, car les 27 participants ayant des oreilles différentes, il faut pouvoir envisager toutes les possibilités et toutes les idées qu'ils pourraient avoir, sans non plus prendre des partis pris trop forts au risque qu'ils ne puissent pas utiliser le *stem*.

On aurait aussi pu, dans la composition des huit *stems*, regrouper Animaux et Cétacés qui étaient plutôt semblables au vu des résultats et séparer le *stem* Whooshs du *stem* Bulles. En effet, ces sons étaient regroupés sous un même *fader* puisqu'ils caractérisaient des mouvements qu'on voyait à l'image, mais les avoir sous deux *faders* distincts aurait permis aux candidats de faire des choix plus subtils. Notamment pour l'adjectif calme, certains participants auraient souhaité pouvoir mettre plus de bulles et moins de *whooshs* dans les ambiances sous-marines.

3.3.2 - Accueil et temps passé avec les participants

Sur les 27 participants, 25 ont pu en 1 h 30 mixer les deux séquences avec les quatre adjectifs, les autres n'ont pu faire que trois adjectifs. Les ingénieurs du son étaient beaucoup plus rapides au vu de leurs expériences des consoles de mixage et du logiciel *ProTools*. Cette heure et demie comprenait l'accueil dans la salle (avec un éventuel retard du participant), la lecture et le remplissage du formulaire, la séquence de test et de prise de main de la console sur

l'extrait du Chant du Loup, le début de l'exercice et enfin, un débriefing avant d'accueillir le participant suivant. De manière générale, les participants mettaient en moyenne 20 minutes pour mixer un extrait avec quatre adjectifs différents. La séquence de prise en main de la console a été nécessaire pour s'assurer que les participants avaient bien compris l'exercice et qu'ils étaient en confiance pour aborder la phase de test.

3.3.3 - Choix des adjectifs

La question des adjectifs était fondamentale dans l'expérience, puisque c'était la principale contrainte des participants et permettait de faire le lien entre les caractéristiques des ambiances sous-marines et les émotions. Les participants ont eu beaucoup de mal avec l'adjectif énergique, peu importe leurs profils. La difficulté venait du fait que les extraits ne comportaient pas vraiment de choses très dynamiques. Peut-être que si nous avions choisi des extraits avec par exemple des explosions, il aurait été plus naturel d'appuyer le caractère énergique des ambiances. Les trois autres adjectifs se sont avérés plutôt concluants et nous ont permis de caractériser les ambiances sous-marines et de relever des choses intéressantes sur les *stems* utilisés.

* * *

CONCLUSIONS

L'objectif de ce mémoire était d'arriver à comprendre quelles sont les caractéristiques des ambiances sous-marines au cinéma et quelles sont les émotions qu'elles provoquent. Pour y arriver, nous avons d'abord cherché à comprendre la physique du son dans l'eau pour savoir comment ce dernier se propageait et comment il était possible de le percevoir. Cette partie, bien que théorique, était nécessaire puisqu'il fallait pouvoir connaître la réalité avant d'analyser les ambiances sous-marines du cinéma. Les analyses filmiques nous ont montré qu'il existait des divergences dans l'approche du son des ambiances sous-marines et une évolution de ces dernières en fonction de l'époque. Malgré cela, il nous a semblé trouver des points communs et nous avons répertorié tous les sons qui étaient utilisés. Toutes ces connaissances sur le monde aquatique nous ont permis de construire à notre tour des ambiances sous-marines sur des extraits de films de fiction. Pour ce faire, nous avons utilisé des sons de sonothèque, nous avons fait du bruitage et nous sommes allés faire des prises de son en extérieur. Ces prises de son ont nécessité la mise au point d'un système pour pouvoir immerger l'hydrophone depuis des endroits difficiles d'accès, s'assurer d'avoir une prise de son de qualité sans bruits de manipulation et avoir un bon contrôle de la profondeur d'immersion. Cette confrontation à la réalité nous a permis de mieux comprendre les sons qui se trouvaient sous la surface et de rapporter de la matière pour le montage son des extraits de films. Enfin, les résultats de l'expérience nous ont montré quels *stems* étaient mis en avant en fonction des extraits et des adjectifs donnés. Connaissant les sons dans les *stems*, il nous a donc été possible d'associer des émotions aux sons des ambiances sous-marines. On s'est alors aperçu que les sons n'avaient pas tous la même utilité et avaient, au sein d'un même mixage, des fonctions différentes.

Cependant, cette recherche a rencontré plusieurs limitations, par exemple celle du choix des extraits de films. On a vu que l'image avait un rôle important dans le mixage et que l'action du film avait une incidence majeure sur les choix des participants. Bien que nos trois films aient été choisis avec soin, avec plus de temps, nous aurions pu en choisir plus pour avoir un échantillon encore plus large. Cela aurait aussi pu permettre de rajouter ou d'enlever certains

stems pour analyser séparément d'autres types de sons, par exemple différencier les sons de bulles et les *whooshs*. Le choix des adjectifs est aussi très important et *a posteriori*, peut-être qu'il aurait fallu trouver un remplaçant pour l'adjectif énergique qui a mis en difficulté un bon nombre de participants.

Ce mémoire ouvre plusieurs perspectives, on pourrait par exemple imaginer celle d'utiliser d'autres extraits de films avec des ambiances sous-marines différentes. Cela impliquerait forcément des choix de mixages différents et donc une compréhension plus fine des caractéristiques sonores des ambiances sous-marines. Puisque les extraits sont différents, on pourrait alors imaginer des sons et donc des catégorisations par *stems* qui variaient. Une suite importante pourrait considérer le fait d'utiliser des adjectifs différents pour pouvoir tirer d'autres conclusions sur les ambiances sous-marines au cinéma. Ces conclusions pourraient par exemple être moins généralistes en faisant le choix de travailler avec des adjectifs plus similaires pour avoir des résultats plus fins. L'expérience de mixage pourrait aussi être remplacée par une séance d'écoute dans une salle de cinéma. Les extraits auraient été mixés par le chercheur et donnés à un public qui aurait noté ses sensations grâce à un questionnaire. Bien que le but était de confronter le public à l'acte du mixage pour les forcer à se poser des questions, enlever cette contrainte technique pourrait notamment permettre de passer plus d'extraits et donc d'avoir plus de retours.

* * *

BIBLIOGRAPHIE

Axelsson, Ö., Nilsson, M. E., & Berglund, B. (2010). A principal components model of soundscape perception. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 128(5), 2836-2846. <https://doi.org/10.1121/1.3493436>

Aoki, N., Weiss, B., Jézéquel, Y., Zhang, W. G., Apprill, A., & Mooney, T. A. (2024). *Soundscape enrichment increases larval settlement rates for the brooding coral Porites astreoides*. Royal Society Open Science, 11(3), 231514. <https://doi.org/10.1098/rsos.231514>

Ardhuin, F., Stutzmann, E., Schimmel, M., & Mangeney, A. (2011). *Ocean wave sources of seismic noise*. *Journal of Geophysical Research*, 116(C9), C09004. <https://doi.org/10.1029/2011JC006952>

Bies, D. A., Hansen, C. H., & Howard, C. Q. (2018). *Engineering Noise Control* (5th Edition). CRC Press.

Bjørnø, L. (2017). Scattering of Sound. In *Applied Underwater Acoustics* (p. 297-362). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811240-3.00005-9>

Boumchedda, K., Hamadi, M., & Fantozzi, G. (2007). Properties of a hydrophone produced with porous PZT ceramic. *Journal of the European Ceramic Society*, 27(13), 4169-4171. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2007.02.124>

Brownell, W. E. (1997). How the Ear Works - Nature's Solution for Listening. *The Volta review*, 99(5), 9-28.

Candau, J., Le Gonidec, M-B. (2013). *Paysage sensoriel, essai d'anthropologie de la construction et de la perception de l'environnement sonore*, Paris, Comité des travaux historiques et scientifiques

Castellengo, M. (2015). *Ecoute musicale et acoustique : Avec 420 sons et leurs sonagrammes décryptés*. Eyrolles.

Copin-Montégut, G. (2002). *Propriétés physiques de l'eau de mer*. Caractérisation et propriétés de la matière. <https://doi.org/10.51257/a-v1-k170>. Techniques de l'ingénieur, Réf : K170 v1

Cox, K. D., Attridge, C. M., Maher, B., Gross, S., Lim, E. G., Kattler, K. R., & Côté, I. M. (2024). *Studying Kelp Forests of Today to Forecast Ecosystems of the Future*. Fisheries, 49(4), 181-187. <https://doi.org/10.1002/fsh.11065>

Christiaens, C. (2024). *Le paysage sonore subaquatique : évolution et enjeux de la pollution sonore sur l'écosystème marin*. [Mémoire de master] Conservatoire national supérieur de musique et de danse

Duarte, C., Chapuis, L., Collin, S., Costa, D. (2021). *The soundscape of the Anthropocene ocean*. Science, 371(6529), eaba4658. <https://doi.org/10.1126/science.aba4658>

Dubois, D. (2000) *Categories as acts of meaning : The case of categories in Olfaction and audition*.

Edward, C. (2005). "SOSUS The "Secret Weapon" of Undersea Surveillance". Undersea Warfare. Vol. 7, no. 2

Ewing, M., & Worzel, J. L. (1948). LONG-RANGE SOUND TRANSMISSION. In J. L. Worzel, M. Ewing, & C. L. Pekeris (Éds.), *Propagation of Sound in the Ocean* Vol. 27, p.0 *Geological Society of America*. <https://doi.org/10.1130/MEM27-3-p1>

Fahy, F. (2001). 12—Reflection, Scattering, Diffraction and Refraction. In F. Fahy (Éd.), *Foundations of Engineering Acoustics* (p. 352-379). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012247665-5/50013-8>

Fauziyah, Priatna, A., Prakoso, W., Hidayat, T., Surbakti, H., & Nurjuliasti, E. (2018). Measurement and analysis of acoustic backscattering strength for characteristics of seafloor sediment in Indian Ocean WPP 572-573.

Findlay, C. R., Rojano-Doñate, L., Tougaard, J., Johnson, M. P., & Madsen, P. T. (2023). *Small reductions in cargo vessel speed substantially reduce noise impacts to marine mammals*. Science Advances, 9(25), eadf2987. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adf2987>

Fischetti, A. (2003). *Initiation à l'acoustique* (2e édition). BelinSup.

Gordon, A. L. (2004). *Ocean Stratification*. https://web.archive.org/web/20200329070232/https://eesc.columbia.edu/courses/ees/climate/lectures/o_strat.html#expand

Greimas, A. J. (1970). *Sémantique structurale. Recherche de méthode*. <https://doi.org/10.3917/puf.grei.2002.01>. Presses Universitaires de France

Hugo, V. (1840). *Les Rayons et les Ombres* (La Bibliothèque digitale). Oceano Nox

Ifremer. (2025, février 24). Variabilité de la température et de la salinité dans les eaux métropolitaines. notre-environnement. <https://www.notre-environnement.gouv.fr/>

Ilyina, T., Zeebe, R. E., & Brewer, P. G. (2010). Future ocean increasingly transparent to low-frequency sound owing to carbon dioxide emissions. *Nature Geoscience*, 3(1), 18-22. <https://doi.org/10.1038/ngeo719>

John Richardson, W., Fraker, M. A., Würsig, B., & Wells, R. S. (1985). *Behaviour of Bowhead Whales Balaena mysticetus summering in the Beaufort Sea : Reactions to industrial activities*. Biological Conservation, 32(3), 195-230. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(85\)90111-9](https://doi.org/10.1016/0006-3207(85)90111-9)

Kavanagh, A. S., Nykänen, M., Hunt, W., Richardson, N., & Jessopp, M. J. (2019). Seismic surveys reduce cetacean sightings across a large marine ecosystem. *Scientific Reports*, 9(1), 19164. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55500-4>

Knowlton, C. (2023). Sonar. *Discovery of Sound in the Sea*. <https://dosits.org/animals/effects-of-sound/anthropogenic-sources/sonar/>

Krause, B., Villanueva-Rivera, L. J., Dumyahn, S. L., Farina, A., Pijanowski, B. C., Napoletano, B. M., Gage, S. H., & Pieretti, N. (2011). *Soundscape ecology : The science of sound in the landscape*. *BioScience*, 61(3), 203-216.

Le Calvé, O. (2002, mai). *Propriétés Physiques du Milieu Marin Un cours d'introduction à l'océanographie physique*. Institut des Sciences de l'Ingénieur de Toulon et du Var.

Lee, H. P., Kumar, S., Garg, S., & Lim, K. M. (2022). Assessment of in-cabin noise of wide-body aircrafts. *Applied Acoustics. Acoustique Applique. Angewandte Akustik*, 194, 108809. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.108809>

Le Gall, Y. (2015). *Problèmes inverses en acoustique sous-marine : Prédiction de performances et localisation de source en environnement incertain*. Traitement du signal et de l'image. TélécomBretagne ; Université de Bretagne Occidentale, 2015. HAL <tel-01254838>

Leonard, R. W., Combs, P. C., & Skidmore, L. R. (1949). *The Attenuation of Sound in "Synthetic Sea Water."* The Journal of the Acoustical Society of America.

Lévénez, J.-J. (1990). Les données acoustiques. In *Méthodes d'évaluation des stocks halieutiques* (Vol. 1).

Levitus, S., Burgett, R., & Boyer, T. P. (1994). *World ocean atlas 1994. Vol. 3, Salinity*.

Levitus, S., Burgett, R., & Boyer, T. P. (1994). *World ocean atlas 1994. Vol. 4, Temperature*.

Ma, B. B., Nystuen, J. A., & Lien, R.-C. (2005). *Prediction of underwater sound levels from rain and wind*. The Journal of the Acoustical Society of America, 117(6), 3555-3565. <https://doi.org/10.1121/1.1910283>

Medwin, H., & Clay, C. S. (1997). *Fundamentals of Acoustical Oceanography*. Academic Press.

Minnett, P. J., Alvera-Azcárate, A., Chin, T. M., Corlett, G. K., Gentemann, C. L., Karagali, I., Li, X., Marsouin, A., Marullo, S., Maturi, E., Santoleri, R., Saux Picart, S., Steele, M., & Vazquez-Cuervo, J. (2019). Half a century of satellite remote sensing of sea-surface temperature. *Remote Sensing of Environment*, 233, 111366. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111366>

Office Française Biodiversité (OFB). (s. d.) Sanctuaire pour les mammifères marins | Agoa. Consulté 6 mars 2025, à l'adresse <https://sanctuaire-agoa.fr/>

Oury, E. (2008). *Perception subaquatique : adaptation de l'écoute stéréophonique en petit bassin*. [Mémoire de master] Conservatoire national supérieur de musique et de danse

Polack, J.-D. (2020). *Applying Cognitive Psychology to Urban Soundscapes: From Semantic Categories to Narratives*.

Polack, J.-D. (2022). *Semiotic analysis of the Swedish model for perceived soundscape quality*.

Rayleigh, Lord. « On the Dynamical Theory of Gratings ». Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character 79, n° 532 (1907): 399-416.

Risoud, M. Hanson, J-N. Gauvrit, F. Renard, C. « Sound source localization ». *Elsevier Masson SAS*, 2018.

Russell, J. A. (1980). A circumflex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39(6), 1161-1178. <https://doi.org/10.1037/h0077714>

Saussure, F.d., (1916), *Cours de linguistique générale*, édition critique de 1975, Payot, Paris.

Savel, S. (2001). *Localisation auditive subaquatique : De l'identification des mécanismes impliqués à la démonstration de la plasticité du système auditif et à l'application sur les plongeurs* [These de doctorat, Paris 5]. <https://theses.fr/2001PA05H033>

Sueur, J., & Farina, A. (2015). *Ecoacoustics : The Ecological Investigation and Interpretation of Environmental Sound*. *Biosemiotics*, 8(3), 493-502. <https://doi.org/10.1007/s12304-015-9248-x>

Vogel, C. (1999). *Etude semiotique et acoustique de l'identification des signaux sonores d'avertissement en contexte urbain* [These de doctorat, Paris 6]. <https://theses.fr/1999PA066526>

Webb, P. (2019). *Introduction to Oceanography*. <https://rwu.pressbooks.pub/webboceanography/>

ANNEXES

- **Annexe A** : Notice d'information et consentement éclairé
- **Annexe B** : Guide d'utilisation de la console
- **Annexe C** : Capture d'écran de la session *ProTools*
- **Annexe D** : Journal de Bord
- **Annexe E** : Retour du PRÉTEST

ANNEXE A : Notice d'information et consentement éclairé

Titre du projet : partie pratique de mémoire de Master 2 de Son à l'ENS Louis-Lumière.

Titre : « Caractéristiques et perception des ambiances sous-marines au cinéma »

Étudiant responsable du projet : Dimitri Couet, étudiant en Master 2 de l'ENS Louis-Lumière, d.couet@ens-louis-lumiere.fr - École nationale supérieure Louis-Lumière, La Cité du Cinéma, 20 Rue Ampère, 93200 Saint-Denis

Lieu de la recherche : l'ENS Louis-Lumière, La Cité du Cinéma, 20 Rue Ampère, 93200 Saint-Denis

But du projet de recherche : l'objectif principal de la présente recherche est de caractériser les ambiances sous-marines pour comprendre comment les sons et nos émotions sont reliés entre eux.

Ce que l'on attend du participant.e : si vous acceptez de participer à cette étude, vous mixerez dans le cadre de l'expérience plusieurs extraits audiovisuels se déroulant dans un univers sous-marin. Ces extraits seront accompagnés d'une bande-son qui a été recrée par-dessus ces images, composée de différents stems sur lesquels vous pourrez faire varier le niveau. Pour cette expérience de mixage, vous serez installé seul ou en binôme au centre d'une salle de travail de post-production sonore. Vous serez invités, après chaque extrait, à remplir un questionnaire qui vous sera remis au début de la session. La session complète, incluant l'accueil des participants, les explications et le temps effectif du test, aura une durée approximative d'une heure. Les différentes sessions se dérouleront sur la période du 28 avril au 30 mai 2025, toute la journée entre 9 h et 22 h. La participation à l'étude étant volontaire, aucune indemnisation n'est prévue pour y participer.

Vos droits de vous retirer de la recherche à tout moment : accepter de participer à cette étude est totalement volontaire. Vous pourrez décider d'annuler votre consentement et de vous retirer du protocole à tout moment sans donner de raison. Si vous décidez de vous retirer, il vous sera demandé si vous acceptez ou non l'exploitation des données déjà collectées.

Vos droits à la confidentialité et au respect de la vie privée : les données obtenues seront traitées de manière complètement confidentielle. Dans ce but, nous masquerons votre identité à l'aide d'un numéro qui sera affecté au début de l'étude. Chacune des données collectées (réponses aux questionnaires) sera affectée à votre numéro. Le lien entre la personne et ses données ne sera jamais stocké de façon numérique sur aucun serveur, mais noté sur papier et conservé par l'expérimentateur. Toutes les données collectées seront archivées sur un disque dur de l'expérimentateur ; seul celui-ci y

aura accès sans limite de durée. Dans le cas d'une diffusion de l'analyse des résultats de l'étude, orale ou écrite, les données relatives aux résultats des participants resteront anonymes. Enfin, en cas de demande de votre part et conformément aux dispositions de la loi Informatique et Libertés, vous pourrez exercer vos droits d'accès et de rectification ou suppression des données collectées auprès du responsable du projet.

Risques possibles de l'étude : les participants sont soumis à des immersions dans des environnements audiovisuels aux niveaux sonores semblables à ceux rencontrés en salle de cinéma. Il est possible que certains participants puissent ressentir une gêne auditive à l'écoute de certaines stimulations sonores.

Moyens de prévention : chaque séance se fait sous la supervision de l'étudiant responsable du projet, pour s'assurer de son bon déroulement, répondre aux questions des participants si besoin, ou interrompre la session si nécessaire. Le système de diffusion sonore du lieu de l'expérience est calibré selon les normes en vigueur et sera testé avant toutes les sessions pour s'assurer de son bon fonctionnement. Les programmes diffusés dans le lieu de l'expérience ont été préalablement mixés dans un auditorium calibré et leur niveau sonore a été adapté lors d'une séance de prétest.

Vos droits de poser des questions : vous pouvez poser des questions au sujet de la recherche à tout moment (avant, pendant et après votre participation) en communiquant avec l'étudiant responsable du projet directement ou par e-mail à d.couet@ens-louis-lumiere.fr.

Consentement à la participation : En signant le formulaire de consentement, vous certifiez que vous avez lu et compris les renseignements ci-dessus, qu'il vous a été précisé que vous étiez libre d'annuler votre consentement ou de vous retirer de cette recherche à tout moment, sans préjudice.

À remplir par le participant :

Date, Nom, Prénom :

Fait à : Saint Denis

J'ai lu et compris les renseignements ci-dessus et j'accepte de plein gré participer à cette recherche.

Signature :

À remplir par l'expérimentateur,

9 avril 2025, COUET, Dimitri

Un exemplaire de ce document vous est remis, un autre exemplaire est conservé par l'étudiant responsable du projet.

ANNEXE B : Guide d'utilisation de la console

PPM Dimitri COUET

Guide d'utilisation de la console

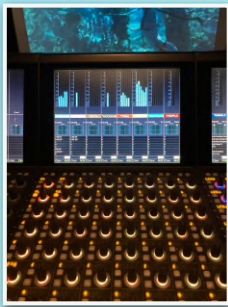


Flèches directionnelles et PLAY/PAUSE



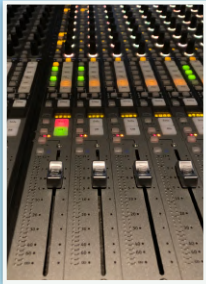
1)Transport

Visualiseur du bac
Permet de voir le niveau associé à chaque fader



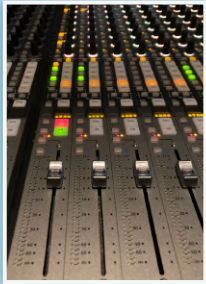
2)Ecran du bac de fader

Bouton SOLO
En rouge au dessus du fader
Permet d'écouter seulement le fader sélectionné



Fader
Permet de changer le niveau d'un stem qui lui est associé

3)Bac de Fader



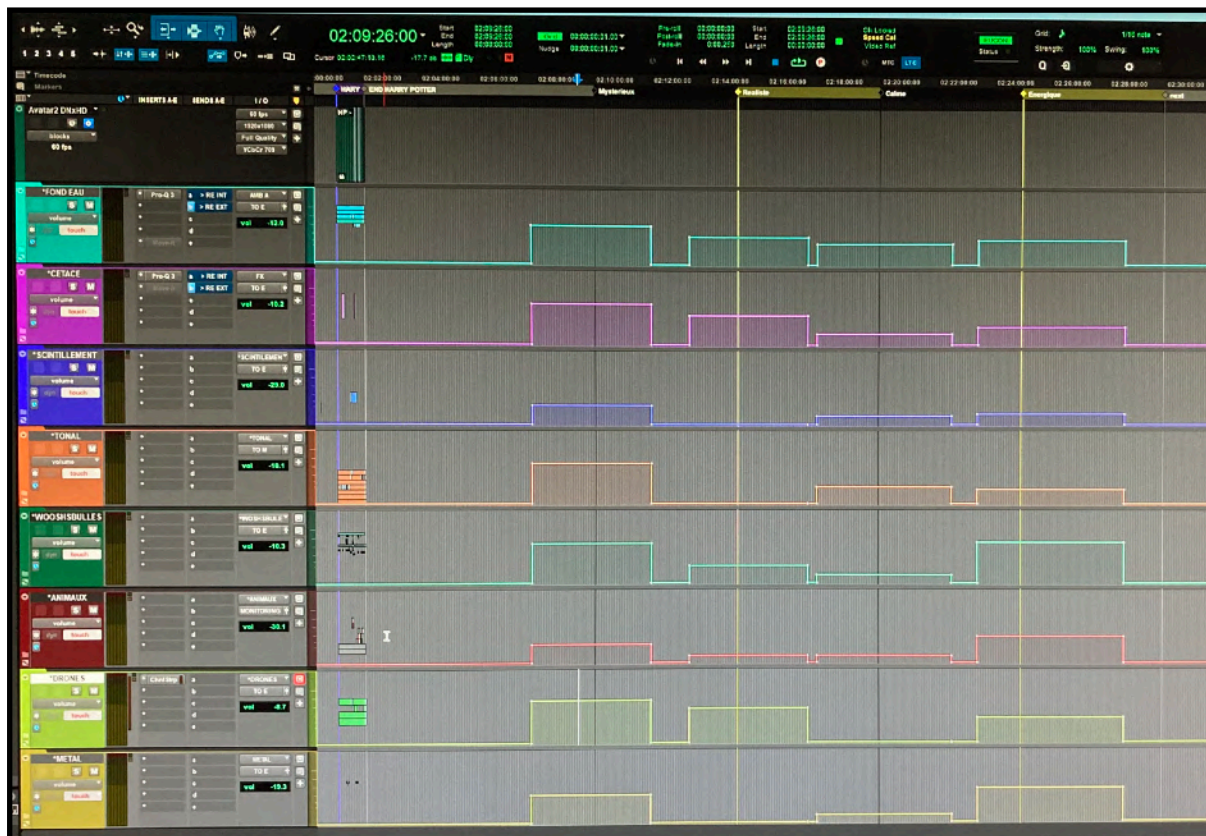


Conseils pour le mixage

- 1 Regarder l'extrait avec tout les fader baissés pour se familiariser avec la séquence
- 2 Ecouter chacun des fader séparément pour voir quels sont les sons associés
- 3 Garder en tête l'adjectif qui qualifie la séquence avant de toucher les fader
- 4 Commencer par monter les fader qui ont des sons continues
- 5 Bien réécouter l'ensemble et toucher tout les fader avant de valider



ANNEXE C : Capture d'écran de la session *ProTools*



ANNEXE D : Journal de Bord

mardi 15 avril 2025

Arrivée en Suisse vers midi, nous avons fait une réunion pour préparer la semaine, définir les besoins et les lieux de tournages. Suite à cette réunion, nous avons créé un planning de la semaine (voir la **Figure 1**).

Planning de Prises de Sons							
Heure : Avril en Suisse							
	14 Lundi	15 Mardi	16 Mercredi	17 Jeudi	18 Vendredi	19 Samedi	20 Dimanche
8:00 AM			Téléphone pisciculture			ETANG LONG	
8:30 AM						ETANG LONG	
9:00 AM						ETANG LONG	
9:30 AM						ETANG LONG	
10:00 AM			Pisciculture	Vièze		ETANG LONG	
10:30 AM			Pisciculture	Vièze		ETANG LONG	
11:00 AM			Pisciculture	Vièze		ETANG LONG	
11:30 AM						ETANG LONG	
12:00 PM							PAQUES
12:30 PM							PAQUES
1:00 PM		ARRIVEE					PAQUES
1:30 PM						LAC Beau temps	PAQUES
2:00 PM					Port du Bouveret	LAC Beau temps	PAQUES
2:30 PM					Port du Bouveret	LAC Beau temps	PAQUES
3:00 PM					Port du Bouveret	LAC Beau temps	PAQUES
3:30 PM					Port du Bouveret	LAC Beau temps	PAQUES
4:00 PM					Port du Bouveret	LAC Beau temps	PAQUES
4:30 PM					Port du Bouveret		DEPART
5:00 PM		Tests Prises de sons			Port du Bouveret		
5:30 PM		Tests Prises de sons					
6:00 PM		Tests Prises de sons					
6:30 PM		Tests Prises de sons					

Figure 1. Planning prévisionnel

Ensuite, nous sommes partis faire des prises de son dans un petit étang pour tester le matériel technique et tester l'utilisation d'un système de canne avec une boucle. Ce système s'est avéré très **efficace** et nous a permis d'avoir un meilleur **contrôle** sur l'hydrophone en milieu naturel.

mercredi 16 avril 2025

Ce matin, nous sommes allés à la pisciculture du district de la ville de Monthey. Ici, on élève des alevins et des truites pour les relâcher dans les cours d'eau des alentours. Nous avons pu faire des prises de son dans différents bacs contenant des truites à différentes étapes de leurs vies. Le but était de pouvoir essayer de comprendre si les truites émettent des sons.

Voici les résultats :

- **Truites très jeunes** : Beaucoup de touches sur le micro
- **Truites jeunes** : on a pu retrouver des sons caractéristiques répétitifs qui semblent avoir été émis par les truites.
- **Truites adultes** (géniteurs) : Pas de sons notable
- **Alevins** : Sons très aigus produits lorsqu'on a donné à manger aux alevins.

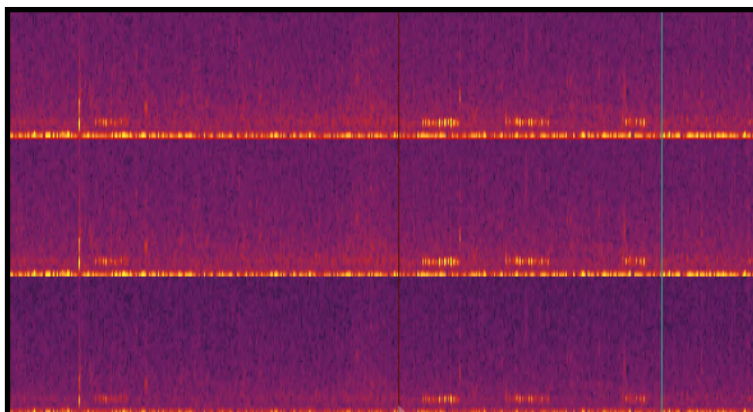


Figure 2. Sons émis par les truites jeunes



Figure 3. Bac contenant les alevins



Figure 4. Bac contenant les truites

jeudi 17 avril 2025

Aujourd'hui, la météo était pluvieuse et c'était un temps idéal pour aller faire des prises de son dans les rivières et ruisseaux des alentours pour réussir à trouver des mouvements d'eau dans des rapides.

Nous avons été faire des sons dans la Vièze qui est une rivière avec un gros débit. Nous avons pu enregistrer dans des eaux rejetées par une usine, ce qui nous a permis d'avoir un son d'eau avec un son de turbine qui pourra nous être utile pour simuler le moteur du sous-marin dans l'extrait du Chant du Loup.

Ensuite, nous avons été dans un petit cours d'eau plus calme qui nous a permis de faire des sons de mouvements d'eau, mais qui sonnaient beaucoup moins puissants que ceux faits dans la Vièze.

Enfin, nous sommes allés faire des sons près d'une petite chute d'eau. Ici, il y avait de nombreuses variations parce que le courant était fort et parce que le bord de la rivière avait un petit renfonce ment. Cela engendrait des variations de l'acoustique qui rendaient la prise de son assez dynamique.



Figure 5. Au bord de la Vièze

vendredi 18 avril 2025

Ce matin, nous avons passé du temps à de-rusher les sons de la veille à l'aide du logiciel *Reaper* et à préparer le matériel pour les prises de son sur le lac Léman l'après-midi.

Nous sommes donc partis avec un ami de mon grand-père qui possède un petit bateau pour faire nos prises de son à différents endroits du lac que nous détaillerons le plus précisément que possible ci-après.

Tout d'abord, nous sommes allés sur le vieux Rhône, un ancien bras du fleuve qui est maintenant protégé avec peu de profondeur et beaucoup d'animaux sauvages. On a alors fait des prises de son dans le petit port de Noville et des sons du moteur du bateau qui démarre et qui s'arrête.

Ensuite, nous sommes allés de l'autre côté du lac, près de Montreux, pour faire des prises de son avec une grande profondeur. Nous sommes allés en face d'un grand massif près de Villeneuve (VD) pour enregistrer avec notre hydrophone à 10m de profondeur. En dessous, il y avait environ 90m de profondeur d'après les cartes. J'ai été surpris d'entendre sous l'eau le train qui longeait la côte à approximativement 100m de nous dans mon casque. Cela montre à quel point de graves vibrations solidiennes se transmettent dans le milieu liquide. On peut aussi noter qu'on n'entendait plus du tout l'autoroute qui passait sur la côte au-dessus de la voie ferrée qu'on pouvait entendre depuis le bateau.

Ensuite, nous nous sommes arrêtés à mi-chemin entre le Bouveret et Montreux, pour enregistrer dans une zone calme avec une grande profondeur en dessous de notre microphone. Là, nous avons pu enregistrer des sons de rames, des clapotis divers et aussi le son d'un bateau avec une roue à aubes qui nous a contournés pour rejoindre Montreux.

Après cela, nous avons avancé jusqu'à une barrière de flotteurs à l'embouchure du Rhône, qui est là pour limiter l'arrivée des détritiques comme les rondins de bois. Ici, nous avons pu avoir des sons métalliques de la barrière de flotteur, avec une acoustique assez réverbérée avec un peu de courant en profondeur.

Pour finir, nous sommes allés sur un canal, le Pfalder pour enregistrer dans une eau très calme avec peu de courant.

Concernant la météo, il faisait un grand soleil tout le long de l'après-midi avec très peu de vent.

samedi 19 avril 2025

Pour cette dernière journée de prise de son, nous sommes allés sur les hauteurs de Sion à l'étang de Lombardon. Nous avons pu enregistrer des sons d'une remise à l'eau de truite avec un employé d'une pisciculture qui a remis environ 60kg de poissons à l'eau.



Figure 6. Mise à l'eau des truites

Nous avons aussi utilisé un système de filet (Figure 6) pour mettre à l'eau une enceinte Bluetooth pour pouvoir diffuser différents sons depuis cette dernière et les enregistrer. Malheureusement, dès que l'on immergeait l'enceinte totalement, on perdait la connexion Bluetooth, ce qui nous a obligés de laisser une toute petite partie de l'enceinte hors de l'eau. L'hydrophone était quant à lui complètement immergé à environ 50 cm de la surface et à proximité de l'enceinte. On s'est aperçu que dès qu'on éloignait cette dernière de l'enceinte de plus de 2m, on n'entendait plus les sons.

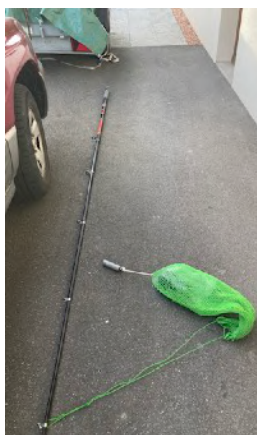
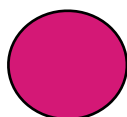


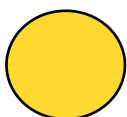
Figure 7. Système pour immerger l'enceinte Bluetooth

ANNEXE E : Retour du PRÉTEST

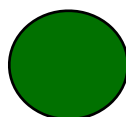
Adjectifs utilisés :



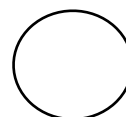
Mystérieux



Dynamique



Calme



Réaliste

Remarques des participants :

L'adjectif **réaliste** a été sujet à des réflexions plus poussées, notamment en questionnant la présence ou non de musique dans l'eau ou sur la bande passante qu'on pouvait entendre (renfort de son grave). Ces réflexions à deux du binôme peuvent expliquer en partie pourquoi ils ont trouvé cet adjectif plus facile à interpréter.

À l'inverse, l'adjectif **dynamique** a été le plus difficile pour les participants. En effet, ils ont eu la volonté de créer des variations temporelles des *faders* pendant l'extrait (au lieu de les laisser au même niveau tout le long de la séquence). Il n'est pas prévu dans le protocole de donner cette possibilité aux participants, il sera donc plus opportun de changer d'adjectif pour résoudre cette problématique.

Ils auraient aussi apprécié que le son assez intrigant du stem « drone » qu'on entend au début puisse continuer jusqu'à la fin pour pouvoir lors du passage avec l'adjectif **mystérieux**.

Bien qu'ils aient eu l'idée de mettre l'ensemble des stems moins forts lors du mixage avec l'adjectif **calme**, les participants se sont tout de suite dits qu'il y avait sûrement quelque chose de plus malin et subtil au-delà de ça. Cela les a notamment conduits à mettre en avant le stem scintillement qui contient ces sons assez aigus (et) très réverbérés.

Les participants ont aussi demandé et préféré ne pas avoir à utiliser le clavier en mettant la session en boucle.

En ce qui concerne le timing, les participants ont mis un peu moins de 10 minutes pour mixer et comprendre le premier extrait, et mettent ensuite deux fois moins de temps pour mixer le même extrait. Une fois qu'ils ont compris ce que contenait les fader et la composition de la séquence, ils sont allés beaucoup plus vite.

Pistes d'amélioration :

Il faudrait retravailler l'explication des consignes pour bien qu'on puisse comprendre l'enjeu de chaque stem et le but de l'expérience.

On doit trouver un système pour permettre aux utilisateurs de naviguer dans la session. On peut penser à l'utilisation de la souris par l'organisateur, via le transport ou à l'aide d'un *streamdeck*. Il faut penser à limiter l'accès au clavier puisque les participants peuvent appuyer sur une mauvaise touche assez facilement

On n'observe pas vraiment de corrélation entre le premier mixage et le dernier mixage avec le même adjectif sur la séquence. Cela est peut-être dû au fait que le premier test est un peu impressionnant pour les participants qui découvrent l'installation technique et l'extrait en question. Il semble donc important de faire un test préliminaire sur une séquence neutre, pour que les participants puissent se familiariser avec ce nouvel environnement.

Revoir le timing, découvrir un extrait prend beaucoup plus de temps que l'action du mixage en tant que telle. On peut alors imaginer décentement faire mixer le même extrait avec quatre adjectifs en 20 min.