



École Nationale Supérieure Louis-Lumière

Mémoire de fin d'étude

Les enjeux de la transition dans la
composition des paysages sonores

Auteur :

Hugo CORBEL

Directeur de mémoire interne :

Éric URBAIN

Directeur de mémoire externe :

Philip SAMARTZIS

Rapporteur :

Pascal SPITZ

14 juin 2021

Remerciements

Merci à Philip Samartzis, pour ses conseils avisés sur l'enregistrement et la composition de paysages sonores et à Éric Urbain pour ses retours et ses conseils.

Merci à Franck Jouanny et Alan Blum pour leur aide technique lors de l'élaboration et la diffusion de *L'Heure Bleue*.

Merci à Adrien Zanni pour ses conseils, ses retours et son expertise sur l'ambisonique et la composition en multicanal, ainsi que pour son aide lors de la présentation de *L'Heure Bleue*.

Merci au gouvernement français et à la COVID-19 pour les mesures de confinement et de couvre-feu, qui ont permis d'avoir peu de personnes dehors lors des enregistrements.

Merci à Laurent Stehlin et Fabrice Loussert, merci à Florent Fajole pour ses conseils de lectures et merci à l'ensemble de l'équipe enseignante du Master Son de l'ENS Louis-Lumière pour ces trois ans très instructifs.

Merci à mes parents de m'avoir emmené, certaines fois traîné, en forêt pour se promener et ainsi de m'avoir ouvert à l'écoute des paysages sonores. Merci aux vrais verre-doyant Loryne et Lucas pour les moments de détente et de rire, ainsi que pour le soutien durant ces trois ans. Merci à tous.tes celle.eux qui m'ont soutenu lors de l'élaboration de ce mémoire et merci à toutes les personnes qui sont venues écouter *L'Heure Bleue*.

Merci à la promotion Son 2021 pour toutes les dingeries et les bons moments.

Au Bibliogang, nouveau né de l'année 2021.

Résumé

L'aube dans un environnement naturel est un processus très complexe en matière de son. Les mécanismes en jeu lors de cette période sont encore peu connus, bien que le phénomène soit familier à beaucoup de personnes vivant en lisière de forêt. C'est un processus de transition entre deux moments, à savoir la nuit et le jour. Le concept de transition est très présent dans les enregistrements et les compositions de paysages sonores. Nous nous demanderons donc comment faire ressentir cette transition dans une composition à base de paysages sonores et comment en rendre compte dans une installation immersive.

Nous proposons ici de faire du processus de transition notre sujet d'étude, à travers la composition de la pièce *L'Heure Bleue*. À partir de l'analyse des transitions présentes dans la pièce *La Selva* de Francisco López, nous caractériserons des principes de compositions servant à faire ressentir une transition. Nous nous intéresserons également à la forêt et à ses caractéristiques sonores, en particulier lors du passage entre nuit et jour, ainsi qu'aux manières de rendre compte de cet environnement dans une composition. La pièce, par son dispositif sonore et son contenu, tentera de plonger le spectateur.rice dans une forêt à l'aube. Nous discuterons donc des moyens à mettre en place pour provoquer une immersion, notamment par les technologies multicanales, en particulier l'ambisonique.

Mots-clés : Transition, Paysage Sonore, Immersion, Ambisonique, Temps, Espace, Aube, Nuit, Jour

Abstract

Dawn in a natural environment is a very complex process in terms of sound. The mechanisms at play during this period are still little known, although the phenomenon is familiar to many people living on the edge of the forest. It is a process of transition between two moments, namely night and day. The concept of transition is very present in recordings and soundscape compositions. We will therefore ask ourselves how to make this transition felt in a soundscape-based composition and how to render it in an immersive installation.

We propose here to make the transition process our subject of study, through the composition of the piece *L'Heure Bleue*. From the analysis of the transitions present in the piece *La Selva* by Francisco López, we will characterise the principles of composition used to give a feeling of transition. We will also look at the forest and its sonic characteristics, particularly in the transition between night and day, and at the ways in which this environment can be reflected in a composition. The piece, through its sound device and its content, will attempt to immerse the spectator in a forest at dawn. We will therefore discuss the means to be put in place to provoke an immersion, notably through multichannel technologies, in particular ambisonics.

Keywords : Transition, Soundscape, Immersion, Ambisonics, Time, Space, Dawn, Night, Day

Table des matières

Résumé	iii
Abstract	v
Introduction	1
1 La transition comme enjeu de composition	5
1.1 Qu'est-ce qu'une transition ?	6
1.1.1 Le concept de transition	6
1.1.2 Les rôles de la transition dans la composition	7
1.1.3 La transition dans les paysages sonores	9
1.2 L'exemple de <i>La Selva</i>	10
1.2.1 Francisco López	10
1.2.2 <i>La Selva</i>	13
1.3 Analyse des transitions de la pièce	16
1.3.1 Description analytique globale	16
1.3.2 Remarques analytiques	24
1.4 Caractérisation des différentes transitions	27
1.4.1 Transitions fréquentielles	28
1.4.2 Transitions en intensité	29
1.4.3 Transitions rythmiques	32

2	<i>L'Heure Bleue, transmettre l'expérience du lever du jour</i>	35
2.1	Du réel à la composition : éléments sonores de l'aube	36
2.1.1	Caractéristiques sonores d'une forêt matinale	36
2.1.2	Composer un paysage sonore de nature	40
2.2	Restitution multicanale de l'espace sonore	42
2.2.1	L'immersion	42
2.2.2	Le son ambisonique	48
3	Création de l'installation	61
3.1	Dispositifs techniques	62
3.2	Composition	63
3.2.1	Enregistrement	63
3.2.2	Montage	66
3.2.3	Mixage	68
3.3	Retours du public	72
3.3.1	Statistiques globales	72
3.3.2	Discussions	76
	Conclusion	79
	Annexes	81
	Annexe 1 : Description de chaque séquence	81
	Annexe 2 : Transcription d'échanges de mail avec Francisco López . . .	93
	Annexe 3 : Affiche de l'installation	95
	Annexe 4 : Présentation de l'installation	97
	Annexe 5 : Synoptique de l'installation	99
	Annexe 6 : Questionnaire	101
	Table des figures	103
	Lexique	107
	Bibliographie	109

Introduction

La forêt a presque toujours été à proximité de moi. Tout petit déjà, nous faisons des promenades dans le bois à côté de la maison de mes parents. C'est dans ces moments-là que j'ai appris à l'écouter et à comprendre la complexité de cet environnement.

Ce mémoire part de cette expérience et de l'envie de l'enregistrer et la partager autour de moi. Le processus qui m'a toujours fasciné est celui du lever du jour, lorsque les oiseaux commencent à chanter. Ce travail de recherche m'est apparu comme l'occasion de comprendre ce processus, de le décortiquer afin d'en trouver les éléments constitutifs. Ce procédé naturel étant une transition de la nuit au jour, l'idée de ces recherches est de saisir les mécanismes qui permettent de faire sentir une transition et de caractériser des méthodes pour pouvoir la restituer sous la forme d'une composition grâce à l'étude d'une pièce à base de paysages sonores. L'envie de partager l'expérience du lever du jour m'a amené à réfléchir à la conception d'une pièce immersive, et ce pour plusieurs raisons. En premier lieu, cela me permet d'approfondir certaines pratiques et certains concepts autour de la création musicale et des technologies immersives. D'autre part, la liberté de création que la composition d'une telle pièce offre me paraît être un champ d'expression et d'expérimentation extrêmement vaste, qui répond aux pratiques que je veux exercer. L'origine de ce mémoire est liée à mon envie de composer une pièce immersive autour du lever du jour dans une forêt, cependant la forme de cette création sera le résultat des recherches effectuées.

INTRODUCTION

L'enregistrement des paysages sonores constitue à présent un secteur important de la composition musicale et par conséquent a donné naissance à un champ artistique à part entière. Dès les années 1930 des artistes comme Walter Ruttmann dans sa pièce *Wochenende*, ont commencé à inclure des sons enregistrés (des sons du quotidien et des sons d'ambiance de paysages sonores) dans leurs compositions musicales. Dans les années 70, ce sont surtout les canadiens qui, sous l'impulsion des écrits de Ray Murray Schafer, vont fonder une discipline à la fois artistique et scientifique, l'écologie acoustique, qui influencera de nombreux artistes sonores. L'artiste Luc Ferrari, dans les années 70, opère un rapprochement entre musique acousmatique et paysage sonore, avec sa série *Presque rien*, où il met en scène des paysages sonores. La pièce *Presque rien N°1 - Le lever du jour au bord de la mer* restitue le réveil d'un village de pêcheurs. Par un travail en studio il a interprété cette transition entre nuit et jour, grâce à des enregistrements qu'il a réalisés au bord de la mer Adriatique, en Yougoslavie.

Plus récemment, des artistes comme Francisco López avec sa pièce *La Selva* ou Chris Watson avec *Weather Report* se sont intéressés au temps qui passe et à la manière de le compresser. À partir de 24h d'enregistrements d'un environnement (la réserve de La Selva au Costa Rica pour Francisco López ou des paysages d'Afrique, d'Écosse et de Norvège pour Chris Watson), ils composent une pièce d'une heure maximum. Ces pièces abondent donc de transitions en tout genre. Nous allons donc tout d'abord définir plus précisément ce que l'on entend par "transition" et quelle est la place de ce concept dans les compositions à base de paysages sonores. Nous caractériserons ensuite des types de transitions à partir de l'analyse de la pièce de Francisco López, *La Selva*. À l'issue de cette première partie nous aurons donc recueilli des principes de composition visant à faire sentir une transition.

La deuxième partie de ce mémoire s'intéressera à la conception de la pièce *L'Heure Bleue* et à la restitution de l'expérience du lever du jour. Nous nous intéresserons d'abord à la composition de cette pièce, en partant des caractéristiques sonores d'une forêt réelle pour ensuite détailler comment s'y prendre pour composer un paysage sonore autour d'une transition. Nous utiliserons les concepts définis dans la première partie afin de construire la transition de la nuit au jour. La pièce étant destinée à une diffusion immersive, nous nous intéresserons aux modalités permettant l'immersion et aux façons de les appliquer à une pièce sonore. Nous parlerons également de quelques systèmes de diffusion immersifs, afin d'en choisir

un pour la restitution de *L'Heure Bleue*. Enfin, nous étudierons plus en profondeur le procédé retenu pour la diffusion de la pièce, en détaillant les processus de fabrication, de l'enregistrement à la diffusion.

Enfin en troisième partie nous détaillerons la création de l'installation et la composition de la pièce, basé sur les raisonnements apportés par le corps de recherche. Nous nous concentrerons sur les aspects de réalisation du projet, en détaillant les choix techniques et esthétiques concernant la composition de la pièce. Nous traiterons ensuite les retours donnés par les auditeurs de la pièce, qui permettront d'aboutir à certaines conclusions concernant la mise en œuvre de la transition de la nuit au jour et l'immersion procurée par le système.

PARTIE 1

La transition comme enjeu de composition



1.1 Qu'est-ce qu'une transition ?

Comme nous l'avons dit en introduction, ce mémoire s'intéresse au concept de transition dans les pièces à base de paysages sonores. Cependant, il convient de se demander ce que l'on entend par "transition" et quelle place occupe ce concept dans les compositions à base de paysages sonores.

1.1.1 Le concept de transition

Le dictionnaire Larousse définit le terme "transition" par : "État, degré intermédiaire, passage progressif entre deux états, deux situations." ¹ C'est donc la manière de passer entre deux états. Ainsi une transition se caractérise par le passage entre deux moments différents ou entre deux endroits différents, dans un contenu audiovisuel par exemple. Il y a une idée de déplacement entre deux états temporels ou spatiaux, ainsi qu'une idée de changement. La transition renvoie également au temps qui passe, et est un moyen de le signifier. C'est donc un concept très large, utilisé quasiment de façon systématique dans les créations audiovisuelles.

De plus la transition est une notion qui peut nous renseigner sur notre environnement sonore, et comment il évolue autour de nous. C'est un phénomène que l'on expérimente chaque jour, en entrant ou en sortant de bâtiments avec le son de l'extérieur et celui de l'intérieur, en se déplaçant d'un endroit à un autre avec les différentes ambiances des deux lieux ou simplement en voyant la journée défiler. Tous ces changements sont visuels, mais également sonores et sont ainsi reproductibles. Par conséquent, la transition est un indicateur de l'évolution d'un environnement, tant au niveau sonore qu'à un niveau plus global. Dans son livre *Chansons animales & cacophonie humaine, Manifeste pour la sauvegarde des paysages sonores naturels* (KRAUSE 2016), Bernie Krause nous relate l'évolution d'une forêt de l'Ouest américain. En juin 1988, il enregistre le son de cette forêt, avec beaucoup de chants d'oiseaux différents et un ruisseau. Un an après, une coupe sélective des arbres a été effectuée, et il est revenu enregistrer. Le ruisseau était toujours présent, mais les oiseaux avaient presque tous disparu. À l'oeil, la forêt n'avait pas changé, mais au son la différence était flagrante. Ainsi, par cette coupe sélective, l'environnement sonore de cette forêt a subi une transition dans

1. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/transition/79157>

sa richesse et cette transition sonore nous renseigne sur l'évolution du paysage et de la vie qui le peuple. Par conséquent, la transition est une notion importante dans notre écoute et notre appréhension du monde, ainsi que dans la création d'œuvres sonores.

La définition que nous en ferons dans ce mémoire est : le passage évolutif entre deux moments ou deux endroits différents. Cela correspond par exemple au passage d'un moment où l'on entendrait de la pluie à un moment où celle-ci se serait arrêtée ou alors le passage de l'intérieur d'une rame de métro à l'extérieur dans la rue. Cela n'implique pas nécessairement d'entendre le moment de transition en lui-même, mais surtout de percevoir qu'un changement a eu lieu entre les deux éléments. Étudier une transition implique de connaître les matériaux sonores avant et après celle-ci, et de décrire la manière dont on a évolué de l'un vers l'autre. C'est une étape indispensable pour comprendre comment mettre en œuvre cet outil de composition dans le cadre de paysages sonores, que nous mettrons en œuvre par la suite.

Dans ce mémoire, nous nous intéressons aux transitions sonores qui ont lieu dans les paysages sonores. Cela regroupe les transitions qui se produisent spontanément dans des environnements naturels, comme le lever du jour ou le changement de saison, mais aussi les transitions dans les compositions à base de paysages sonores, qui peuvent retranscrire ou non les transitions précédentes.

1.1.2 Les rôles de la transition dans la composition

On considère comme composition à base de paysages sonores toute œuvre diffusant au moins un enregistrement de paysage sonore, qu'il ait été modifié ou non. La transition dans ces compositions joue plusieurs rôles, qui participent à l'articulation du propos de la pièce et à son évolution dans le temps.

Rôle rythmique

Le rôle rythmique de la transition est de faire sentir un changement dans la vitesse à laquelle se déroulent les événements de la pièce. Ainsi une abondance de transitions va donner une impression de rapidité, puisque l'on évoluera d'un environnement à l'autre à une vitesse jugée importante. Cette impression de rapidité dépend bien entendu du contenu de la pièce. À l'inverse, s'il y a peu de transitions

et que celles-ci se font sur un temps plus long, elles donneront l'impression d'une certaine lenteur.

De plus, une transition d'un élément sonore chargé en événements, comme une ambiance de marché par exemple, à un élément moins chargé, comme l'intérieur d'un appartement calme, va donner l'impression d'un ralentissement des événements sonores. L'inverse fonctionne également, produisant une impression d'accélération.

La transition permet également, plus simplement, de faire le passage entre deux parties d'une composition et d'amener du changement, pour éviter de créer une lassitude chez l'auditeur.rice.

Rôle narratif

La transition a un rôle narratif, puisqu'elle permet de faire évoluer des événements entre eux. L'enchaînement de ceux-ci permet de créer une histoire, aussi anecdotique soit-elle. Elle permet de relater la façon dont évolue un environnement en créant une chronologie propre à l'oeuvre, différente de celle qui aurait pu être enregistrée.

Ce rôle permet de rendre compte de l'évolution d'un paysage sur une période donnée, en racontant ce qui s'y est passé. La transition permet de compresser une période de plusieurs mois voire plusieurs années en une pièce de quelques minutes par exemple.

Rôle transformatif

Les rôles de la transition précédemment présentés servent un propos de représentation d'un lieu ou d'une période. Cependant, l'utilisation de paysages sonores dans des compositions ne sert pas forcément ce propos et ils peuvent être utilisés pour leur caractère sonore uniquement, comme une matière sonore à façonner.

Dans ce cas, la transition a comme rôle d'opérer une transformation dans le contenu sonore de la pièce. Cela peut se caractériser par un changement de timbre ou un changement de niveau sonore. De la même manière, cette transition amène une évolution de la matière sonore dans le temps, et peut donc opérer en même temps un rôle rythmique.

1.1.3 La transition dans les paysages sonores

Ainsi, la transition est un concept permettant de signifier l'évolution temporelle d'une pièce sonore tant au niveau rythmique qu'au niveau du timbre par exemple. De cette manière, c'est un concept très présent dans les compositions à base de paysages sonores. Les différents artistes qui utilisent la transition le font de plusieurs manières différentes et nous nous inspirerons de l'exploitation qu'ils en font.

L'artiste Luc Ferrari dans sa pièce *Presque Rien N°1 - Le lever du jour au bord de la mer* (FERRARI 1967-1970) raconte le lever du jour dans un port de pêcheurs en Yougoslavie. La transition a dans cette pièce un rôle narratif, puisqu'il joue avec les enregistrements de moteurs de bateau et de discussion, pour relater la façon dont le port se réveille. Cette histoire possède sa propre chronologie particulière, mais une chronologie analogue à celle que nous pourrions vivre. Ferrari nous fait entendre ici l'ensemble des matins de ce petit village. Il a été un des premiers à composer ce genre de pièce, autour d'un réalisme anecdotique. Cette pièce est la dernière de ce style composée par l'artiste. Les versions suivantes de *Presque Rien* sont beaucoup plus ancrées dans la musique électroacoustique et moins dans les paysages sonores.

Cependant, ce genre de composition a perduré. En 2003, l'artiste Chris Watson publie *Weather Report* (WATSON 2003), un album composé de trois morceaux. Le premier, *Ol-lool-o* est une pièce de 18 minutes, qui compile 14 heures d'enregistrements dans le Masai Mara au Kenya de 5h00 du matin à 19h00. Ici, la transition permet de faire le passage entre les différents moments de ces nombreuses heures d'enregistrements. Nous avons des enregistrements d'animaux, d'être humains, de météo et d'activités diverses qui sont arrangées d'une manière que l'on ne pourrait pas entendre en réalité. La transition permet de faire le liant entre tous ces événements. Le deuxième morceau, *The Lapaich*, est une pièce autour du vent et de l'eau, enregistré dans un vallon des highlands écossais sur une période de quatre mois. De la même façon, la transition permet de lier ensemble ces quatre mois d'enregistrements et d'en faire une pièce unique de 18 minutes. Enfin *Vatnajökull* est issu d'enregistrements des glaces flottantes d'un glacier islandais qui se jettent dans la mer norvégienne. Ce sont les sons les plus "étrangers" de tout le disque, principalement parce qu'ils nous sont peu familiers.

Une autre manière de faire des transitions autour des paysages sonores est

d'enregistrer celles qui se produisent naturellement. Nous pouvons citer le travail de Bernie Krause, qui depuis le début des années 1980 enregistre des paysages sonores partout dans le monde. Il s'est donc intéressé aux périodes de transitions qui ont lieu dans les rythmes de la nature, tel que l'aube ou le crépuscule. Sa démarche tient plus de la bioacoustique, c'est-à-dire de l'étude des communications entre les animaux et est donc très documentaire.

L'artiste Francisco López s'intéresse à la matière sonore au sens large, dont celle des paysages sonores. Les transitions qu'il compose sont donc plus tournées vers le rendu sonore qui en découle, et non la "vraisemblance" ou la représentation. Il en résulte des compositions centrées sur le son-en-soi, détachées de toutes significations. *La Selva* est un exemple de pièce de López composée à partir d'enregistrements de forêt tropicale. Elle retrace une journée dans la réserve de La Selva au Costa Rica. C'est donc une pièce qui foisonne de transitions entre tous les différents moments de la journée.

L'abondance des transitions dans *La Selva*, la longueur de la pièce (1h10min) ainsi que la richesse des sons proposés m'ont amené à effectuer une analyse de ces transitions, afin d'en retirer des principes de composition. Ces principes de composition nous renseignent sur la manière dont les transitions sont écrites et comment nous pourrions les utiliser plus tard pour composer nous-mêmes un paysage sonore autour d'une transition.

1.2 L'exemple de *La Selva*

Nous allons ici présenter Francisco López ainsi que sa conception de l'art sonore et de la composition à base de paysages sonores. Nous verrons comment il se place par rapport aux travaux de Ray Murray Schafer et Pierre Schaeffer, auteurs auxquels il fait souvent référence pour parler de son travail. Nous présenterons également sa pièce *La Selva*, qui fera l'objet d'une analyse par la suite.

1.2.1 Francisco López

Francisco López est un artiste sonore, né en 1964 à Madrid. Il est d'abord professeur de biologie dans des universités en Espagne et en Amérique Latine, mais se consacre très vite à la composition de pièces sonores autour du "*field recording*" au début des années 1980. Il a aujourd'hui (en 2021) édité plus de 600

CD, cassettes et disques vinyles retraçant son travail sur les sons de la nature et de la ville, mais aussi sur des sons plus abstraits. Il est également interprète de ses œuvres, et transmet sa musique lors de performances, dans le but d'atteindre ce qu'il appelle une "écoute profonde". Il se dit "soniciste", terme qu'il préfère à celui de "musicien" (LÓPEZ 2003). Une grande partie de ses œuvres sont nommées *Untitled*, suivi d'un numéro.

L'essentiel de sa production sonore provient d'enregistrements in situ. Son travail relève donc du "*field recording*". Néanmoins il rejette l'idée d'enregistrer pour documenter. Plusieurs de ces enregistrements ont été réalisés dans des sites naturels exceptionnels (forêts tropicales ou autres zones sauvages). Sa démarche est à l'opposé de celle décrite par Ray Murray Schafer dans son livre *Le Paysage Sonore* (SCHAFER 2010). Makis Solomos, dans un article de 2019, nous dit : « López aime ce que Schafer déteste : les paysages sonores "lo-fi", c'est-à-dire bruyants » (SOLOMOS 2019). Il considère les sons comme objet sonore, comme l'a décrit Pierre Schaeffer en 1966 dans son *Traité des objets musicaux* (SCHAEFFER 1966), c'est-à-dire qu'il sépare le son (la matière sonore, l'atmosphère sonore, la trace enregistrée, etc.) de sa cause, afin de proposer une musicalisation du son. C'est pourquoi dans son article *Schizophonia vs. l'objet sonore : soundscapes and artistic freedom* (LÓPEZ 1997) il rejette la notion de "schizophonie"¹ de Ray Murray Schafer, qui critique, au nom de l'écologie, une telle séparation, car « elle crée un paysage sonore synthétique dans lequel les sons naturels deviennent de moins en moins naturels » (SCHAFER 2010).

Francisco López utilise beaucoup de sons provenant de forêts tropicales dans ses œuvres : dans *Belle Confusion 966* (1996), il s'agit des forêts tropicales et subtropicales du Brésil, de l'Argentine, du Venezuela, du Costa Rica, du Sénégal, de la Gambie et de la Chine ; dans *La Selva* (1998) il utilise les sons de la réserve forestière du même nom au Costa Rica ; *Untitled 308* (2013) transmet les sons de la forêt tropicale de Calakmul (Yucatán, Mexique)... La présence de ces environnements naturels est en grande partie due au travail de terrain que López avait effectué pendant ses recherches comme il l'explique dans une interview réalisée en 2000 (LÓPEZ 2000).

Le type d'écoute recherché par López est une écoute qui décontextualise le son, qui vise à le libérer de ses références, afin de l'apprécier pour lui-même. C'est

1. Voir définition dans le **lexique**.

pourquoi le compositeur donne très peu d'indications sur la source de ses sons ou sur ses intentions, et lorsqu'il fournit des informations, il ajoute toujours que l'œuvre peut et doit être écoutée sans ces indications. Le paragraphe d'ouverture de son article de 1998 intitulé "*Environmental sound matter*" (LÓPEZ 1998a) est souvent cité dans les pochettes de ses CD :

Bien à l'encontre d'une tendance actuelle répandue dans l'art sonore et de la norme habituelle des enregistrements de la nature, je crois en la possibilité d'une écoute profonde, pure, "aveugle" des sons, libérée (autant que possible) des niveaux de référence procéduraux, contextuels ou intentionnels. Plus important encore, je conçois qu'il s'agit d'une forme idéale d'écoute transcendantale qui ne nie pas tout ce qui est *extérieur* aux sons, mais explore et affirme tout ce qui est *intérieur* à ceux-ci. Cette conception puriste, absolue, est une tentative de lutte contre la dissipation de ce monde intérieur. (LÓPEZ 1998a)

De la même manière que Francisco López, lorsqu'il affirme le son-en-soi¹, se réfère à la notion d'"objet sonore" développée par Pierre Schaeffer, il définit sa vision de l'écoute décontextualisée en faisant appel à l'idée schaefferienne d'"écoute réduite", une idée intimement liée à la notion d'objet sonore (SOLOMOS 2019). L'objet sonore est défini par Schaeffer comme une entité sonore "en soi", c'est-à-dire détachée de sa cause. Or, d'après Schaeffer, l'audition d'un son en soi n'est possible que lorsque l'écoute est dépourvue de références (SCHAEFFER 1966).

Il donne des représentations dans lesquelles il bande les yeux du public afin d'arriver, comme dit plus haut, à une "écoute profonde". Pour lui, contrairement aux éléments visuels qui sont frontaux, les éléments sonores proviennent de toutes les directions. La perception de ces sons est simultanée et multidirectionnelle. Ainsi, dans des performances en direct, couper la dimension visuelle, couplé à des moyens techniques simples (un réseau de haut-parleurs autour du public, contrôlé au centre de la pièce) permet l'immersion, le fait d'être "à l'intérieur" du son et non juste écouter le son (LÓPEZ 2004). Une fiche technique de ses performances est disponible sur son site internet (*Fiche technique*).

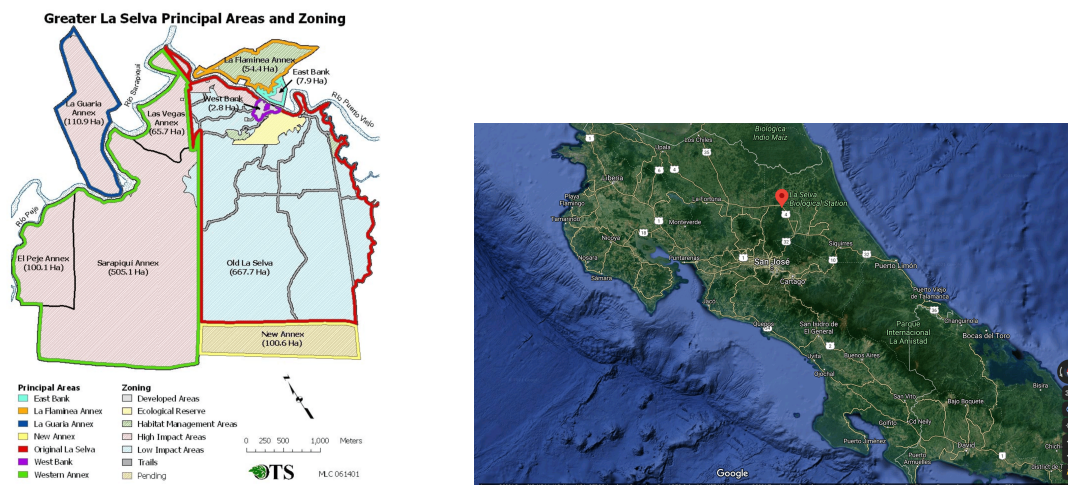
Ainsi, les travaux de Francisco López sont à la fois sonores et théoriques. Pour lui, "réduire" l'écoute permet de prendre conscience de notre rapport au monde et en ce sens cette « expérience phénoménologique du son s'inscrit davantage dans une démarche écologique que la composition de paysages sonores (lorsque son

1. "*Sound-in-itself*" en anglais

rapport à la nature se limite à identifier la source des matériaux sonores) » (SOLOMOS 2019). Comme le dirait López, « l'approche phénoménologique donne accès à un niveau différent, [...] plus capable de saisir l'énormité des choses en soi. [...] Et ainsi, elle s'oppose à la perpétuation et à l'imposition du programme d'écoute épistémologique comme notre seul moyen [...] d'accéder au monde sonore. » (LÓPEZ 2015).

1.2.2 *La Selva*

La Selva est une pièce de Francisco López, éditée sur support CD en 1998 chez V2_Archief au format stéréo. Elle dure 1 heure et 10 minutes et retrace une journée de 24h dans la réserve du même nom au Costa Rica (figure 1). Dans son article "*Environmental sound matter*" (LÓPEZ 1998a) il décrit comment il a conçu cette pièce et donne quelques éléments de compréhension afin de mieux appréhender sa conception de l'œuvre.



(a) Réserve de La Selva (source : <https://cutt.ly/3bw9IZi>)

(b) Emplacement de la réserve au Costa Rica (Source : Google Map)

FIGURE 1 – La réserve de La Selva et son emplacement au Costa Rica

Francisco López utilise beaucoup d'enregistrements provenant de forêts tropicales. Nous avons vu quelques exemples précédemment (**partie 1.2.1**). Nous avons donc déjà cité *Belle Confusion 966* (1996) qui reprend des enregistrements de forêts d'Amérique Latine, d'Afrique et d'Asie et *Untitled 308* (2013) basée sur des enregistrements de la forêt de Calakmul au Mexique. Mais il utilise également

des sons provenant de la ville, comme dans *Qal'at Abd'Al-Salam*¹/*O Parladoiro Desamortuxado*² (1995), basé sur des enregistrements d'espaces publics du village d'Alcalá de Henares, dans la communauté de Madrid.

Dans ce même album, qui est en fait en deux parties, *Qal'at Abd'Al-Salam* est concentré sur Alcalá de Henares et *O Parladoiro Desamortuxado* est basé sur des compositions sur le bruit, mis en opposition à des passages très calmes. Il n'y est pas question de "field recording" ici. On retrouve ce style de composition sur le bruit et à base de sons électroniques dans les premiers travaux de l'artiste (*Azoic Zone* (1993), *Tonhaus* (1993), etc.).

Nous pouvons également mentionner les montages d'échantillons instrumentaux dans des pièces telles que *Untitled Sonic Microorganisms* (2005, mélangeant les sons de plusieurs musiciens sous le titre "ensemble de bruit absolu"), *Untitled 104* (2000, à partir d'échantillons de heavy metal), *Untitled 275* (2011, piano et électronique) ou *With/In* (2012) (« créé avec des matières sonores originales enregistrées à partir du corps, des vêtements et de l'espace environnant immédiat pendant le tourbillonnement rituel de Valentina Lacmonovic »). Cependant, la majeure partie du travail de López provient d'enregistrements.

Francisco López donne très peu d'indications, voire aucune, sur la provenance de ses enregistrements. Cependant, pour *La Selva*, un livret est disponible dans le CD, avec des notes détaillées sur l'œuvre (ensuite modifiées pour donner son article "Environmental sound matter" (LÓPEZ 1998a)). Ce livret est scellé et un court texte conseille à l'auditeur.rice de ne pas l'ouvrir. Il souhaite permettre à l'auditeur.rice de choisir si il.elle veut ces informations ou non, car cela va changer sa façon d'écouter la pièce. Mais comme l'expérience et le lieu ont une réalité, il a quand même voulu donner ces informations et laisser l'auditeur.rice décider de ce qu'il.elle en ferait (LÓPEZ 2011).

Dans ce livret, López explique que son approche des environnements sonores de la nature tente de s'éloigner de la rationalisation des sons qui les composent. Pour lui cette perspective favorise l'appréciation de la matière sonore qui en résulte. Ainsi, il ne cherche pas à être "réaliste", dans le sens qu'il n'essaie pas de reproduire l'expérience du lieu réel. Il critique même la démarche de certaines pièces qui tentent de transmettre un sentiment naturel en mélangeant des sons d'animaux sur un fond sonore. Cette approche est "irréaliste", voire "hyperréa-

1. "Château de Salam" en arabe.

2. "Le salon confisqué" en galicien.

liste" pour lui (LÓPEZ 1998a). Une écoute « dans notre fauteuil préféré offre une expérience d'écoute améliorée (en ce qui concerne certaines qualités sonores et l'existence de certains événements sonores) que nous ne pourrions probablement jamais avoir dans la "réalité" prétendument représentée » (LÓPEZ 1998a).

Les enregistrements de *La Selva* ne sont soumis à aucun traitement ou processus de mixage. On pourrait dire que l'œuvre est composée d'enregistrements "purs". Or López considère que dès le choix des microphones, on opère déjà une opération de transformations plus "dramatiques" qu'une égalisation en studio (LÓPEZ 1998a). On a donc, dès l'enregistrement, une version altérée de ce que l'on pourrait qualifier de "pur" ou "réaliste". Par la suite pendant le processus de montage, on altère de nouveau la "réalité", puisque l'on affecte la temporalité des enregistrements. López pose donc la question : « Si nous recherchons le naturel dans notre travail sonore, quel type de montage est plus "réel" ? » (LÓPEZ 1998a).

En considérant les éléments précédents, López « revendique le droit d'être "ir-réaliste". En termes plus généraux, je ne me préoccupe pas de telles considérations et je laisse chaque auditeur juger par lui-même. Les gens qui vivent à La Selva l'ont déjà fait, et ils ont trouvé les enregistrements "étonnamment réels" » (LÓPEZ 1998a). Pour le compositeur « La Selva (le morceau de musique) n'est pas une représentation de La Selva (la réserve au Costa Rica). [...] L'essence de la création de cette œuvre sonore que j'appelle un morceau de musique est ancrée dans une conception de "matière sonore", par opposition à toute approche documentaire. » (LÓPEZ 1998a).

López défend donc l'appréciation de la matière sonore pour elle-même. Il se rapproche ainsi des concepts de Pierre Schaeffer, comme nous l'avons vu précédemment (**partie 1.2.1**). *La Selva* est donc pour lui un morceau de musique. Il l'a conçue musicalement, « structurellement, La Selva suit une contrainte volontaire représentée par un cycle prototypique de jours de la saison des pluies, commençant et se terminant la nuit. [...] Mon appréhension de la matière sonore elle-même, et non une quelconque intention de documenter le lieu, a dictée toutes les décisions de montage et d'édition. » (LÓPEZ 1998a).

Nous avons donc vu qui est Francisco López et quelle est sa conception des compositions à base de paysages sonores, et plus largement de la composition musicale. Nous avons également introduit sa pièce *La Selva*, basée sur des enregistrements d'environnements naturels et retraçant 24 heures dans une forêt tropicale

d'Amérique Centrale. Nous allons analyser cette pièce afin de comprendre comment le compositeur a fait pour faire ressentir les différentes transitions à l'œuvre dans une journée en forêt.

1.3 Analyse des transitions de la pièce

Dans cette partie nous analyserons la pièce *La Selva*, par un processus en trois temps : d'abord une description analytique globale des événements sonores de la pièce (voir description linéaire détaillée en **annexe 1**), découpée en 6 parties (Nuit 1, Aube, Matin, Après-Midi, Crépuscule, Nuit 2), ensuite des remarques sur le propos et les éléments de transition utilisés et enfin une caractérisation des différents types de transitions. Celle-ci s'appuiera sur une analyse plus précise de certains passages choisis afin d'expliquer à partir d'exemple le fonctionnement des transitions. Dans cette partie nous utiliserons le terme "séquence" pour parler des différents "paysages sonores" sélectionnés par Francisco López, le terme "nappe" ou "fond sonore" pour parler des éléments continus dans chaque séquence et le terme "vagues" pour décrire des événements arrivant par vagues. Nous rappelons que l'analyse qui sera faite s'intéresse au contenu des enregistrements et à la façon dont ils s'enchaînent. Ce type d'analyse n'est pas totalement en accord avec la philosophie du compositeur, comme il a pu l'expliquer lors d'échanges de mails (**annexe 2**), cependant elle est quand même utile à la caractérisation de méthodes de composition, comme nous le verrons plus tard.

1.3.1 Description analytique globale

La Selva comprend quarante séquences, d'une durée moyenne de 1 minute et 52 secondes. Nous considérerons le début d'une séquence comme le moment où l'on commence à l'entendre (même si la séquence précédente est toujours en cours) et la fin comme le moment où l'on n'entend plus la séquence (même si la séquence suivante a déjà démarré). Cela permettra de quantifier la longueur des transitions entre les séquences (en moyenne 6s). La somme des durées des séquences sera supérieure à la longueur totale de la pièce, mais cela résulte du fait que chaque séquence empiète sur la suivante. La pièce commence de nuit et se termine de nuit (LÓPEZ 1998a)). En figure 2 nous pouvons voir une timeline des quarante séquences et leur répartition sur une journée. Cela correspond au cycle jour-nuit

durant la saison des pluies au Costa Rica. Le jour dure 12 heures et 30 minutes environ en juillet, au milieu de la saison des pluies¹.

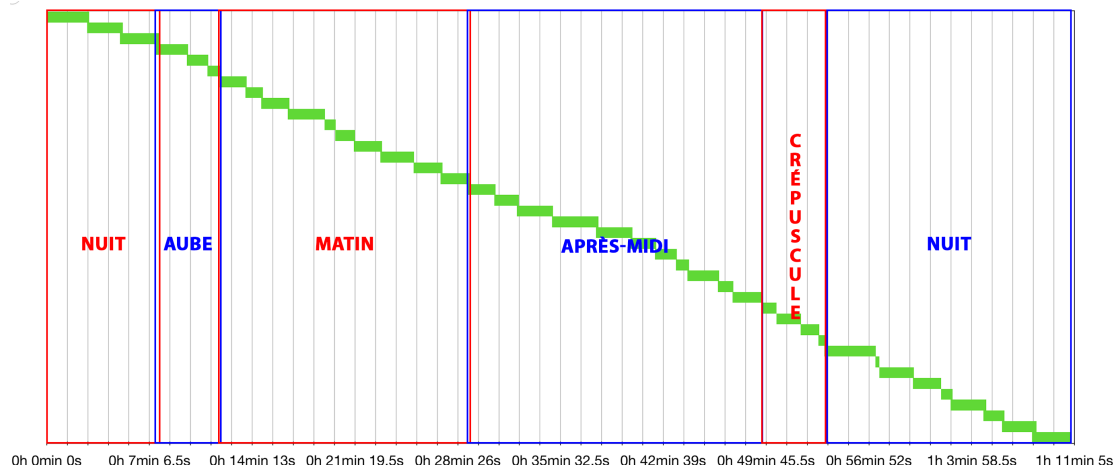


FIGURE 2 – Timeline des séquences de *La Selva* et leur distribution en fonction de la journée

Dans ces quarante séquences, nous trouverons plusieurs types de sons : des sons "biophoniques" ("*biophonie*" définie les sons provenant des organismes vivants non humains d'un environnement), "géophoniques" ("*géophonie*" définie les sons provenant des éléments naturels non vivants d'en environnement) et "anthropophoniques" ("*anthropophonie*" définie les sons provenant des activités humaines)². Dans les biophonies nous retrouvons des nappes d'insectes et de grenouilles principalement, puis des oiseaux et quelques mammifères ainsi que des insectes en vol. Les géophonies sont principalement les sons de pluie et de cours d'eau. Enfin, on ne retrouve pas clairement d'anthropophonies dans la pièce, malgré le fait que López soutienne qu'il en a laissé lors du montage (LÓPEZ 1998a).

Première Nuit (du début à 7min50s), Séquences 1 à 3

Les premières séquences de Nuit sont principalement composées de nappes de grenouilles et de cigales. On retrouve beaucoup d'espèces animales présentes en même temps, comme des canards et d'autres oiseaux. Nous pouvons remarquer

1. Sources : <https://www.partir.com/Costa-rica/quand-partir.html> et <https://dateandtime.info/fr/citysunrisesunset.php?id=3621849&month=7&year=2021>, consulté en mars 2021.

2. Ces termes ont été définis par Bernie Krause et Stuart Gage au début des années 2000. Les définitions du lexique sont celles formalisées par Almo Farina en 2014 (FARINA 2014).

sur le sonagramme en figure 3 une dominance des fréquences de 1 kHz à 4 kHz, qui correspondent aux cris de grenouilles. Les parties plus hautes du spectre sont occupées par les cigales, et quelques chants d'oiseaux dans la séquence 2. Cette première partie est très animée, parce que l'on se trouve à la fin de la nuit, juste avant l'Aube. Nous assistons à un chorus matinal de grenouilles, qui chantent généralement en fin de journée (vers 18h) et pendant la nuit jusqu'à 6h dans les forêts tropicales (HAMMER et al. 2001). Ces trois séquences sont plus longues (en moyenne 2min43s) qu'une séquence moyenne pour les parties de jour.

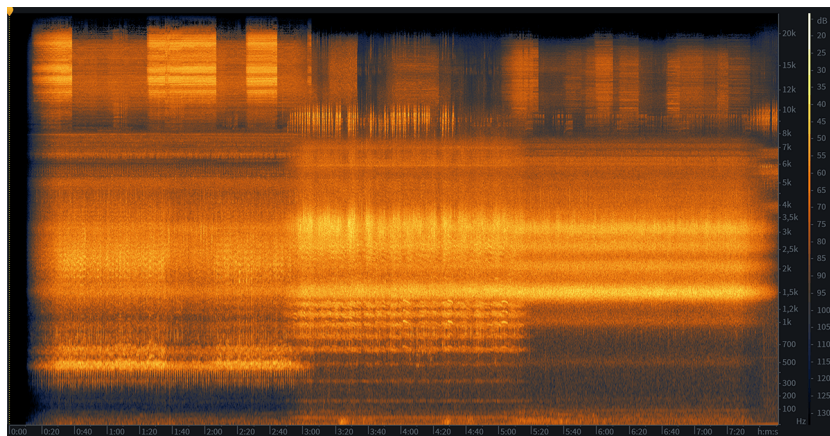


FIGURE 3 – Sonagramme de la Nuit 1 (Canal Gauche)

Les transitions entre les séquences 1 et 2 et les séquences 2 et 3 sont assez longues par rapport à la moyenne de la pièce (8s entre les séquences 1 et 2 et 11s entre les séquences 2 et 3). Nous pouvons clairement remarquer la délimitation entre les séquences, en observant la répartition des fréquences graves, qui deviennent moins présentes quand la nuit avance. Nous voyons également sur le sonagramme que le passage d'une séquence à une autre se fait par un fondu enchaîné, ou "crossfade". Cependant, entre la séquence 2 et 3, la répartition fréquentielle reste similaire, ce qui fait que la transition entre les deux n'est pas violente. De plus, cette transition se fait à l'intérieur d'une vague de cigales, qui prend le dessus sur le reste et permet une transition douce.

Aube (de 7min34s à 11min59s), Séquences 4 à 6

Cette partie est beaucoup plus calme que la partie précédente. Il n'y a plus de grenouilles, mais principalement des cigales dans les parties hautes du spectre (de 4 kHz à 11 kHz). Dans les séquences 4 et 6, on entend également de la pluie,

plus forte dans la séquence 6. Nous entendons dans la séquence 5 qu'il y a plus d'oiseaux et également un loup qui hurle au loin. Ces 3 séquences font en moyenne 1min31s, cependant on remarque que la séquence 6 est beaucoup plus courte que les autres (52s).

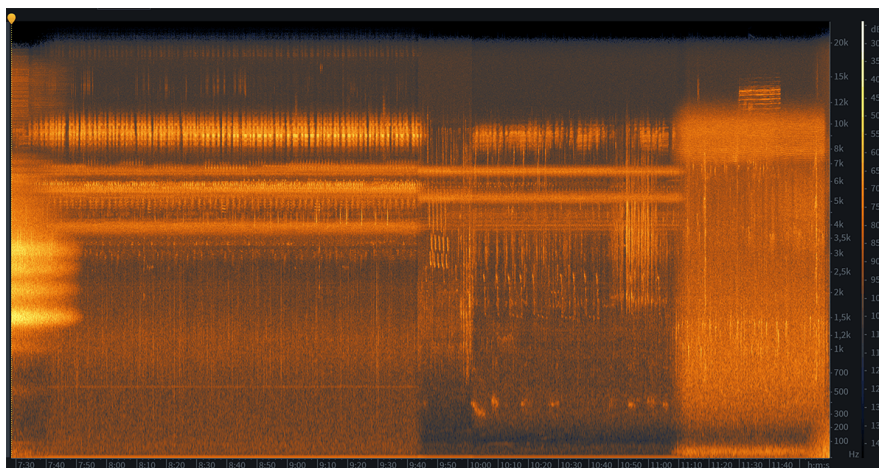


FIGURE 4 – Sonogramme de l'Aube (Canal Gauche)

Entre la partie de Nuit et la partie d'Aube, on entend une transition très longue de 16s. Cela permet de donner l'illusion que les grenouilles se calment progressivement, et d'introduire la partie d'après très doucement. Entre les trois séquences d'Aube, les transitions sont rapides, en moyenne 3s. Néanmoins, en observant le sonogramme en figure 4 on remarque une similarité fréquentielle entre 5 kHz et 7 kHz entre les séquences 4 et 5. La transition se fait sentir, mais la couleur générale reste similaire. De plus, la même espèce de cigales revient après la transition, un peu plus loin. La transition entre les séquences 5 et 6 est plus rapide (1s) et plus brutale. Elle est initiée par ces cris d'oiseaux qui restent en nappe par la suite. Les cigales restent, mais sont beaucoup plus aiguës (entre 7 kHz et 11 kHz). Cette séquence permet d'introduire les oiseaux qui seront présents dans la séquence suivante et fait donc office de séquence de passage entre l'Aube et le Matin.

Matin (de 11min58s à 29min15s), Séquences 7 à 16

Dans la partie de Matin, les niveaux sont inégaux. Les séquences 7 et 8 et 12 à 15 sont assez calmes, avec des oiseaux (les mêmes que la séquence précédente) et des cigales pour les séquences 7 et 8, des cigales et quelques insectes volants

PARTIE 1. LA TRANSITION COMME ENJEU DE COMPOSITION

pour les séquences 12 à 15 et enfin un essaim très proche pour la séquence 16. Les séquences 9, 10 et 11 constituent un moment de pluie. On entend très peu de vie animale, mais plutôt le tonnerre, l'eau qui s'écoule et les gouttes qui tombent sur les feuilles. Les durées de ces neuf séquences sont assez homogènes (en moyenne 1min48s) même si la séquence 11 est très courte (46s) par rapport aux autres.

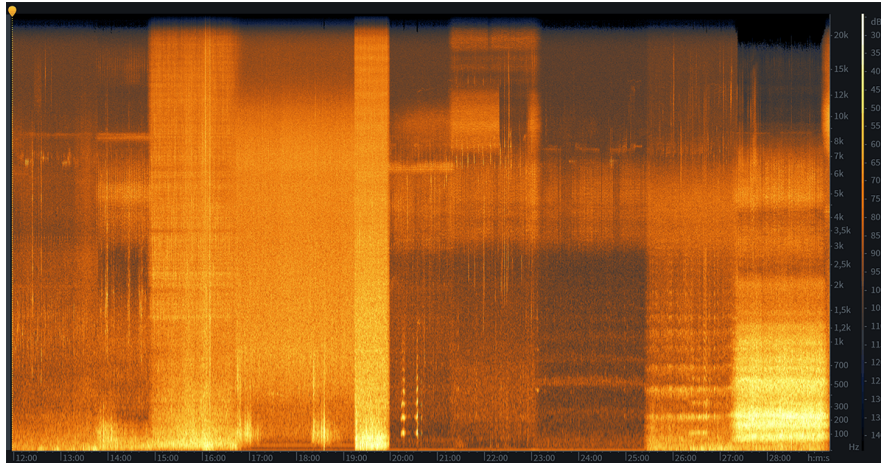


FIGURE 5 – Sonogramme du Matin (Canal Gauche)

Entre l'Aube et le début du Matin, on retrouve les mêmes oiseaux en fond sonore. La pluie s'est calmée et les cigales ne chantent plus. La transition entre les deux parties est rapide (1s), mais la nappe d'oiseaux ne change pas. La séquence 7 est plus animée que la précédente. Les transitions à l'intérieur de la partie Matin sont courtes, en moyenne 5s. Cependant, il y a des éléments qui sont constants entre les séquences. Entre les séquences 7 et 8, il y a les mêmes espèces d'oiseaux, qui se calment un peu dans la séquence 8. Les cigales de la séquence 8 arrivent au loin et font la transition en douceur également. La séquence 8 introduit le tonnerre et de l'eau qui s'écoule, élément qui s'intensifie en séquence 9. Cette trame autour de l'eau se poursuit dans la séquence 10 avec de la pluie et une transition qui se fait sur le bruit du tonnerre. La séquence 11 arrive comme une pluie qui s'intensifie, toujours sur du tonnerre. Les séquences 12 à 15 ont un fond sonore commun de cigales (entre 3 KHz et 7 KHz) et introduisent des sons d'insectes volants. On entend encore dans la séquence 12 quelques gouttes de pluie, qui disparaissent en séquence 13. Les séquences 13, 14 et 15 sont des séquences pendant lesquelles le son des insectes en vol s'intensifie, pour arriver à la séquence 16. Enfin, la séquence 16 se termine dans un fondu assez long de 8 secondes.

Après-Midi (de 29min10s à 49min32s), Séquences 17 à 27

La partie Après-Midi est caractérisée par des nappes de cigales sur quasiment toute sa durée, sauf pour la séquence 21 qui est un paysage sonore de cascade. Il n'y a pas de sons de pluie sur toute cette partie, bien qu'il pleuve surtout l'après-midi pendant la saison des pluies¹. Cela donne une atmosphère très sèche et une impression de chaleur. Cependant, on peut entendre beaucoup plus de vent. Les séquences 17 à 20 ne sont composées que de nappes de cigales et de vols d'insectes. On commence à retrouver des oiseaux après la séquence 21, des mammifères en séquence 22, et même des grenouilles à la séquence 25. La séquence 26 est très venteuse et l'on entend un cours d'eau dans la séquence 27, qui amène à la partie suivante. Les séquences de l'Après-Midi font en moyenne 1min56s et leurs durées sont plutôt homogènes.

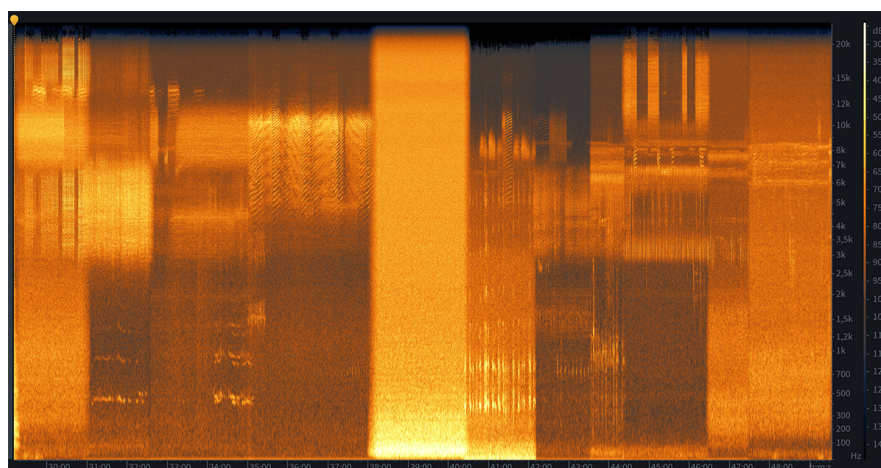


FIGURE 6 – Sonagramme de l'Après-Midi (Canal Gauche)

La dernière séquence du Matin et la première de l'Après-Midi sont deux séquences dont la répartition spectrale n'est pas cohérente. La séquence 16 est très énergétique en dessous de 2 kHz et la séquence 17 est très énergétique au-dessus de 3 kHz. La transition entre les deux se fait en comblant les manques fréquentiels de l'autre. La transition entre la séquence 17 et la séquence 18 se fait grâce aux cigales, qui sont les mêmes, mais plus éloignées dans la séquence 18. Le "cross-fade" entre les deux séquences ne se fait pas ressentir grâce à ça, on entend les cigales s'éloigner. Entre les séquences 18 et 19, on retrouve le procédé utilisé entre

1. Source : https://www.routard.com/guide/costa_rica/3231/climat_et_meteo.htm, mars 2021

les séquences 16 et 17, mais polarisé dans les aiguës. Les transitions entre les séquences 19 et 20, 21 et 22, 22 et 23, 23 et 24 et 25 et 26 se font à travers les sons d'animaux de la séquence qui suit. On entend d'abord un animal, puis la séquence change progressivement. La transition entre les séquences 26 et 27 se fait grâce à un petit changement de coloration spectrale, le vent devient un cours d'eau, mais la nappe de cigales reste.

Crépuscule (de 49min28s à 53min51s), Séquences 28 à 31

Cette partie est la plus calme de toute la pièce. On y retrouve des nappes de cigales très faible, quelques oiseaux, des aboiements et des mouvements dans des feuilles. Nous retrouvons un fond sonore continu de cigales entre 5 kHz et 8 kHz, comme on peut le voir en figure 7. En séquence 28 et 31 on entend des aboiements. Les sons de tonnerre arrivent progressivement à partir de la séquence 30 et un coup plus conséquent se fait entendre à la séquence 31. Cela annonce le début de la partie Nuit 2. La séquence 27 est plus animée, avec plusieurs oiseaux différents et des mouvements dans les branches. Ces quatre séquences font en moyenne 1min8s, et leur durée est plutôt homogène, sauf pour la séquence 31 qui fait office de séquence de passage.

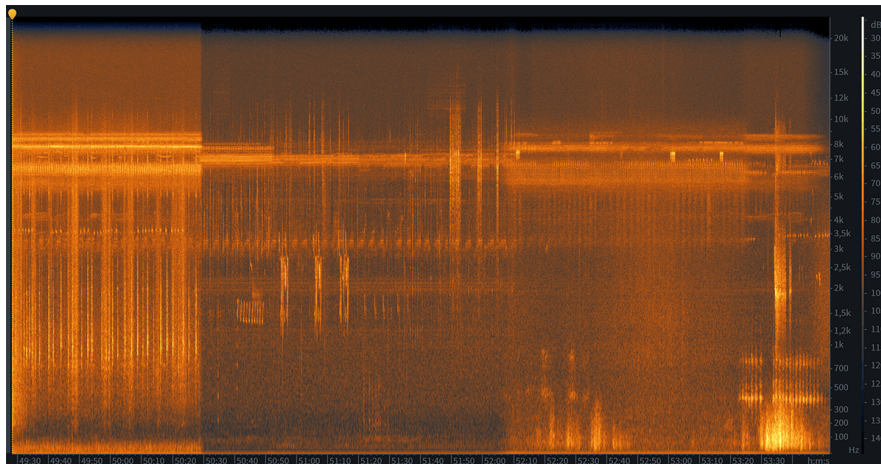


FIGURE 7 – Sonagramme du Crépuscule (Canal Gauche)

La transition de la partie Après-Midi vers le Crépuscule est initiée par l'aboielement d'un chien, avec une nappe de cigales qui reste, en changeant légèrement. Il y a une accalmie au niveau des géophonies, mais la vie animale est plus abondante dans la séquence 28. La transition entre la séquence 28 et la séquence 29

est très rapide (1s), cependant elle n'est pas brutale, puisque les deux séquences sont calmes et la nappe de cigale permet de faire la liaison. La séquence 30 arrive dans un fondu, avec une nappe de cigales un peu différente, qui arrive progressivement. On retrouve des oiseaux similaires avant et après la transition. Enfin, la séquence 31 arrive après les aboiements d'un chien et est surtout là pour introduire le tonnerre de la séquence d'après. La nappe de cigales est similaire à celle de la séquence d'avant, ce qui lie le tout.

Deuxième Nuit (de 53min48s à 1h10min49s), Séquences 32 à 40

Cette dernière partie de nuit est décomposable en trois moments : une partie calme avec beaucoup d'oiseaux, une nappe de cigale très discrète, une pluie fine et quelques grondements de tonnerre au loin (séquence 32) ; une partie de pluie, d'abord très intense (séquences 33 et 34) puis qui se calme en laissant entendre des oiseaux et des cigales à nouveau (séquence 35) ; une partie ressemblant à la Nuit 1, mais moins intense. On y retrouve des cigales de façon constante, des oiseaux jusqu'à la séquence 38 puis seulement des cigales et des grenouilles après, avec des aboiements dans la séquence 38. Ces neuf séquences durent en moyenne 2min, et nous retrouvons la plus longue séquence de la pièce, la séquence 32.

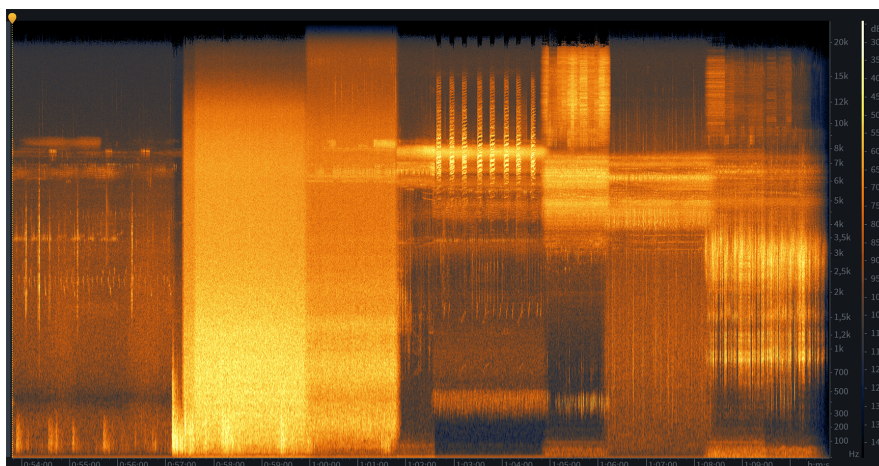


FIGURE 8 – Sonagramme de la Nuit 2 (Canal Gauche)

Pour passer de la séquence 31 à la séquence 32, Francisco López utilise le chien qui aboie dans la séquence 31 et le fait disparaître doucement dans la séquence suivante. On entend également que les oiseaux sont les mêmes entre ces deux séquences. Pendant les 3min33s de la séquence 32, on entend beaucoup de pluie

et de grondements de tonnerre, ce qui permet de poser le cadre de la séquence d'après, de faire comprendre que la pluie arrive. On passe de la séquence 32 à la séquence 33 grâce à un coup de tonnerre très proche, qui montre que la pluie est là, puis un deuxième qui amorce la transition vers la séquence 34. Le passage à la séquence 35 se fait par l'arrivée de nappes d'insectes et d'oiseaux, qui permettent de calmer la pluie. De la même façon, on passe à la séquence 35 grâce aux cris des grenouilles. Les transitions entre les séquences 36 et 37 et les séquences 37 et 38 se font grâce aux nappes de cigales qui restent en fond et qui constituent une liaison entre les séquences. La séquence 39 arrive doucement avec des gouttes de pluie sur des feuilles, qui prennent le dessus sur la nappe de cigales de la séquence précédente. Enfin, la dernière séquence arrive grâce aux grenouilles qui se rapprochent avec les cigales.

1.3.2 Remarques analytiques

Pour aller plus loin dans l'analyse de la pièce, il faut discuter des éléments plus globaux de celle-ci, comme le caractère musical ou l'immersion qu'elle peut procurer. Il faut également recueillir des principes de transition pour la composition.

Éléments de musicalisation

Comme dit précédemment, Francisco López se considère comme musicien, ou "soniciste" (**partie 1.2.1**). Il utilise les enregistrements de paysages sonores à des fins musicales et non documentaires, par le montage et par le choix des enregistrements. Pour lui, *La Selva* est une pièce de musique, car sa conception de la musique est plus large que la conception classique de celle-ci. « C'est une triste simplification que de se limiter à ce concept traditionnel pour "trouver" de la musique dans la nature. Je ne souscris pas au couplage de la nature à ces schémas, par le biais - par exemple - d'une recherche de motifs mélodiques, de comparaisons entre les sons des animaux et les instruments de musique, ou de la "complémentation" des sons de la nature par des sons "musicaux". Pour moi, une chute d'eau est aussi musicale qu'un chant d'oiseau. » (LÓPEZ 1998a)

Ainsi, nous pouvons retirer des éléments musicaux dans la pièce :

— les différentes nappes de cigales ou de grenouilles, jouant un rôle de "bour-

- don" ou "drone"¹ et permettant de lier plusieurs séquences entre elles ;
- la manière de rythmer les changements de séquences, qui prend en compte les rythmes de communication des espèces animales ou les rythmes météorologiques ;
 - un jeu avec l'espace acoustique, en transportant l'auditeur.rice d'un lieu à l'autre (faire passer à côté d'une cascade puis s'en éloigner par exemple, avec les séquences 20 à 22) ou en jouant avec le panoramique des insectes volants ;
 - une composition par le choix des paysages sonores pour chaque séquence, par la disposition de ces séquences et leurs répartitions temporelles (en termes de durée et de placement au sein de la pièce).

L'expérience d'un lieu

"Dans une œuvre électroacoustique, l'auditeur peut naviguer entre deux niveaux, comme il en va dans la musique instrumentale. Le premier relève de ce que l'on nomme parfois le "proprement musical" : eu égard à la musique électroacoustique, il s'agit de la morphologie sonore et des articulations formelles entre les sons. Le second renvoie à la notion de sens. Ce dernier pourra être précisé en détail par le compositeur, mais ce sens restera toujours lié à une intention : l'auditeur, lui, pourra faire proliférer d'autres sens possibles. Il en va tout autrement d'une composition à base de paysages sonores où [...] le propos est souvent orienté vers l'expérience d'un lieu." (DUHAUTPAS et al. 2015)

Par ces propos, Frédérick Duhautpas explique qu'il y a deux niveaux de lecture d'une œuvre musicale. L'une à propos de la matière sonore en elle-même, comment elle s'articule pour former une pièce musicale, et l'autre à propos du sens de la pièce. Pour une composition à base de paysages sonores, le sens de la pièce serait orienté vers l'expérience d'un lieu. A contrario, Francisco López dirait qu'il ne se « préoccupe pas de telles considérations et [...] laisse chaque auditeur juger par lui-même » (LÓPEZ 1998a). Son propos est tourné vers la matière sonore et l'impression musicale qu'elle donne à l'auditeur.rice.

1. En musique, un bourdon est un effet ou un accompagnement harmonique ou monophonique dans lequel une note ou un accord est émis de manière continue pendant la majeure partie ou la totalité d'un morceau.

Cependant, l'écoute de *La Selva* nous plonge dans une forêt tropicale par les enregistrements qui, rappelons-le, n'ont pas été modifiés autrement que par le montage, mais également par la fidélité que ceux-ci ont par rapport à la réalité acoustique du lieu. De plus nous sommes confrontés à des paysages sonores très riches, dans lesquels aucun focus n'est fait sur une espèce en particulier.

Plusieurs types de transitions

Comme nous avons pu le remarquer précédemment, *La Selva* est une pièce remplie de transitions, due au grand nombre de séquences qui la composent. Nous retrouvons donc plusieurs types de transitions différentes, ayant lieu entre les séquences, mais aussi à plus grande échelle :

- une transition longue ou courte avec un élément constant (nappe de cigales, pluie, etc.) en fond ;
- initiée par un cri animal ;
- par un changement de répartition fréquentielle (de grave à aigu et vice versa) ;
- par un changement de niveau sonore global (fort à faible et vice versa) ;
- une espèce animale qui s'approche ou s'éloigne ;
- une intensification ou une désintensification d'un élément géophonique ;
- une combinaison des transitions précédentes.

Les grandes transitions

La Selva étant une pièce retraçant un cycle prototypique de jours de la saison des pluies (LÓPEZ 1998a), nous pouvons donc assister à de plus grandes transitions, ayant lieu au sein de plusieurs séquences, et qui dépeignent le temps qui s'écoule, les changements de météo ou de lieu.

Tout d'abord, pour les transitions vers les parties de pluie, nous sommes confronté.e.s à de longues transitions se déroulant sur deux à quatre séquences avant la partie de pluie en elle-même. Ainsi, la première séquence de pluie (séquence 9) est précédée de quatre séquences avec de la pluie, commençant par une pluie fine qui s'intensifie petit à petit au fil des séquences. On entend le tonnerre au loin dans la séquence 8, qui annonce l'arrivée de la grande pluie de la séquence

9. Cette partie de pluie se termine progressivement sur les deux séquences qui suivent, en devenant de plus en plus fine jusqu'à disparaître. Il en va de même pour la séquence 34, où la pluie arrive sur les deux séquences précédentes, mais se termine moins doucement sur la séquence qui suit.

Les transitions vers les parties de cours d'eau ou de cascades sont assez similaires à celles vers les parties de pluie, à la différence près que la transition se fait d'un lieu à l'autre et non d'un moment à l'autre. Ainsi pour arriver à la séquence 21 (séquence de cascade) il y a deux séquences où l'on entend un cours d'eau au loin, dont le son se rapproche d'une séquence à l'autre. Cette partie se termine de la même façon, avec une cascade plus éloignée dans la séquence 22.

Enfin les transitions vers les différents moments de la journée (Nuit, Matin, Après-Midi) se font plus sentir grâce à la vie animale. Ainsi pour le passage de la Nuit 1 au Matin, on assiste d'abord à la disparition des chants de grenouilles, qui sont supplantés par des nappes de cigales, qui disparaissent également pour laisser place aux chants d'oiseaux. Après le passage de la pluie, on commence à entendre de nouveaux des cigales, mais dont le chant est différent. L'activité des insectes augmente jusqu'à la séquence de l'essaim (séquence 16) qui amène à une séquence avec beaucoup de cigales et plus aucunes géophonies. L'ambiance est "sèche", ce qui indique que l'on est à midi, ou au début de l'Après-Midi. Enfin, la fin de journée arrive progressivement avec d'abord des chants de grenouilles qui reviennent (séquence 25), des nappes de cigales similaires à celles de l'Aube et une reprise des chants d'oiseaux. La deuxième Nuit arrive avec la pluie, pour ensuite devenir aussi animée que la Nuit du début.

L'analyse de *La Selva* a permis d'identifier plusieurs manières de faire des transitions. Afin d'utiliser ces principes, il nous faut formaliser ces différents types de transitions.

1.4 Caractérisation des différentes transitions

Grâce à l'analyse de la pièce de Francisco López, nous avons pu identifier cinq types de transitions différentes, pouvant également se combiner entre elles et avoir lieu sur plusieurs séquences à la fois. Elles sont regroupées en trois groupes, en fonction de l'élément sonore qu'elles font varier, soit la fréquence, l'intensité ou le rythme. Nous allons les décrire précisément, afin de les utiliser plus tard dans une

composition en nous appuyant sur des exemples précis tirés de la pièce. Les QR-codes permettent d’aller écouter les transitions qui seront décrites. Nous verrons également que ces transitions ne sont pas exclusives au travail de Francisco López et donnerons des exemples d’autres pièces dans lesquelles ces transitions prennent part, telle que *Presque Rien N°1 - Le lever du jour au bord de la mer* de Luc Ferrari, l’album *Weather Report* de Chris Watson ou *Paris Quotidien* de Éric La Casa (LA CASA 2016).

1.4.1 Transitions fréquentielles

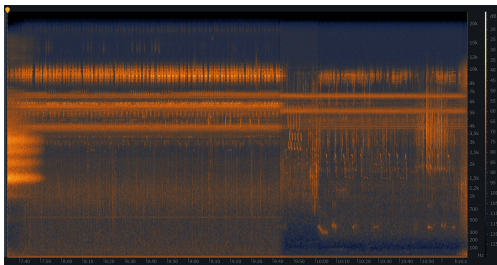
Une transition fréquentielle est une transition impliquant des modifications ou non dans la répartition fréquentielle. Elle se décompose en deux types de transitions : les transitions avec élément constant et les transitions par changement de répartition fréquentielle.

Transition avec élément constant

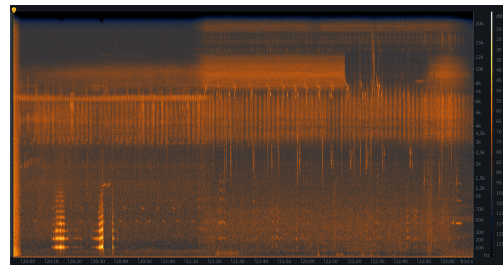


Ce type de transition repose sur un élément sonore continu qui va rester après la transition et faire la liaison entre les deux séquences. Le reste de l’environnement va changer autour, plus ou moins radicalement.

Lien SoundCloud.



(a) Séquences 4 et 5



(b) Séquences 12 et 13

FIGURE 9 – Exemples de transitions avec élément constant

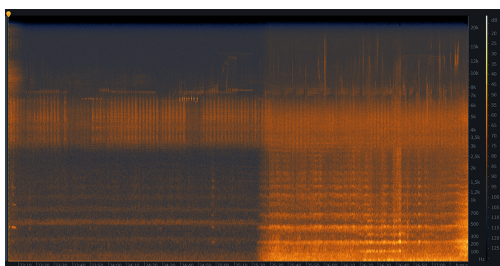
Dans la pièce, on retrouve cette transition avec des nappes de cigales ou des nappes de grenouilles. Par exemple entre les séquences 4 et 5, nous pouvons remarquer sur la figure 9a qu’un élément reste constant sur l’entièreté des deux séquences, entre 6 kHz et 7 kHz, qui est une nappe de cigales. On peut remarquer quelque chose de similaire entre les séquences 12 et 13, avec une nappe de cigales

entre 4 kHz et 7 kHz sur la figure 9b. On retrouve également ce type de transition chez Chris Watson, dans *The Lapaich* avec le vent qui est omniprésent tout au long de la pièce ou chez Luc Ferrari dans *Presque Rien N°1* avec le son de la mer. C'est un procédé très utilisé, car il permet de faire une liaison simple entre deux séquences sonores.

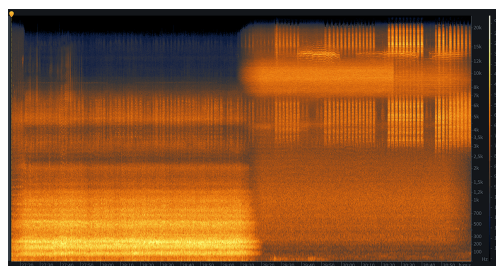
Transition par changement de répartition fréquentielle



Ces transitions reposent sur un changement de répartition fréquentielle. Les deux séquences en jeu ont donc une coloration spectrale différente. On entendra un changement de coloration du grave à l'aigu ou de l'aigu au grave. **Lien SoundCloud.**



(a) Séquences 13 et 14



(b) Séquences 15 et 16

FIGURE 10 – Exemples de transitions par changement fréquentiel

Cette transition repose généralement sur des éléments biophoniques comme des vols d'insectes de la séquence 13 à la séquence 14 par exemple (coloration vers le grave), ou par l'arrivée d'une nappe de cigale très aiguë après la séquence d'essaim pour les séquences 15 à 16. Le procédé est le même entre les séquences 24 et 25. Dans *Presque Rien N°1*, Luc Ferrari a utilisé ce même procédé, avec des sons de cigales également. On le retrouve également chez Chris Watson dans *Ol-lool-o* avec les cigales. Dans *Paris Quotidien*, cette transition est faite avec les sons de circulation de la ville de Paris.

1.4.2 Transitions en intensité

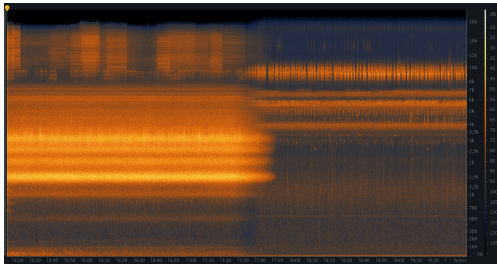
Les transitions en intensité reposent sur une impression de changement d'intensité sonore. Il peut donc y avoir une évolution du niveau sonore, ou de l'intensité d'un élément sonore du paysage.

Transition par changement de niveau sonore global

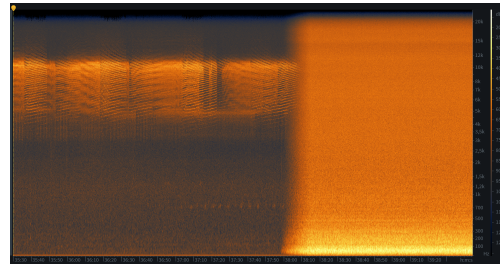


Ce type de transition se produit quand on passe d'un niveau global faible à un niveau global fort, ou inversement. Une impression d'accalmie et de ralentissement est donnée dans le premier cas tandis qu'une impression de submersion est donnée dans le deuxième. **Lien Sound-**

Cloud.



(a) Séquences 3 et 4



(b) Séquences 20 et 21

FIGURE 11 – Exemples de transitions par changement de niveau sonore global

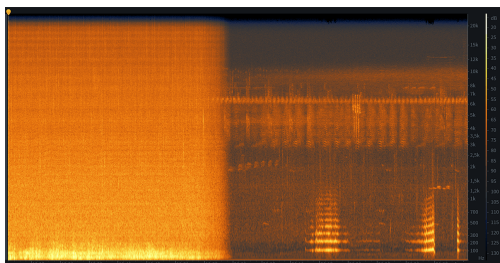
Les éléments géophoniques comme biophoniques participent à ce type de transition. Par exemple entre la séquence 3 et la séquence 4, c'est le son des grenouilles qui est fort puis qui baisse doucement pour laisser place à une séquence très calme. Cette transition est très longue et permet de s'habituer tranquillement à la séquence qui suit. Au contraire entre les séquences 20 et 21, on passe à une séquence assez calme avec des cigales à une séquence plus forte, avec seulement le son d'une cascade proche. L'introduction de *Ol-lool-o* de Chris Watson est aussi un exemple de ce type de transition. Le meuglement d'un boeuf vient troubler le silence, pour ensuite disparaître. Les moteurs de bateaux de *Presque Rien N°1* participent également à ce type de transitions. Dans *Paris Quotidien*, c'est la pluie et le tonnerre qui font ces transitions, à la manière de López.

Transition par changement d'intensité d'un élément géophonique

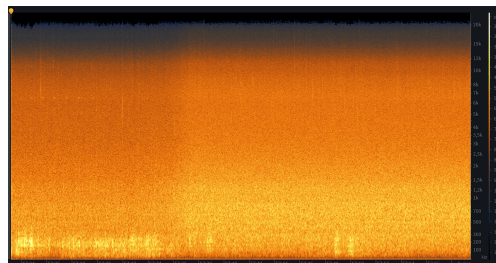


La Selva étant une pièce autour d'une forêt tropicale à la saison des pluies, les moments d'averses et de tonnerres sont des moments importants. Les transitions vers ces séquences sont généralement longues et font l'objet d'une intensification progressive de la pluie ou du son de l'eau. De même, ces éléments disparaissent sur plusieurs séquences, en perdant

progressivement en intensité. Puisqu'il y a peu de sons de vent dans la pièce, ces transitions reposent plutôt sur des sons aquatiques. **Lien SoundCloud.**



(a) Séquences 11 et 12



(b) Séquences 33 et 34

FIGURE 12 – Exemples de transitions par changement d'intensité d'un élément géophonique

Ainsi, la séquence 12 fait suite à la séquence 11 en figurant une accalmie de la pluie. Elle est toujours là, mais beaucoup plus calme. Le principe est inversé entre les séquences 33 et 34, où la pluie devient très forte. Cette intensification est accompagnée de coups de tonnerre, qui sont présents depuis déjà deux séquences auparavant. La mer étant très présente dans *Presque Rien N°1*, elle constitue avec le vent un bon élément permettant ce genre de transition. De la même façon, le vent dans *The Lapaich* ainsi que la pluie dans *Ol-lool-o* participent à cette transition.

Transition par changement d'intensité d'un élément anthropophonique

Le principe de fonctionnement de cette transition est similaire à celui d'une transition par changement d'intensité d'un élément géophonique. La différence est dans le fait qu'on se repose sur les sons de circulation ou de moteurs par exemple. On ne la retrouve pas dans *La Selva*, puisqu'il n'y a pas d'éléments anthropophoniques dans la pièce, mais on peut la déceler dans des pièces comportant ce type de sons.

Ce type de transition est très utilisé dans *Paris Quotidien*, puisque la pièce a été enregistrée dans la ville de Paris, mais aussi dans *Presque Rien N°1* avec les moteurs de bateaux qui s'éloignent ou se rapprochent.

1.4.3 Transitions rythmiques

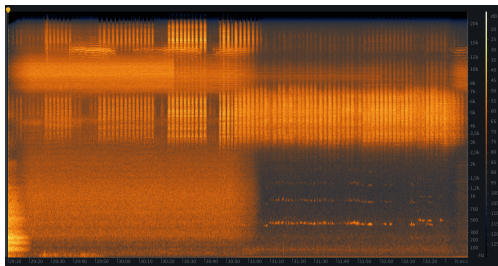
Les transitions rythmiques induisent un changement dans le rythme de la pièce. Elles se caractérisent généralement par le déplacement d'individus dans le paysage et amènent donc du rythme à la composition.

Transition par déplacement d'une espèce animale

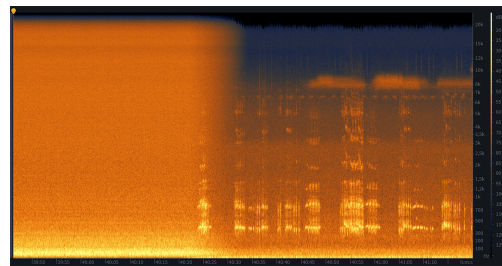


Ces transitions tirent parti des activités animales et permettent également de faire sentir un déplacement dans l'espace. On peut entendre un éloignement ou un rapprochement d'une espèce, ou alors un cri qui arrive plus ou moins soudainement qui amorce une transition à la séquence suivante. **Lien SoundCloud.**

séquence suivante. **Lien SoundCloud.**



(a) Séquences 16 et 17



(b) Séquences 21 et 22

FIGURE 13 – Exemples de transitions par déplacement d'une espèce animale

On peut voir l'exemple d'un éloignement de cigales entre les séquences 16 et 17 (figure 13a), où elles sont d'abord très proches puis s'éloignent très progressivement, pendant que le fond sonore se calme. Entre les séquences 21 et 22, on retrouve l'autre exemple. La séquence 21, qui est un son de cascade très proche, est coupée par un aboiement qui va continuer sur toute la séquence. La cascade va quant à elle disparaître au loin rapidement. On retrouve également cette transition dans les pièces de *Weather Report* de Chris Watson, avec des sons d'oiseaux et d'insectes. Les cigales de *Presque Rien N°1* prennent part à cette transition également.

Transition par déplacements d'individus

Cette transition repose sur la présence d'êtres humains dans la scène sonore, qui discutent, chantent ou se déplacent. Cela permet d'attirer l'attention de l'audi-

teur.rice vers un élément sonore familier et donc d'opérer des changements autour. *La Selva* ne présente pas de sons d'êtres humains, mais on peut en retrouver dans d'autres pièces de ce type et ainsi caractériser cette transition.

Dans *Presque Rien N°1*, Luc Ferrari se repose beaucoup sur ce type de transition. Le son des enfants qui jouent et crient est présent sur une grande partie de l'oeuvre, pendant que le son des bateaux et de la mer change en toile de fond. On retrouve également ce procédé dans *Ol-lool-o*, où Chris Watson utilise les discussions de bergers pour passer à une séquence suivante.

Nous avons donc dégagé, par l'analyse de *La Selva* de Francisco López, cinq types de transitions. Cependant, cela ne représente pas la totalité des transitions que l'on pourrait trouver dans ce genre de pièces, ainsi nous avons pu en caractériser d'autres grâce à différentes oeuvres. La caractérisation de ces transitions permettra de les utiliser pour composer une pièce à base de paysages sonores autour de la transition de la nuit au jour.

PARTIE 2

L'Heure Bleue, transmettre l'expérience du lever du jour



2.1 Du réel à la composition : éléments sonores de l'aube

L'analyse de *La Selva* nous a permis de caractériser plusieurs manières de faire des transitions dans une composition à base de paysages sonores. Nous allons ici nous intéresser à la façon de les utiliser dans la composition de la pièce *L'Heure Bleue*¹, qui racontera le lever du jour dans une forêt tempérée de l'est de la France. Nous verrons d'abord quelles sont les caractéristiques sonores principales d'une telle forêt à l'aube, puis comment utiliser ces spécificités pour la composition d'un paysage sonore autour de la transition de la nuit au jour.

2.1.1 Caractéristiques sonores d'une forêt matinale

Dans une forêt au matin, on peut compter trois phases différentes. La nuit pendant laquelle il y a peu d'activité, le lever du soleil, pendant lequel on entend le chorus matinal et le jour pendant lequel il y a une accalmie. Le contenu sonore de ces trois phases dépend beaucoup de la population animale et des conditions météorologiques du lieu. Par exemple en figure 14 nous pouvons observer la représentation d'un enregistrement de 24 heures réalisé par R. Murray Schafer. Nous visualisons la répartition des sons d'animaux sur ces 24 heures, et notamment un pic puis une décroissance dans les chants d'oiseaux aux alentours de 4h00, ce qui correspond à l'aube et au chorus matinal. Il y a également des sons de grenouilles, qui chantent tout au long des 24 heures. Concernant la vie animale en forêt, « dans les zones tropicales, les grenouilles et les insectes sont les principaux agents, mais certains oiseaux dominent l'environnement sonore dans les biomes tempérés et boréaux. » (FARINA 2014, p.194). Nous étudierons une forêt au milieu de montagnes, sans réel point d'eau proche et allons décrire les caractéristiques sonores de chacune des phases introduites plus haut.

La nuit

La sensation qui prime pendant la nuit est une impression de silence. Il y a très peu d'espèces animales actives, et les sons qu'elles émettent sont très éparés.

1. L'heure bleue est le moment qui précède la très connue "golden hour", pendant lequel le soleil commence tout juste à se lever et le ciel à prendre doucement une teinte bleutée.

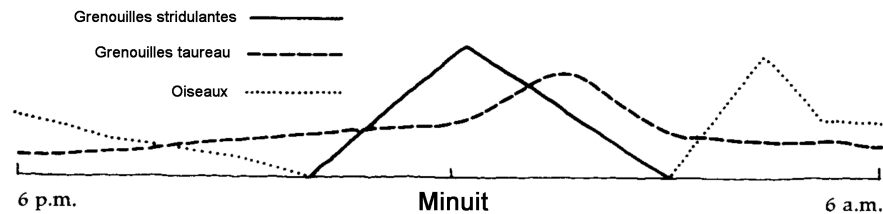


FIGURE 14 – Représentation d'un enregistrement de 24h d'une campagne de Colombie-Britannique (SCHAFER 2010, p.329, modifié et traduit par l'auteur)

Cette impression de silence viendrait de l'absence de sons, mais il s'avère qu'il y en a juste peu. Nous percevons le silence « à travers le contraste, les mouvements et les transformations qui habitent le son. » (GASNIER 2018). Ainsi les quelques cris d'oiseaux ou de mammifères que l'on peut entendre renforcent le silence qui suit ces événements.

Les oiseaux que l'on entend principalement pendant cette période sont des rapaces, tels des chouettes ou des hiboux. C'est une période de chasse pour ces espèces, puisque les mammifères sont moins actifs et donc plus simples à attraper.

On entend très peu de sons humains, puisqu'il.elle.s dorment pour la plupart. Il est possible d'entendre des sons de circulation lorsque l'on est proche d'axes routiers tels des autoroutes, ou des sons de cloches d'église lorsque l'on est proche de lieux habités en Europe par exemple.

Le chorus matinal

Le chorus matinal est un phénomène qui se produit au lever du jour, pendant lequel les oiseaux commencent à chanter tous en même temps. La longueur et l'intensité de ce phénomène varient en fonction de la saison et il atteint un pic entre mai et juin (FARINA 2014), mais il commence entre 30 et 90 min avant le lever du soleil et s'arrête brusquement quand l'intensité lumineuse augmente (BURT et al. 2005). Ce phénomène n'est pas encore totalement expliqué. La figure 15 montre l'évolution de ce phénomène, avec l'arrivée de deux oiseaux. Le merle noir (*Turdus merula*) est la première espèce à chanter à l'aube, immédiatement suivie par le rouge-gorge familier (*Erithacus rubecula*).

Il y a trois hypothèses expliquant ce phénomène : les facteurs intrinsèques, les facteurs environnementaux et les facteurs sociaux (FARINA 2014, p.194).

Les facteurs intrinsèques sont liés aux niveaux d'hormones chez les mâles. Le

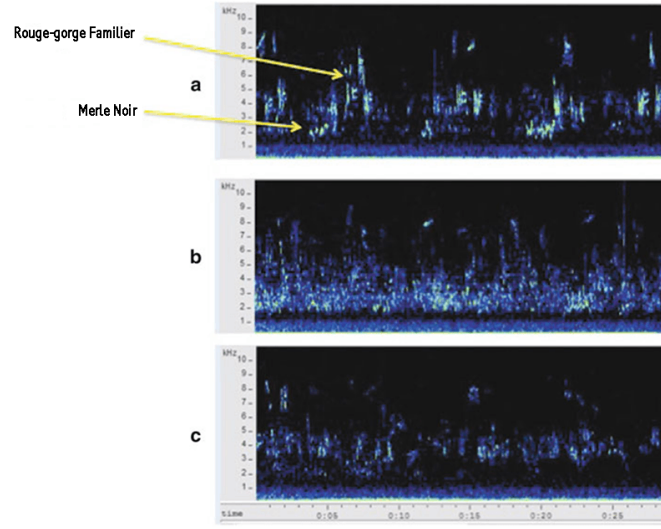


FIGURE 15 – Séquences de spectrogrammes d'un chorus matinal à 4 h 00 (a), 4 h 22 (b) et 5 h 06 (c). (FARINA 2014, p.196, traduit par l'auteur)

fait de chanter à cette période stimulerait la production d'hormones chez les mâles chanteurs et les préparerait à des interactions sociales (STAICER et al. 1996).

Les facteurs environnementaux viennent d'un faible risque de prédation, une bonne transmission acoustique dans l'air, une recherche de nourriture inefficace puisque la lumière ambiante est faible et des conditions nocturnes imprévisibles qui produisent un excès probable de ressources énergétiques à l'aube (STAICER et al. 1996).

Enfin, les facteurs sociaux sont basés sur l'attraction des partenaires, car l'aube est le meilleur moment pour attirer les femelles. Les vocalisations des mâles, en particulier le chant, déclenchent et renforcent le comportement de nidification des femelles ainsi que l'activité des organes reproducteurs. La défense de territoire est également en cause (STAICER et al. 1996).

Le chorus matinal joue donc un rôle important dans le mécanisme de transition de la nuit au jour, puisque c'est un des seuls facteurs sonores qui évolue dans le temps lors de l'aube. Il renseigne donc de façon sonore sur l'avancée de la course du soleil.

Le jour

Lorsque le soleil est levé, on assiste à une accalmie des oiseaux, qui se mettent à communiquer plus directement. Ils « commencent à chercher de la nourriture

et à patrouiller leurs frontières, et ils passent au chant de parade nuptiale ou au contrechant dyadique (c'est-à-dire par paires) avec leurs voisins proches. Le chant post-chorus est typiquement plus sporadique et les taux de chant globaux tendent à être plus faibles et beaucoup plus variables que lors du chorus de l'aube » (BURT et al. 2005).

La vie humaine commence vraiment, il y a donc davantage de sons de circulations ou d'activités extérieures (entretien de jardin, sport, etc.). La vie animale autre que celle des oiseaux s'active également, il est donc possible d'entendre des cris de mammifères ou les déplacements de ceux-ci.

Le vent se lève, car le sol se réchauffe et donc des mouvements d'air chauds sont créés.

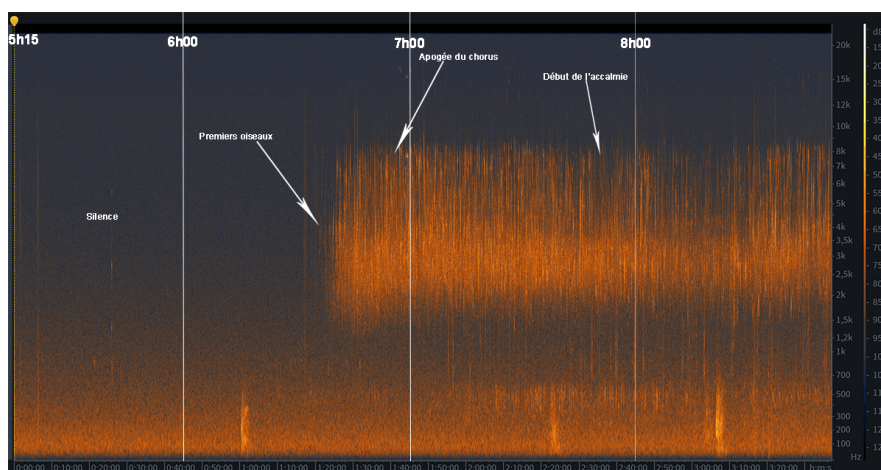


FIGURE 16 – Sonogramme d'une session d'enregistrement pour *L'Heure Bleue*

Le lever du jour est donc découpé en trois phases sonores, du silence au tumulte des oiseaux, pour ensuite se calmer de nouveau. Nous pouvons voir en figure 16, qui est un sonogramme d'une session d'enregistrement pour *L'Heure Bleue* débutant à 5h15, que l'intensité sonore et l'activité aviaire correspondent aux mécanismes décrits précédemment.

Afin de retransmettre l'expérience sonore de la transition de la nuit au jour, il convient donc de tenir compte de tous ces paramètres et de les incorporer dans la composition, le chorus matinal jouant un rôle déterminant dans cette transition. *L'Heure Bleue* sera donc découpée en trois parties, rendant compte des caractéristiques décrites.

2.1.2 Composer un paysage sonore de nature

« Le terme "composition à base de paysage sonore" désigne un type d'œuvre électroacoustique¹ dans laquelle les enregistrements sonores environnementaux constituent à la fois le matériau de base et informent l'œuvre à tous ses niveaux structurels, en ce sens que le contexte original et les associations du matériau jouent un rôle important dans la création et sa réception. » (LANDY 2007, p.106).

C'est donc une pièce musicale composée de paysages sonores. Michael Gallagher en compte quatre types (GALLAGHER 2015) :

- Le style "naturel", dans lequel des enregistrements sont utilisés pour "capturer" les sons des animaux, des plantes, des habitats et des écosystèmes. Ces enregistrements sont utilisés dans des programmes d'histoire naturelle pour la télévision et la radio, pour la recherche scientifique dans des domaines tels que la bioacoustique et l'écologie, et par les amateurs de vie sauvage ;
- Le style du paysage sonore, tel qu'il est développé dans l'écologie acoustique, où l'objectif est de documenter et de représenter les sons d'un environnement particulier. Contrairement au style naturel, les enregistrements de paysages sonores permettent un plus grand mélange de sons humains, acceptant tous les sons qui se produisent dans un espace et un temps donné ;
- Le style acousmatique², qui est autant un mode de présentation qu'un mode d'enregistrement, puisque de nombreuses compositions à base de paysages sonores deviennent facilement acousmatiques si elles sont présentées sans contextualisation ;
- Le style de l'art sonore. Il s'agit d'une notion floue, car les artistes sonores sont très éclectiques, et ceux qui utilisent des paysages sonores le font de manières diverses, en incorporant souvent des aspects des autres styles décrits ci-dessus. Il s'agit d'expérimenter autour de sons négligés, cachés ou normalement inaudibles, souvent en intervenant dans des environnements sonores par le biais d'installations spécifiques, de performances ou de promenades audio.

1. « La musique électroacoustique désigne toute musique dans laquelle l'électricité a joué un rôle dans l'enregistrement et/ou la production du son autre que celui du simple enregistrement ou de l'amplification par microphone. » (LANDY 2007) Par exemple pour de la synthèse de sons.

2. Les sons acousmatiques sont ceux que l'on entend sans voir leurs sources. (SCHAEFFER 1966)

Ainsi, composer un paysage sonore peut se faire suivant ces quatre principes. Le but n'est pas forcément de représenter un lieu en particulier, mais surtout d'utiliser la matière sonore du paysage comme élément de composition et construire une pièce à partir de ça. En particulier pour une pièce relatant une transition à part entière, l'utilisation de la matière sonore se doit de représenter le phénomène réel.

Pour la composition de *L'Heure Bleue*, on ne se place pas dans un style en particulier, cependant ceux-ci permettent de rendre compte des objectifs de cette composition. Le but de cette composition étant de transmettre l'expérience du lever du jour dans une forêt de façon immersive, la représentation du lieu est quelque chose d'important. Le côté immersif de la pièce est également important et permet d'effectuer des expérimentations dans la spatialisation par exemple. Le lever du jour étant une transition à part entière, la composition doit rendre compte de ce moment particulier. Les transitions décrites précédemment (**partie 1.4**) permettent d'appuyer cet objectif.

Comme nous l'avons vu auparavant, le lever du jour s'entend principalement par une intensification des chants d'oiseaux à travers le phénomène du choral matinal. Il convient donc d'utiliser des transitions par changement de niveau global, en venant du silence de la nuit pour aller au niveau sonore plus important du choral. De la même manière, les transitions par déplacement d'une espèce animale seront grandement utilisées, puisque la pièce repose aussi sur le réveil des animaux. De plus, cette transition peut permettre de cacher le changement d'une ambiance assez facilement. Le vent et la pluie peuvent apporter un bon moyen de signifier le passage du temps donc les transitions par changement d'intensité d'un élément géophonique seront très utilisées. Les transitions avec élément constant seront également très utiles, pour la liaison très simple qu'elles peuvent apporter. Nous utiliserons des éléments anthropophoniques pour signifier plus directement le passage du temps, comme de la circulation qui s'intensifie au fil de la pièce, l'arrivée d'activités humaines telles que du sport ou de l'entretien d'espaces verts, ou des éléments sonores donnant des indications sur l'heure comme une cloche d'église. L'endroit choisi pour les enregistrements rend difficile l'utilisation de transition par changements fréquentiels, car il y avait peu de vents et pas de cours d'eau proches. C'est néanmoins possible avec des sons de circulation ou d'avion. Nous utiliserons ces transitions plutôt dans un rôle rythmique et narratif, afin de raconter ce lever du jour, en ajoutant des événements pour amener du rythme et faire sentir le réveil de la nature.

La pièce étant destinée à un système de diffusion immersif, il y a la possibilité de jouer avec l'espace sonore pour diriger l'attention de l'auditeur.rice vers un point précis pour pouvoir en changer un autre pendant ce temps. Il faudra donc également expérimenter avec ça pour faciliter certaines transitions.

2.2 Restitution multicanale de l'espace sonore

L'espace sonore est un espace en trois dimensions. Beaucoup de représentations de ces paysages sonores sont faites en stéréo, dues à l'accessibilité de ce format¹. Cependant, la réduction d'un espace naturel et enveloppant en trois dimensions à un espace stéréo frontal pose la question de l'immersion que l'on peut ressentir à travers le paysage qui nous est présenté. Nous nous demanderons donc par quels procédés se crée l'immersion, comment l'appliquer à une pièce sonore et nous discuterons de la pertinence d'un système dit "immersif" en multicanal pour permettre celle-ci. Puis nous décrirons les principes généraux de l'ambisonie de premier ordre et d'ordre supérieur, technologie retenue pour l'élaboration de l'installation.

2.2.1 L'immersion

Le principe et l'objectif des technologies dites immersives est de plonger le.la spectateur.rice dans le corps du récit, d'y monopoliser son appareil sensoriel et de le.la rendre acteur.rice passif.

Procédés participant à l'immersion

À propos de l'immersion, Laurent Lescop écrit : « Les dispositifs immersifs [...] vont monopoliser trois stratégies [...] : l'enveloppement, la sidération et l'implication. » (LESCOP 2012). La conjonction de ces trois stratégies permet l'illusion d'entrer dans l'espace diégétique et de nous y plonger par tous nos sens. Dans la pratique, il est possible de suggérer par le visuel ou par le sonore ce qui est communément capté par les autres sens.

1. On peut citer le travail de Fernand Deroussen avec *Naturophonia* (<https://naturophonia.jimdo.com>) ou de George Vlad (<https://www.youtube.com/channel/UCxJKK6qu0r51HCAZcYktGqA>).

Concernant l'enveloppement, il s'agit d'un « débordement de son [le public] espace visuel » (LESCOP et al. 2016). Au cinéma, le cadre de l'écran limite l'action, crée une direction de regard. Ce cadre définit deux profondeurs : une vers le fond de l'image dans laquelle se développe la scène, une autre vers le.la spectateur.rice qui est la projection de cette scène. Ainsi déborder ce cadre permettrait de plonger le.la spectateur.rice dans le récit et de le.la placer au "cœur de l'action". Lescop nous dit : « déborder le cadre, c'est aussi s'en affranchir et finalement donner à voir partout où portera le regard. » (LESCOP 2012).

La sidération ou saturation est le « détachement du monde réel en saturant de nouvelles informations sensorielles. » (LESCOP et al. 2016). « Les flux sonores et lumineux viennent comme percer le voile de l'espace diégétique, le son multidimensionnel, surgissant de tout autour, l'image en relief et même des simulations de vent, d'odeurs, de mouvement viennent donner au spectateur le sentiment que le spectacle jaillit littéralement vers lui. » (LESCOP 2012). Ici Lescop parle de donner des informations provenant de toutes les directions, et d'en donner beaucoup, comme on pourrait le ressentir dans la réalité, pour détacher le.la spectateur.rice du monde réel.

Enfin au sujet de l'implication, il s'agit d'un « engagement avec le monde virtuel, le monde du récit, par le moyen d'interfaces d'interaction réelles ou non. » (LESCOP et al. 2016). Le.la spectateur.rice est en mesure de contrôler (dans une certaine mesure) le déroulement de l'expérience et de la rendre individuelle. « Dans un premier temps, il s'agit de maîtriser où porte le regard. L'image ne renferme plus le cadre fourni par le metteur en scène et/ou le montage, mais par le spectateur lui-même, il devient libre de son point de vue. Ensuite, il y aura liberté de mouvement et possibilité de déplacement et d'exploration. Enfin, il y aura possibilité d'interaction, d'action/réaction sur l'environnement. » (LESCOP 2012).

Nous avons pu voir précédemment (**partie 1.2.1**) que dans ses représentations, Francisco López bande les yeux du public. On rappelle qu'il procède ainsi pour couper la dimension visuelle aux spectateur.rice.s et ainsi les focaliser sur le son. De cette manière, couper un sens tel que la vue, qui est un sens très utilisé par les êtres humains dans leur perception du monde, permet d'en amplifier un autre, tel que l'ouïe par exemple. Ainsi l'immersion sera plus grande, car les sens décuplés donneront plus d'informations.

Néanmoins, « l'immersion se fait surtout en appui du développement d'un

univers narratif dans lequel on transporte et active ses propres affects » (LESCOP 2012), c'est-à-dire que l'immersion n'est pas forcément souhaitable pour toutes les œuvres, mais qu'elle doit se justifier pour soutenir un propos narratif.

Lescop définit cependant une limite à l'immersion, qu'il appelle "seuil" (LESCOP 2012) et de préciser : « si le franchissement du seuil entre l'espace diégétique et l'espace vécu est un fantasme puissant, sa réalisation pose toujours problème. [...] L'ultime pouvoir du spectateur est de se dégager du spectacle, soit en coupant le flux, soit en quittant la salle. Ce pouvoir et ce droit à l'interruption est la dernière limite, le dernier seuil que ne doivent franchir les créatures de fiction. »

Application à une scène sonore

Dans le cas d'une scène sonore se voulant immersive, l'application des procédés décrits **ci-dessus** est plus ou moins simple.

L'enveloppement est réalisable assez facilement avec l'utilisation de technologies surround et 3D (5.1, 7.1, VBAP, Ambisonique, Dolby Atmos, etc.) ou par le son binaural. Il faut tout de même dépasser l'espace stéréo, car « en tant que moyen de reproduire un paysage sonore, la stéréo est une amélioration par rapport à la mono, mais deux haut-parleurs seuls - quelle que soit leur qualité - ne peuvent pas transmettre une sensation réaliste d'enveloppement. Dans un espace confiné, le son arrive à l'auditeur de toutes les directions - devant, derrière, au-dessus et au-dessous - ce qui est beaucoup plus réaliste que la stéréo. » (SILBERMAN 1995). Cela se généralise même pour des espaces non confinés comme les forêts par exemple.

La saturation est tout aussi applicable, par la composition de la scène sonore et/ou en couplant le dispositif sonore à des dispositifs sollicitant d'autres sens tels que la vue. Les dispositifs multicanaux participent à ce procédé en permettant de donner des informations provenant de plusieurs directions à la fois.

Enfin, l'implication peut se faire grâce à des capteurs qui permettent de générer des événements sonores suivant les actions du public par exemple. On peut même réaliser cet effet plus simplement encore en laissant un espace de déambulation à l'auditeur. En effet, se déplacer dans une scène sonore permet de s'approprier l'espace qui est reproduit, et donc de s'y impliquer.

Dans la conception de *L'Heure Bleue*, pièce se voulant immersive, il faudra donc tenir compte de ces éléments et mettre en œuvre les moyens nécessaires à

l'immersion. L'intérêt d'un dispositif sonore immersif est grand, car il permet de donner des informations provenant de toutes les directions. Un système reposant sur la diffusion à travers des enceintes permet de s'approprier l'espace en tournant la tête par exemple. Afin de focaliser les auditeur.rice.s sur l'écoute de la pièce, il est possible et plutôt simple de les priver de la vue, à la manière de Francisco López, en plongeant la pièce dans le noir par exemple. C'est le procédé qui a été choisi pour les écoutes de *L'Heure Bleue*.

Dispositifs sonores immersifs

Nous avons vu précédemment quel était l'intérêt des dispositifs sonores immersifs. Cependant, il existe beaucoup de technologies permettant la reproduction du champ sonore en trois dimensions. Nous allons ici en passer quelques-unes en revue, et discuter de leurs points forts et inconvénients.

Une première distinction peut être faite entre les dispositifs se basant sur la diffusion par haut-parleurs et les dispositifs diffusant par un casque. Pour ce qui est de la diffusion au casque, il existe la technologie binaurale. « Les approches binaurales de la représentation spatiale du son sont basées sur le principe que la reproduction la plus précise des indices d'écoute spatiaux naturels sera obtenue si les oreilles de l'auditeur peuvent recevoir les mêmes signaux que ceux qu'elles auraient perçus dans l'environnement de la source ou pendant une écoute naturelle. » (RUMSEY 2001). Pour ce faire, on se base sur les Head-Related Transfer Function (HRTF)¹. Ces fonctions de transfert permettent de calculer et de reproduire les transformations apportées aux ondes sonores par le corps d'un.e auditeur.rice, principalement la tête, le pavillon de l'oreille et le conduit auditif. Ces fonctions sont utilisées lors de la synthèse pour reproduire les modifications apportées au signal sonore depuis la source jusqu'aux oreilles de l'auditeur.rice. Le son binaural est destiné à être écouté avec un casque. C'est l'inconvénient majeur de cette technologie, car cela ne permet pas une écoute collective dans un contexte d'installation sonore. C'est aussi un grand avantage, puisque l'écoute au casque rend des pièces immersives accessibles au grand public.

Ainsi pour permettre une écoute collective de pièces immersives, il faut avoir recours à une diffusion à partir d'enceintes. Il existe beaucoup de systèmes multi-

1. Fonctions de transfert relatives à la tête. Indices spectraux de localisation, propres à chaque individu.

canaux, il ne s'agit pas ici de tous les détailler, mais nous parlerons des systèmes principaux.

C'est d'abord pour le cinéma que ce genre de système a été développé. Aujourd'hui on utilise le 5.1 et le 7.1, des systèmes à 5 ou 7 canaux et un canal d'effet pour les basses fréquences.

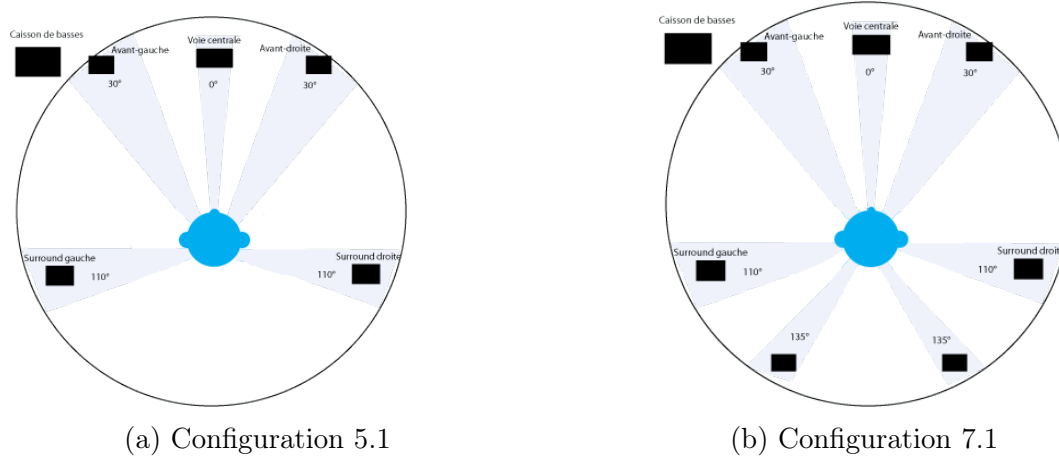


FIGURE 17 – Exemple de configurations surround pour le Home Cinema (Source : <https://cutt.ly/Qbw9m0q> , modifié par l'auteur)

Ces systèmes ont permis de faire dépasser le son du cadre de l'image et donc de plonger davantage le spectateur.rice dans le récit. Ils sont normalisés dans les cinémas. Cependant, « la distinction avant-arrière [...] n'est souvent pas appréciée par ceux qui utilisent le format. Alors qu'il est relativement facile de modéliser et d'aborder théoriquement la stéréo à deux canaux en matière de vecteurs de localisation et autres, pour des sons situés à n'importe quel angle entre les haut-parleurs, il est plus difficile d'élaborer un tel modèle pour la disposition à cinq canaux [...] car elle présente des angles inégaux entre les haut-parleurs et un angle particulièrement important entre les deux haut-parleurs arrière. » (RUMSEY 2001). Rumsey nous dit que traiter ces systèmes dans le "style cinéma", avec une image frontale et des effets à l'arrière donne une bonne impression d'immersion. Ces systèmes de diffusion sont donc peu adaptés à des pièces sonores immersives, puisque la sensation d'enveloppement n'est pas vraiment atteignable sans un support visuel. De plus, ils ne reproduisent pas les sons sur le plan de l'élévation.

D'autres systèmes ont été développés pour ouvrir le champ sonore vers la hauteur au cinéma, tel que le Dolby Atmos. « Dans sa configuration complète, l'*Atmos* peut adresser individuellement jusqu'à 64 enceintes (une configuration 62.2 pour

être exact). [...] Les métadonnées permettent de manipuler individuellement [...] jusqu'à 128 "objets" sonores et de les transmettre à n'importe quel haut-parleur où que ce soit dans l'auditorium. Les mixeurs son peuvent utiliser les 9 "canaux de base" (les 7 traditionnels plus les deux canaux de plafond ajoutés par l'*Atmos*) comme point de départ, puis décider de la quantité et de l'emplacement des objets sonores individuels. » (SERGI 2013). Dolby soutient que l'*Atmos* offre une « nouvelle expérience d'écoute avec un son enveloppant qui donne vie aux histoires à l'écran. » Néanmoins l'*Atmos* est un système pensé pour le cinéma et pour être diffusé dans des salles de cinéma. Il se prête difficilement aux installations immersives.

Enfin en matière de technologies audio 3D, non orientées spécifiquement vers le cinéma, nous pouvons citer le VBAP, la WFS ou l'ambisonie.

Le VBAP ou *Vector Based Amplitude Panning* est une « généralisation des panoramiques stéréos sur une puis deux dimensions supplémentaires. » (ZANNI 2020). On parle de base de vecteurs, car on encode la position de la source entre deux ou trois enceintes par deux vecteurs correspondant au niveau d'envois dans chacune des enceintes. En 2D (enceintes réparties sur un cercle sur un même plan) on utilise deux enceintes et en 3D (enceintes réparties sur une sphère, pas forcément de manière égale) on en utilise trois. Un des avantages apportés par ce système a été d'intégrer très rapidement une adaptation à la position des enceintes réelles quand bien même celle-ci ne serait pas sur une sphère parfaite. Cependant, lorsqu'une source est placée précisément à l'endroit d'un haut-parleur, il y a un changement de timbre de la source en question, puisqu'elle n'est plus une source fantôme (résultante de la sommation de 2 ou 3 enceintes), mais une source réelle, diffusée depuis une seule enceinte. Cela peut entraîner des changements de timbre intempestifs lors de déplacements. Néanmoins, le VBAP offre la possibilité de travailler en élévation.

La WFS ou *Wave Field Synthesis* est un modèle de synthèse de front d'onde. Elle se base notamment sur des calculs de délais visant à reproduire la forme d'un front d'onde. La plupart du temps, les enceintes sont placées sur une ligne ou un arc de cercle. « La WFS peut reproduire la forme d'onde d'une source sur sa ligne de haut-parleurs, derrière sa ligne jusqu'à l'infini, mais aussi devant. Plus la source s'éloignera, plus son front d'onde s'aplatira, une source à l'infini est alors considérée comme une onde-plane. » (ZANNI 2020). On remarque donc que le principal inconvénient de cette technologie est qu'elle ne prend pas en compte

l'élévation. Cependant, elle permet une bonne reproduction de la profondeur du champ sonore.

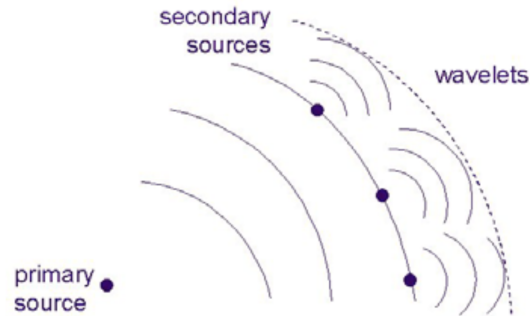


FIGURE 18 – Schéma simplifié de la synthèse d'un front d'onde d'une source primaire (virtuelle) par une distribution de sources secondaires (enceintes) (DANIEL et al. 2003)

Enfin, l'ambisonie est un système qui repose sur la décomposition de l'espace en harmoniques sphériques (en 3D) ou circulaires (en 2D). Chaque source est donc une somme précise de ces harmoniques. Le flux ambisonique est constitué du signal sonore échantillonné à chaque harmonique, donc est indépendant du système de diffusion. Ce flux peut être écouté sur n'importe quel système ayant suffisamment de haut-parleurs via une matrice de décodage approprié. C'est un format qui permet de travailler sur toute une sphère, en azimut et en élévation, sans introduire de distorsion de l'espace ou de timbre lorsqu'il est convenablement décodé. C'est le système qui a été choisi pour la diffusion de *L'Heure Bleue*, pour toutes les raisons explicitées précédemment. Nous allons donc faire une présentation de cette technologie.

2.2.2 Le son ambisonique

La technologie ambisonique, initiée et développée par Michael Gerzon au début des années 70 (GERZON 1973) est une méthode d'enregistrement et de lecture 3D basée sur la représentation de l'excitation du champ sonore comme une décomposition en harmoniques sphériques. Cette représentation facilite la production de sons spatiaux qui sont indépendants du système de lecture (FRANK et al. 2015). Elle a mené au développement de dispositifs de captation (microphone Calrec Ambisonic, Soundfield ST450, SPS200, Sennheiser Ambeo VR-Mic, etc.), d'encodage et de traitement. La lecture vers un système de diffusion donné est réalisée par

un décodeur approprié.

Nous discuterons ici de la technologie ambisonique de premier ordre et d'ordres supérieurs (High Order Ambisonic (HOA)), de l'enregistrement à la diffusion.

Principes généraux

La représentation d'une scène sonore 3D en ambisonique se base sur l'expression du champ de pression acoustique sous la forme d'une série de Fourier-Bessel, c'est-à-dire un développement en harmoniques sphériques. En effet, l'écriture de l'équation des ondes en champ libre en coordonnées sphériques permet d'exprimer ce champ sous la forme d'une série de Fourier-Bessel d'après :

$$p(kr, \theta, \delta) = \sum_{m=0}^{\infty} i^m j_m(kr) \sum_{n=-m}^m B_m^n Y_m^n(\theta, \delta)$$

Où $m \in \mathbb{N}$ et $n \in \mathbb{N}$, $j_m(kr)$ sont les fonctions de Bessel sphériques à dépendance radiale et fréquentielle (figure 19), Y_m^n les harmoniques sphériques (figure 20), B_m^n les signaux ambisoniques associés aux harmoniques sphériques et k le nombre d'onde ($k = \frac{2\pi f}{c}$).

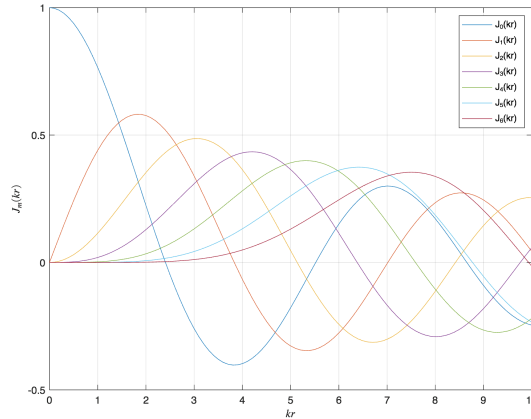


FIGURE 19 – Fonctions de Bessel sphériques pour $m \in [0; 6]$

On remarque sur la figure 20 que les deux premiers ordres des harmoniques sphériques correspondent à des directivités de microphones connues (omnidirectionnel et bidirectionnel). Cela signifie que théoriquement, avec seize microphones de directivités identiques aux harmoniques sphériques, il serait possible de créer un système de prise de son ambisonique natif à l'ordre 3. Cependant, il n'existe pas de moyens physiques de réaliser ce type de microphone après l'ordre 1.

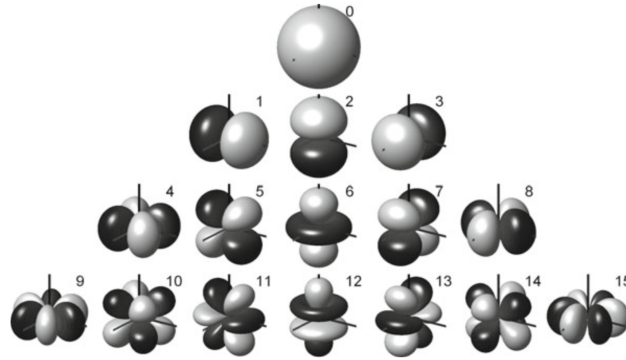


FIGURE 20 – Harmoniques sphériques de l'ordre 0 à l'ordre 3 (ZOTTER et al. 2019)

On obtient cette représentation des harmoniques sphériques suivant :

$$Y_m^n(\theta, \delta) = N_m^{|n|} P_m^{|n|}(\sin(\delta)) \cdot \begin{cases} \cos(n\theta) & \text{si } n \geq 0 \\ \sin(-n\theta) & \text{si } n < 0 \end{cases}$$

Où Y est une harmonique sphérique d'ordre m et de degré n , $P_m^{|n|}$ est le polynôme de Legendre associé à m et à n et $N_m^{|n|}$ le facteur de normalisation (**voir suite**).

Tout ceci est également valable en 2D, en prenant :

$$p(kr, \theta) = \sum_{m=0}^{\infty} i^m j_m(kr) \sum_{n=-m}^m B_m^n Y_m^n(\theta)$$

On remarque ainsi que le nombre d'harmoniques (ici cylindrique) est moins important qu'en 3D. On peut formaliser ce nombre suivant :

$$\text{En 2D : } N = 2m + 1$$

$$\text{En 3D : } N = (m + 1)^2$$

Où N est le nombre d'harmoniques du signal ambisonique et m l'ordre ambisonique.

Normalisation et arrangement des signaux ambisoniques

Différentes conventions existent pour la catégorisation et la normalisation des harmoniques sphériques, il convient d'y faire attention sous peine d'obtenir des aberrations au moment du décodage. On en compte 3 pour l'agencement des signaux, soit Furse-Malham, Ambisonic Channel Number (ACN) et Single Index Designation (SID).

Agencement	Ordre de classement	Logique de classement
Furse-Malham	[W Z X Y R S T U V ...]	Composantes verticales en premier et composantes horizontales à la fin
SID	[W X Y Z U V S T R ...]	Composantes horizontales en premier et composantes verticales à la fin
ACN	[W Y Z X V T R S U ...]	Selon $m^2 + m + n$ croissant

La normalisation concerne les rapports d'amplitude entre les composantes HOA. C'est un gain appliqué à chaque composante. Elle diffère en fonction des auteurs et peut induire des problèmes de compatibilité si elle n'est pas respectée. C'est d'abord Michael Gerzon (GERZON 1973) qui en a fourni une pour les ordres 0 et 1, puis Dave Malham et Richard Furse et enfin Jérôme Daniel (DANIEL 2001) en introduisent de nouvelles pour les ordres supérieurs.

Nom	Ordre	Normalisation
Gerzon	0 et 1	$\begin{cases} W = 1 \\ X = \sqrt{2} \cdot \cos(\theta) \cdot \cos(\delta) \\ Y = \sqrt{2} \cdot \sin(\theta) \cdot \cos(\delta) \\ Z = \sqrt{2} \cdot \sin(\delta) \end{cases}$
Furse-Malham	Tous	$\begin{cases} W = \frac{1}{\sqrt{2}} \\ X, Y \text{ et } Z \text{ sont normalisés tels que leur valeur max soit égale à } 1 \end{cases}$
Daniel SN3D	Tous	$N_{mn} = \sqrt{\epsilon_n \frac{(m-n)!}{(m+n)!}}$ où $\epsilon_n = \begin{cases} 1 & \text{si } n = 0 \\ 2 & \text{si } n \geq 1 \end{cases}$
Daniel N3D	Tous	$N_{mn}^{(N3D)} = N_{mn} \cdot \sqrt{2m+1}$

Il existe des plug-ins se chargeant de la conversion vers ces différentes normalisations et arrangements, tels que *ambiX_convert*.

L'encodage

Pour encoder un signal s en signal ambisonique $B_m^n(\theta_s, \delta_s)$, on multiplie le signal par la décomposition en harmoniques sphériques Y_m^n à la direction (θ_s, δ_s) du signal avec un gain g .

$$B_m^n(\theta_s, \delta_s) = g \cdot s(t) \cdot Y_m^n(\theta_s, \delta_s)$$

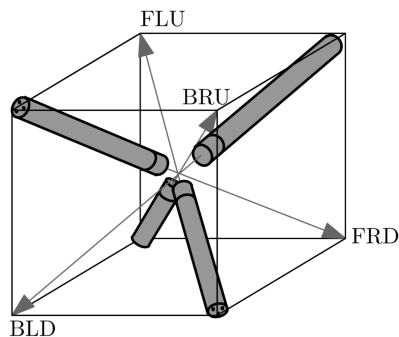
On remarque donc que le signal source $s(t)$ est relié à un paramètre d'amplitude que l'on appellera Gain (g) et à deux paramètres angulaires que l'on appellera Azimuth (θ) et Élévation (δ). Ainsi le placement d'une source via l'utilisation de plug-ins est relativement simple à utiliser et à implémenter. La trajectoire de cette source peut également être encodée, par un calcul dynamique de la relation ci-dessus.

Il existe plusieurs plug-ins réalisant cette fonction, développés par des équipes de recherche pour la plupart, puisque l'encodage ambisonique fait encore l'objet de recherches à l'heure actuelle. Nous pouvons citer le plug-in *ambiX_encoder* (KRONLACHNER 2015) ou les encodeurs de la suite IEM (*RoomEncoder*, *StereoEncoder* et *MultiEncoder*) (*Suite de plugins IEM* 2017).

L'enregistrement

La technologie de réseau de microphones ambisonique de premier ordre est vieille d'environ cinquante ans. Elle consiste en quatre microphones cardioïdes coïncidents orientés dans des directions différentes, avec un angle de $70,5^\circ$ entre chaque paire. La résolution angulaire n'est donc pas grande, mais le faible nombre de microphones permet d'utiliser des microphones de haute qualité. À l'heure actuelle, outre le fabricant original Soundfield/TSL Products (DSF-2, SPS422B, ST450, SPS200), d'autres sociétés telles que Core Sound (TetraMic), Oktava (4-D/MK-012) ou Sennheiser (Ambeo VR Mic) fabriquent des microphones ambisoniques de premier ordre.

Les quatre signaux résultant de la configuration en figure 21a (FLU (Front Left Up), FRD (Front Right Down), BLD (Back Left Down) et BRU (Back Right Up)) sont les composantes d'un signal au format A. Ce signal est généralement



(a) Matrice tétraédrique de 4 microphones cardioïdes (ZOTTER et al. 2019)



(b) Soundfield SPS 200

FIGURE 21 – Exemples de systèmes de prise de son ambisonique

converti au format B, suivant les relations 2.1 (RUMSEY 2001).

$$\begin{aligned}
 X &= 0.5((FLU - BLD) + (FRD - BRU)) \\
 Y &= 0.5((FLU - BRU) - (FRD - BLD)) \\
 Z &= 0.5((FLU - BLU) + (BRU - FRD)) \\
 W &= 0.5(FLU + BLD + FRD + BRU)
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

Le format B est constitué de quatre signaux qui représentent les composantes de pression et de vitesse du champ sonore dans n'importe quelle direction, comme le montre la figure 22. Il est composé de trois composantes orthogonales en forme de huit (X, Y et Z) et d'une composante omnidirectionnelle (W). Toutes les directions dans le plan horizontal peuvent être représentées par des combinaisons scalaires et vectorielles de W, X et Y, tandis que Z est nécessaire pour les informations sur la hauteur. X est équivalent à une figure en huit orientée vers l'avant (équivalant à M en stéréo MS), Y est équivalent à une figure en huit orientée vers le côté (équivalant à S en stéréo MS). Ces 4 signaux correspondent aux quatre premières harmoniques sphériques (figure 20).

Il est également possible d'obtenir un signal au format B de façon "native", c'est-à-dire sans traitement, en disposant des capsules ou des microphones individuels en mode format B (deux ou trois microphones bidirectionnels à 90° plus un omni). La composante Z n'est pas nécessaire pour l'information horizontale (figure 23). Dans la pratique, on privilégie les systèmes en tétraèdre, comme le SPS 200 de Soundfield (figure 21b).

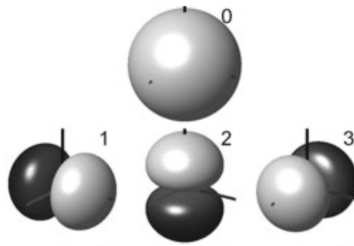


FIGURE 22 – Harmoniques sphériques à l'ordre 1 (ZOTTER et al. 2019, modifié par l'auteur)

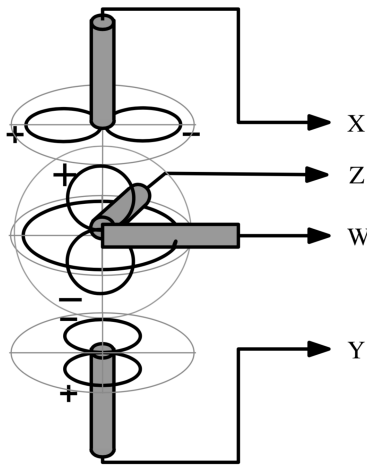


FIGURE 23 – Système de prise de son en B-Format natif (ZOTTER et al. 2019)

Les quatre canaux d'un microphone ambisonique de premier ordre fournissent une représentation bien équilibrée des ambiances. Cependant, la résolution spatiale n'est souvent pas suffisamment précise, d'où l'intérêt de stratégies telles que le mixage avec des microphones d'appoint ou l'amélioration de la résolution spatiale lorsque l'on travaille en HOA. Il y a cependant des microphones capables d'enregistrer à des ordres supérieurs. Ces microphones fonctionnent sur un principe analogue à ceux d'ordre 1, en recréant par calcul matriciel chaque composante d'un flux HOA. Pendant longtemps, le seul disponible sur le marché était le em32-Eigenmike de mhacoustics, doté de 32 capsules et donc capable d'enregistrer jusqu'à l'ordre 4. Son prix est néanmoins assez élevé. En 2017 la société polonaise Zylia a commercialisé son microphone ZM-1 doté de 19 capsules enregistrant jusqu'à l'ordre 3 et étant beaucoup moins cher que le Eigenmike.



(a) Eigenmike em-32



(b) Zylia ZM-1

FIGURE 24 – Microphones ambisoniques d'ordre supérieur

Les traitements

La représentation des signaux ambisoniques comme une décomposition de l'espace permet d'y appliquer des traitements spatiaux assez simples. Cependant, appliquer de tels effets sur un fichier ambisonique (de premier ordre ou HOA) va modifier l'ensemble de la scène sonore, dont les trajectoires des sources qui ont pu y être encodées.

Le traitement le plus simple est la symétrie. Il permet de réaliser un effet "miroir" autour des coordonnées cartésiennes de l'espace (x , y et z). Cela revient à inverser la phase des harmoniques sphériques dépendantes de l'une de ces coordonnées. Le plug-in *ambiX_mirror* est un exemple de traitement par symétrie.

La rotation est un traitement qui, comme son nom l'indique, permet d'effectuer une rotation de la scène sonore. Il est possible d'influer sur la rotation autour des trois axes O_x , O_y et O_z . Les paramètres sont respectivement le **Roll** ou **Tumble**, le **Pitch** ou **Tilt** et le **Yaw** ou **Rotate**. Deux termes peuvent être utilisés, suivant l'approche que l'on a de la rotation. On parle donc de **Roll**, **Pitch** et **Yaw** quand on considère que l'on simule le mouvement de la tête d'un.e auditeur.ice (utilisés pour le *headtracking* en binaural) et on parle de **Tumble**, **Tilt** et **Rotate** quand on considère que l'on traite la rotation de la scène sonore. On peut citer les plug-ins *ambiX_rotator* ou *ATK FOA RotateTiltTumble*.

Le "*warping*" ou déformation « éloigne ou rapproche toutes les sources d'une scène sonore des pôles ou de l'équateur » (FRANK et al. 2015). Il y a un effet

de déformation qui permet d'élargir l'espace d'un côté de l'image sonore, tout en comprimant la scène enregistrée du côté opposé (voir figure 25). Le plug-in *ambiX_warp* est un exemple de traitement de déformation.

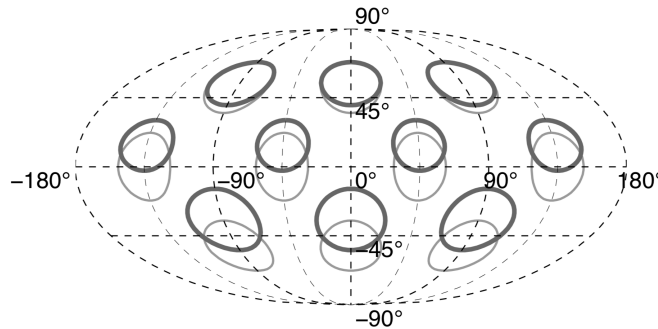


FIGURE 25 – Projection de 10 sources "warpées" de leur emplacement original (cercles gris clair) vers le pôle nord (cercles gris foncé) (FRANK et al. 2015)

Le "*widening*" ou élargissement et un effet de rotation dépendant de la fréquence autour de l'axe z qui permet d'élargir la source ou de créer des premières réflexions diffuses (KRONLACHNER et al. 2014). Le plug-in *ambiX_widening* effectue ce traitement.

La modification directionnelle de l'intensité sonore ou "*directional loudness modification*" « peut être appliquée pour augmenter ou diminuer le niveau de zones spatiales choisies » (FRANK et al. 2015). Elle peut être utilisée pour accentuer le son provenant de certaines directions ou l'atténuer. On peut citer le plug-in de Matthias Kronlachner *ambiX_directionnal_loudness* qui effectue ce traitement.

La synthèse de microphone virtuel est un effet qui permet de sélectionner une portion de l'espace plus ou moins finement (selon un ordre de directivité plus ou moins élevé). Ainsi, on peut extraire un fichier audio (qui n'est pas un flux HOA) correspondant à ce microphone virtuel depuis le flux HOA. On peut donc se focaliser sur un point précis ("*beamer*") de l'espace ou alors créer un réseau de microphones virtuels pour recréer un couple stéréo ou un système 5.1 par exemple. On peut citer le plug-in *sparta_beamformer*, *ambiX_vmic* ou *SurrondZone2*.

Il existe des plug-ins de réverbération algorithmique ou à convolution en HOA. Le principe est le même que pour une chaîne de traitement classique, il faut seulement une réponse impulsionnelle générée ou enregistrée à l'ordre voulu pour les réverbérations à convolution.

Les plug-ins d'amélioration de la résolution spatiale ou "*upmixer*" permettent

de transformer un flux ambisonique à un ordre supérieur (typiquement à partir d'enregistrements en format A ou format B). Ces approches d'amélioration sont basées sur la décomposition de l'enregistrement en objets sources virtuels. De tels objets contiennent un signal sonore et des paramètres de spatialisation tels que la direction et la diffusion (FRANK et al. 2015). Cela peut avoir un intérêt pour l'utilisation de certains plug-ins limité à un ordre particulier.

Les effets plus classiques comme les égalisations ou les compressions sont les mêmes que pour une chaîne de traitement conventionnelle. Il faut juste que ce traitement puisse s'appliquer à suffisamment de canaux en même temps.

Il existe également des plug-ins plus exotiques, permettant de faire des choses très précises. Nous n'allons pas les détailler ici, mais ces traitements sont disponibles et consultables aux liens dans la **bibliographie**.

La diffusion

La dernière étape de la chaîne de traitement ambisonique est le décodage, en vue de la diffusion sur des haut-parleurs ou à travers un casque. Les flux HOA étant indépendants du dispositif de diffusion, le décodage en sera lui totalement dépendant. Le nombre et le placement de ces haut-parleurs nous renseignent directement sur l'ordre maximal auquel il est possible de diffuser. Une restitution optimale du champ sonore en 2D ou en 3D se fait pour une répartition régulière de N haut-parleurs tel que $N \geq 2m + 1$ en 2D ou $N \geq (m + 1)^2$ en 3D, où m est l'ordre du flux ambisonique (DANIEL 2001). Plus l'ordre ambisonique est élevé, plus l'aire d'écoute optimale est grande (ZOTTER et al. 2019).

Il existe quatre méthodes de décodage d'un flux HOA vers des haut-parleurs. Le Sampling Ambisonic Decoder (SAD), le Mode Matching Decoder (MMD), le Energy-Preserving Ambisonic Decoder (EPAD) et le All-Round Ambisonic Decoding (AllRAD).

Les deux premières sont les plus simples. Elles consistent à échantillonner l'excitation en harmonique sphérique aux positions des haut-parleurs pour le SAD, ou à faire correspondre les modes d'excitation d'un champ sonore continu à ceux des haut-parleurs pour le MMD. Cependant, ces méthodes de décodage ne sont efficaces que pour des configurations de haut-parleurs régulières. Pour des arrangements non réguliers, ces stratégies échouent et produisent de grandes erreurs de localisation (FRANK et al. 2015). Les sons provenant de directions où la couver-

ture des haut-parleurs est faible apparaissent avec des niveaux d'intensité sonore modifiés. Cet effet de distraction résulte des variations de l'énergie décodée.

Le décodage EPAD a été développé par Franz Zotter, Hannes Pomberger et Markus Noisternig pour remédier à ce problème (ZOTTER et al. 2012). Un décodeur préservant l'énergie ("*Energy-Preserving Ambisonic Decoder*") ne contient pas de facteurs d'échelle d'énergie contrairement aux décodeurs précédents. Il n'introduit pas d'altération de l'énergie globale. Cela fonctionne toujours, quel que soit le placement particulier des haut-parleurs, tant que leur nombre est au moins égal au nombre d'harmoniques sphériques. Pour une répartition homogène de haut-parleurs, les décodeurs SAD, MMD et EPAD sont équivalents.

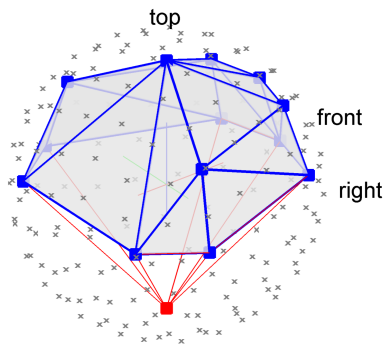
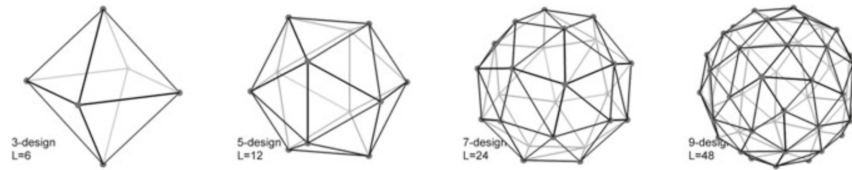


FIGURE 26 – Exemple de triangulation VBAP de AllRAD pour une disposition de haut-parleurs AURO 13.1 (carrés bleus), un haut-parleur de sol imaginaire (carré rouge) et 180 haut-parleurs virtuels en *t-design* (croix grises) (FRANK et al. 2015)

Enfin, le décodeur AllRAD est le décodeur le plus flexible et le plus utilisé. Il décode le flux HOA vers une disposition optimale de haut-parleurs virtuels en *t-design*¹ par échantillonnage (figure 27). Il en résulte une matrice de décodage qui est à la fois en MMD et en EPAD. Les signaux de ces haut-parleurs virtuels sont ensuite mis en correspondance avec les haut-parleurs réels à l'aide de VBAP (**voir partie 2.2.1**) (figure 26). La stabilisation des sources proches de la limite de la disposition des haut-parleurs est obtenue grâce à l'introduction d'un haut-parleur imaginaire supplémentaire situé sous le sol.

Le décodage permettant la lecture au casque repose sur la technologie binaurale. Un décodage binaural convaincant nécessite une création minutieuse des HRTF. Fondamentalement, l'impression spatiale peut être créée par convolution

1. Ensemble de décomposition régulière d'une sphère en une somme de triangles.

FIGURE 27 – Exemples de t -design (ZOTTER et al. 2019)

d'un signal source avec les réponses impulsionnelles liées à la tête (HRIR¹) ou les réponses impulsionnelles binaurales de la pièce (BRIR²) correspondante aux localisations des harmoniques sphériques ou à la position de haut-parleurs imaginaires. La localisation et l'intelligibilité sont améliorées par l'introduction de "head-tracking" qui suit les mouvements de la tête de l'auditeur.rice. L'incorporation de ces mouvements nécessite une interpolation sophistiquée des HRIR/BRIR. En revanche, l'utilisation de l'ambisonique pour la lecture au casque offre un moyen simple d'impliquer les mouvements de la tête en utilisant des matrices de rotation (voir la partie à propos des **traitements**).

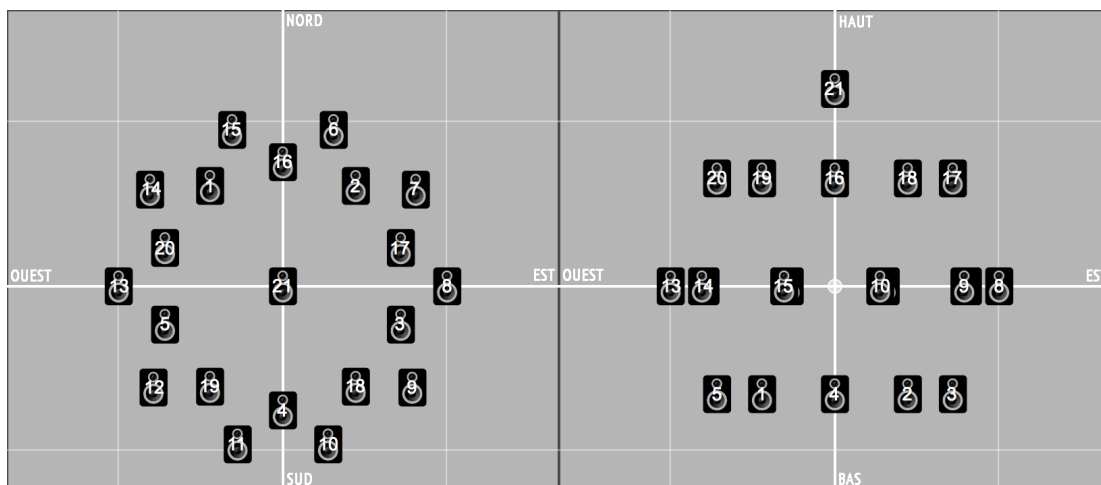


FIGURE 28 – Disposition des enceintes dans la salle multicanale de l'ENS Louis-Lumière

À l'ENS Louis-Lumière, une salle multicanale offre la possibilité de diffuser du son ambisonique jusqu'à l'ordre 4 (25 haut-parleurs). Dans le cadre de ce mémoire et de sa partie pratique, nous avons opté pour une configuration à 21 haut-parleurs, répartis sur une sphère, permettant donc de diffuser à l'ordre 3

1. *Head Related Impulse Responses*, Réponses Impulsionnelles Relatives à la Tête.

2. *Binaural Room Impulse Responses*, Réponses Impulsionnelles Binaurales de la Pièce.

(figure 28). Le contenu de la pièce sonore qui a été composée ne justifie pas vraiment la nécessité de monter jusqu'à l'ordre 4, puisque les sons utilisés sont souvent très diffus, sans réel besoin de localisation précise. Pour les sources ayant besoin d'une localisation plus définie, l'ordre 3 offre la résolution nécessaire à cet objectif, donc cette configuration est amplement suffisante. Les écoutes d'une première version de la composition sur ce système m'ont permis de me rendre compte de l'impression de profondeur qu'offrait ce système. La précision de la localisation de certaines sources est très satisfaisante et les enregistrements faits en format B, étant des ambiances très diffuses, permettent de créer un champ sonore cohérent qui semble naturel, ce qui est utile lorsqu'on essaie de recréer une expérience authentique d'un lieu. Le décodage est effectué avec le plug-in *AllRaDecoder* de IEM. Les réglages des différents paramètres du plug-in ont été faits lors de la phase de mixage de la pièce, afin de servir au mieux le rendu global de la création.



FIGURE 29 – Salle multicanale de l'ENS Louis-Lumière

PARTIE 3

Création de l'installation



3.1 Dispositifs techniques

L'installation se compose d'un banc au milieu d'une sphère d'enceintes, sur lequel les auditeur.rice.s sont invité.e.s à s'asseoir. La pièce de 15 minutes est diffusée dans le noir. Il n'y a donc pas de dispositif lumière pour cette installation, à part les néons déjà présents dans la salle. La lumière est éteinte avant de lancer l'écoute et la lumière revient au bout de 15 minutes par la porte, pour ne pas brusquer la vision des auditeur.rice.s. Selon moi, voir le dispositif de diffusion pourrait attenter à l'immersion, de plus le fait d'éteindre la lumière incite à fermer les yeux et donc à écouter.



FIGURE 30 – Vue de l'installation à la lumière

L'écoute de la pièce se voulant collective nous utilisons un système de diffusion par enceintes. La salle multicanale de l'ENS Louis-Lumière dispose de 25 enceintes Amadeus PMX5 et de 4 caissons de basses Yamaha CXS15XLF. Le son est traité dans un ordinateur avec le logiciel Reaper et est envoyé au processeur d'écoute Xilica Solaro FR1 via un réseau Dante. Le système permet de sortir 32 signaux de l'ordinateur et d'assigner ces 32 signaux vers les enceintes. Cette assignation est réglée via l'application XTouch sur une tablette, qui pilote les entrées et sorties de Xilica. Cette application permet de gérer le niveau de chaque couronne de haut-parleurs et de chaque haut-parleur individuellement, de les égaliser et d'y ap-

plier des délais. Les signaux sonores sortent du processeur vers 8 amplificateurs Yamaha XM148. Les signaux amplifiés sont ensuite envoyés à 4 multipaires speakeron placés aux 4 points cardinaux, pour ensuite redistribuer le son aux enceintes. Un synoptique de l'installation est disponible en **annexe 5**.

Pour cette installation, le dôme est composé de 21 enceintes, dont le placement a été détaillé plus haut (**partie 2.2.2**). Seul le caisson au sud-ouest a été utilisé pour deux effets dans la composition. Le banc est constitué de 2 cubes de 1 mètre de côté, recouverts d'un tapis, comme nous pouvons le voir sur la figure 30. Celui-ci est orienté d'est en ouest pour inviter inconsciemment les auditeurs à s'orienter face au sud ou au nord (directions choisies lors du mixage). Aucune directive n'est donnée quant au sens dans lequel s'orienter.

3.2 Composition

La composition de la pièce *L'Heure Bleue* est basée sur des enregistrements ambisoniques d'ordre 1. Cette pièce étant destinée à être diffusée sur un système multicanal à 21 haut-parleurs, toute la postproduction (montage et mixage) a été faite avec des technologies immersives. Nous allons ici détailler chacune des trois étapes de production de cette pièce, qui sont l'enregistrement, le montage et le mixage, ainsi que les outils utilisés lors de ces étapes.

3.2.1 Enregistrement

Les sessions d'enregistrements ont eu lieu les 4, 5, 6 et 7 mars 2021, de 5h à 8h30 environ. L'aube étant un processus assez long au niveau sonore, j'ai commencé l'enregistrement environ une heure avant le début de l'aube et laissé tourner l'enregistreur pendant trois heures trente, d'après les conseils de Philip Samartzis. Je suis resté assez proche du dispositif les deux premiers jours, pour être sûr que tout se passait bien, puis les deux jours suivants j'ai marché dans les alentours, pour me rendre compte du lieu et potentiellement repérer un nouvel endroit pour enregistrer.

Les enregistrements ont été effectués dans l'Ain, aux alentours du village de Treffort. Les quatre endroits d'enregistrements sont proches de la maison de mes parents, à une vingtaine de minutes de trajet. Ce sont des endroits que je connais bien, car j'ai habité dans les alentours pendant longtemps avant mes études. Le

PARTIE 3. CRÉATION DE L'INSTALLATION

DATE	LEVER DU SOLEIL	COUCHER DU SOLEIL	DURÉE DU JOUR	SOLEIL AU ZÉNITH	DÉBUT DE L'AUBE	FIN DU CRÉPUSCULE
Jeudi 04-03-2021	07h10	18h29	11H 18 min.	12h49	06h40	18h59
Vendredi 05-03-2021	07h08	18h30	11H 22 min.	12h49	06h38	19h00
Samedi 06-03-2021	07h06	18h32	11H 25 min.	12h49	06h36	19h01
Dimanche 07-03-2021	07h04	18h33	11H 28 min.	12h49	06h34	19h03

FIGURE 31 – Horaires du jour et de la nuit sur la période du 4 au 7 mars 2021 (Source : <https://cutt.ly/kbTyd0e> , consulté le 3 mars 2021)

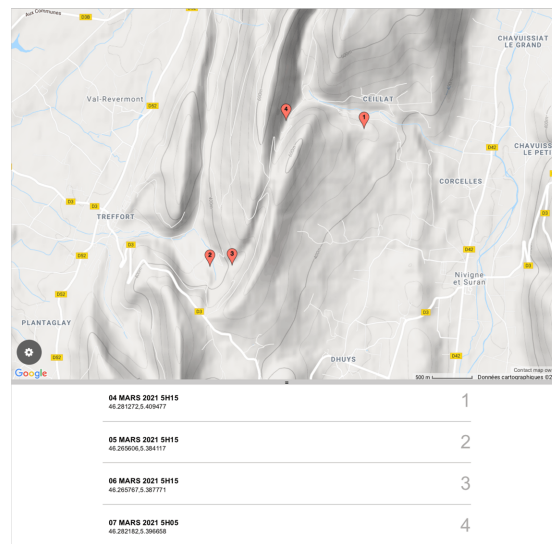


FIGURE 32 – Emplacements des quatre sessions d'enregistrement

fait d'avoir connaissance des lieux m'a évité de devoir faire des repérages, car je savais à quoi m'attendre.

Nous pouvons voir sur la figure 32 que les enregistrements ont eu lieu dans des vallées. Celles-ci sont peu peuplées et à l'abri de beaucoup d'activités humaines, surtout le matin. Cependant, les enregistrements des 4 et 5 mars ont eu lieu dans des lieux moins couverts par les montagnes. Cela a permis de recueillir des sons de circulation et d'activités humaines, ce qui n'était pas prévu, mais qui reste intéressant. Les lieux des 6 et 7 mars étaient plus reculés et plus enclavés, il y avait donc moins d'activité humaine, sauf des sons d'avions à de rares occasions.

Le micro choisi pour ces enregistrements était le Senheiser Ambeo Vr-Mic (figure 33), car il est simple d'utilisation et une bonnette anti-vent était fournie par

FIGURE 33 – Senheiser Ambeo Vr-Mic (Source : <https://cutt.ly/NbToJuZ>)

l'entreprise de location, "DC Audiovisuel". Ce microphone permet d'enregistrer en ambisonique de premier ordre au format A. Le dispositif était posé sur pied, pointé vers la source de sons humains connus, pour avoir des enregistrements homogènes et à hauteur d'oreilles, au cas où des animaux se déplaceraient en dessous. Les enregistrements ont été effectués avec une Mixpre-6 de Sound Devices, appartenant à l'ENS Louis-Lumière. Pendant l'après-midi, je procédais aux repérages pour les prochains lieux, et j'enregistrais d'autres matériaux, comme du vent ou le son d'un ruisseau.



(a) 7 mars 2021 à 8h30



(b) 6 mars 2021 à 6h50

FIGURE 34 – Dispositif de prise de son

Ces quatre jours d'enregistrement ont produit 17h30 de rushes, qui ont été dérushés pendant le mois de mars. Les enregistrements en ambisonique, écoutés

PARTIE 3. CRÉATION DE L'INSTALLATION

d'abord au casque via un rendu binaural, donnent un grand sens de la profondeur. Beaucoup de choses se sont passées pendant les enregistrements, ce qui a permis d'avoir de nombreuses options pour le montage.

3.2.2 Montage

Le montage a été fait sur le logiciel Reaper, avec la suite de scripts ReaVolution de Flux¹ (scripts optimisant la production de contenus multicanaux avec le Spat Revolution notamment) sur mon ordinateur personnel. Comme nous pouvons le voir sur la figure 35, l'affichage des formes d'ondes est en sonagramme, car certains moments sont si silencieux qu'on ne peut pas se repérer à la forme d'onde classique. Les sonagrammes ont permis de faciliter certains points de montage, puisque l'on peut visualiser des événements peu sonores à l'intérieur du son. Les rushes ont été gardés au format A, car la conversion des 17h de rushes vers le format B aurait été trop longue. J'ai donc utilisé *SurroundZone2* (plug-in de conversion de SoundField²) pour passer du format A au format B. *SurroundZone2* arrange le format B suivant l'arrangement SID et la normalisation N3D. J'ai utilisé *ambiX_converter* pour passer de SID, N3D à ACN, SN3D, qui est la normalisation utilisée par les autres plug-ins de la session.

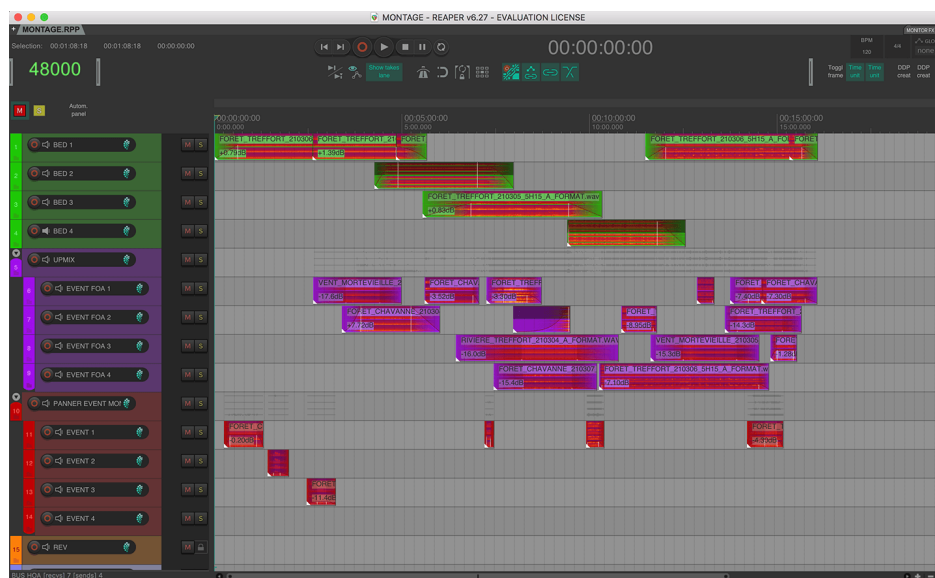


FIGURE 35 – Session de montage sur Reaper

1. <https://www.flux.audio/project/reavolution-for-spat-revolution/>
2. <https://cutt.ly/9bTsjSZ>

Seuls les éléments enregistrés en mars ont été utilisés, afin de se concentrer sur la même zone géographique et rendre compte de cet environnement. Le montage est décomposé en trois éléments : les pistes *BED* qui sont les éléments continus, les pistes *EVENT FOA* qui sont des événements précis gardés à l'ordre 1, car ils ne nécessitent pas d'avoir une localisation précise et les pistes *EVENT* qui sont des sons mono et dont la localisation est précise et encodée grâce au *MultiEncoder* de IEM. Ces sons sont envoyés dans une très grande réverbération HOA (*FdnReverb* de IEM). Les sons utilisés provenant tous des enregistrements faits en mars, donc au format A, ils doivent être décodés en mono, ce qui a été fait avec le plug-in *ATK FOA Decode Mono*.

La volonté dans cette création étant de retranscrire l'expérience de la forêt, le montage des événements se doit d'appuyer le propos.

Ainsi, la pièce commence par un long silence, qui est interrompu par les cris d'une chouette au loin. Le calme revient pour être de nouveau troublé par les cris d'un autre rapace, plus proche, dont le son résonne dans la vallée. Les six coups de la cloche d'une église nous renseignent sur l'heure, avant de laisser de nouveau place au silence. Puis un léger vent se lève, et un coq commence à chanter au loin. Commence alors une petite pluie, qui s'arrête rapidement. Les cris de loups émergent, pendant que les premiers oiseaux commencent à chanter. Un tracteur passe, ainsi qu'un avion, la vie humaine commence. Pendant ce temps, le chant des oiseaux s'intensifie, pour arriver à son apogée, lorsque la cloche sonne 7h00. Le martèlement d'un pic-vert retentit dans le fond de la vallée, tandis qu'un cerf brame, proche de nous. Le chant des oiseaux se calme petit à petit, pendant que le vent se lève à nouveau. Le son d'un klaxon retentit à l'horizon. Au loin arrivent des voix humaines, ce sont des joggeur.euse.s. Il.elle.s tournent autour de nous, quand sonne la cloche de 8h. En même temps, le son d'une tronçonneuse retentit dans le lointain. La pièce se termine avec le départ des joggeur.euse.s.

Tous les éléments qui ont été utilisés sont montés relativement au même moment auquel ils se sont produits dans les enregistrements, à l'exception des voix que l'on entend à la fin (qui ont été enregistrées vers 14h, sur le lieu de l'enregistrement du 7 mars).

Les transitions entre les différentes parties de l'aube sont montées grossièrement avec des "*crossfade*", ou fondus enchaînés. Elles ont été affinées lors du mixage. Ces transitions sont longues (environ 1 minute) par rapport à celles de Francisco López, car l'objectif est davantage la représentation du lieu que dans

PARTIE 3. CRÉATION DE L'INSTALLATION

La Selva.

L'écoute a été faite au casque via le rendu binaural de *sparta_ambiDEC*. Cela a permis de préparer le placement des sources mono et de se rendre compte de la profondeur des enregistrements. Cependant, lors d'une première écoute sur le système multicanal, on pouvait discriminer plus simplement les sources entre elles qu'au casque, d'où la nécessité d'une étape de mixage afin de traiter ces problèmes. De plus, l'écoute en multicanal a changé ma perception du temps de la pièce, ce qui a amené à effectuer un peu de montage pour écouter légèrement la pièce et rapprocher des événements les uns des autres.

3.2.3 Mixage

Le mixage a été fait dans la salle multicanale de l'ENS Louis-Lumière, du 17 au 21 mai 2021, toujours sur Reaper. Les enjeux de cette étape sont multiples. Il s'agit d'affiner la localisation des sources ainsi que leurs niveaux et leurs timbres, de bien répartir l'énergie acoustique dans l'espace et l'attention des auditeurs et d'améliorer les transitions entre les différentes pistes *BED* notamment.

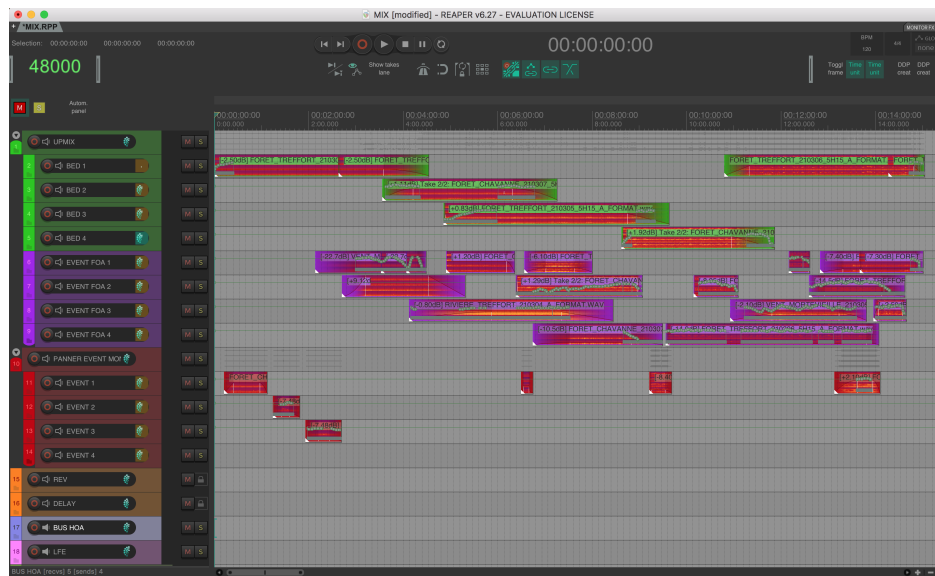


FIGURE 36 – Session de mixage sur Reaper

Concernant la gestion du timbre et du niveau des sources, l'approche est assez classique. Pour traiter le timbre, j'ai utilisé les plug-ins *mcfx_filterX* (X étant le nombre de canaux du plug-in). Il était nécessaire pour certaines sources de calmer

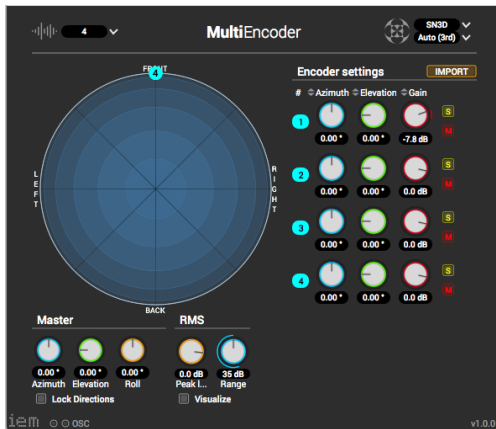
les fréquences basses avec beaucoup de vent, ou de couper les fréquences inutiles dans des sources mono par exemple. Ensuite pour la gestion du niveau, j'ai utilisé deux outils présents dans Reaper, à savoir le volume d'item (un volume général de chaque région) et le volume de la piste, qui était automatisé. Ces automatisations servent à mieux gérer l'entrée et la sortie des sources, afin de créer des transitions plus convaincantes. Elles servent aussi à amener du mouvement dans les niveaux et donc à créer du changement et ainsi de garder l'attention des auditeur.rice.s. Nous pouvons observer ces courbes sur la figure 36.

Pour la question de la localisation, plusieurs approches ont été utilisées. Pour les sources mono, nous utilisons le *MultiEncoder* de IEM qui permet d'encoder plusieurs sources en même temps. Pour les sources à l'ordre 1, nous utilisons une combinaison de plusieurs plug-ins : *ATK FOA Transform RotateTiltTumble* qui permet de faire des rotations autour des trois axes x , y et z afin d'orienter les événements à la localisation souhaitée et *ATK FOA Transform FocusPushPressZoom* qui est un traitement qui s'apparente à du *warping*, mais qui peut être dirigé dans une direction précise. La combinaison de ces deux traitements permet de replacer les événements sonores à l'endroit que l'on désire et de préciser leur localisation à cet endroit, sans trop perdre l'aspect diffus du son à l'origine. Nous pouvons voir des exemples de ces plug-ins en figure 37.

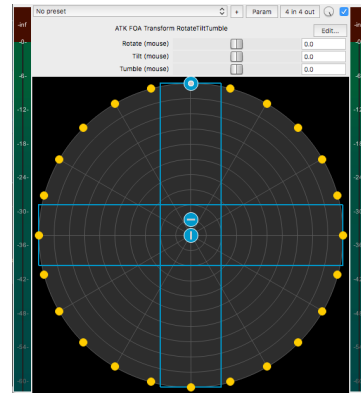
En plus des outils d'encodage cités précédemment, afin de renforcer l'impression d'espace, les sources mono ont été envoyées dans un plug-in de réverbération. Cette réverbération est longue (4 secondes) et très grande. Le plug-in *FdnReverb* de IEM a été utilisé. Le but de cette réverbération est de donner l'impression que l'on se trouve dans un très grand espace et également de flouter légèrement les localisations des sources, qui sont très précises grâce au *MultiEncoder*. En plus de cette réverbération, nous avons utilisé le plug-in *DualDelay* de IEM. C'est un outil qui crée deux chaînes de délai, qui vont subir des rotations à chaque itération. Cela donne une impression d'écho, ou la sensation que le son rebondit sur les flancs d'une montagne tout autour de nous, ce qui contribue également à donner une impression d'espace.

Un autre enjeu que nous avons évoqué précédemment est la gestion de l'énergie acoustique dans l'espace. En effet, à part pour des événements bien précis, cette énergie est généralement homogène tout autour de nous, comme dans un paysage sonore naturel. Il faut donc veiller à bien retranscrire cette sensation, ou alors jouer avec pour diriger l'attention de l'auditeur.rice. Pour traiter cet aspect, nous

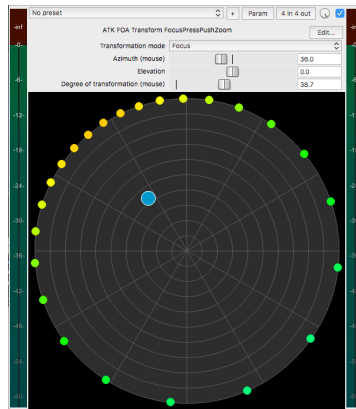
PARTIE 3. CRÉATION DE L'INSTALLATION



(a) IEM MultiEncoder



(b) ATK FOA Transform RotateTilt-Tumble



(c) ATK FOA Transform FocusPush-PressZoom

FIGURE 37 – Plug-ins utilisés pour la gestion de la localisation

avons utilisé deux traitements : *ambiX_warp* et *ambiX_directionnal_loudness*. Le premier permet de diriger l'énergie vers le haut ou vers le bas, pour des sources prenant trop de place sur la surface de la sphère, comme le son de rivière que l'on peut entendre au bout de 6 minutes environ. Le second permet de créer des zones rectangulaires ou circulaires dans l'espace et d'y appliquer un gain, afin d'augmenter ou diminuer le niveau sonore de cette zone. Ce traitement est utilisé au début et à la fin pour créer des zones sans sons devant et derrière, et donner l'impression que le paysage arrive d'un côté et repart de l'autre. Il est également utilisé pendant la partie de chorus pour accentuer légèrement l'énergie vers la droite, car elle manquait à ce moment et à cet endroit (figure 38).

Enfin, le dernier objectif du mixage est de pouvoir garantir une écoute homogène à toutes les personnes qui viendront écouter la pièce sur le système. Comme

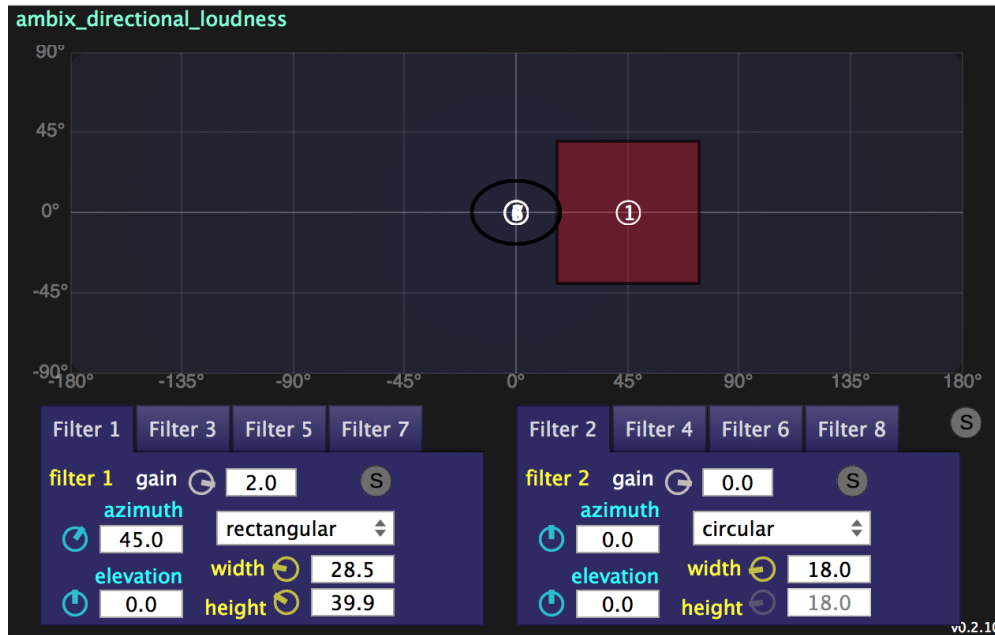


FIGURE 38 – Exemple de traitement de modification directionnelle de l'intensité sonore lors du chorus

nous l'avons vu auparavant, plus l'ordre ambisonique est grand, plus l'aire d'écoute est étendue. Ainsi toutes les sources d'ordre 1 ont été envoyées dans un bus général et ont été traitées avec *compass_upmixer* de SPARTA, qui permet d'augmenter l'ordre des sources à l'ordre 3. Il s'est avéré que cela n'apportait rien au rendu global de la pièce et n'augmentait pas l'aire d'écoute comme attendu. Ce traitement a donc été enlevé. Lors de cette étape le décodeur a également été réglé plus finement afin de donner le meilleur rendu possible dans la salle. Les haut-parleurs de la salle n'étant pas répartis de façon homogène sur une sphère, il est nécessaire d'appliquer des délais à certaines enceintes, afin d'homogénéiser la distribution. Le plug-in *DistanceCompensator* de IEM permet de donner des valeurs de distance pour chaque haut-parleur par rapport à un point d'écoute, et le plug-in va calculer et appliquer les délais nécessaires à chaque canaux afin de créer un système homogène. Tout cela a permis de s'affranchir d'un effet amené par les enceintes de la petite couronne, qui sont plus proches de l'auditeur.ice que celles de la grande couronne, qui donnait l'impression que toute l'image était concentrée vers le haut. Ce décodage plus optimal a été effectué lors du dernier jour de la présentation de la pièce, suite à des remarques de certain.e.s auditeur.ice.s, avec l'aide d'Adrien Zanni (étudiant Son promotion 2020).

3.3 Retours du public

La pièce a été présentée les 26, 27 et 28 mai à l'ENS Louis-Lumière, dans la salle multicanale. Les séances d'écoute ont été limitées à deux personnes en même temps à cause du contexte sanitaire. Suite à plusieurs retours d'auditeur.rice.s, ces séances ont par la suite été le plus possible limitées à une personne à la fois, car les écoutes à deux gênaient la perception de l'espace ou empêchaient de se retourner et de s'approprier l'espace selon elles.eux. À la fin de chaque écoute, les auditeur.rice.s étaient invité.e.s à répondre à un questionnaire, afin de recueillir leurs ressentis sur la pièce (**annexe 6**). Nous allons d'abord en tirer des statistiques pour en déduire une tendance générale dans le ressenti des visiteur.euse.s, puis nous aborderons des points qui n'ont pas été évoqués dans les questionnaires mais à l'oral après l'écoute de la pièce.

3.3.1 Statistiques globales

Les trois jours de présentation ont permis d'accueillir 60 personnes, qui se répartissent dans les âges et les professions visibles en figure 39. Dans ces 60 personnes, 67% confient avoir déjà entendu un contenu sonore dit immersif, 28% n'en ont jamais entendu et 5% ne l'ont pas précisé. Ainsi une grande partie des auditeur.rice.s possèdent déjà (dans une certaine mesure) la culture du son immersif.

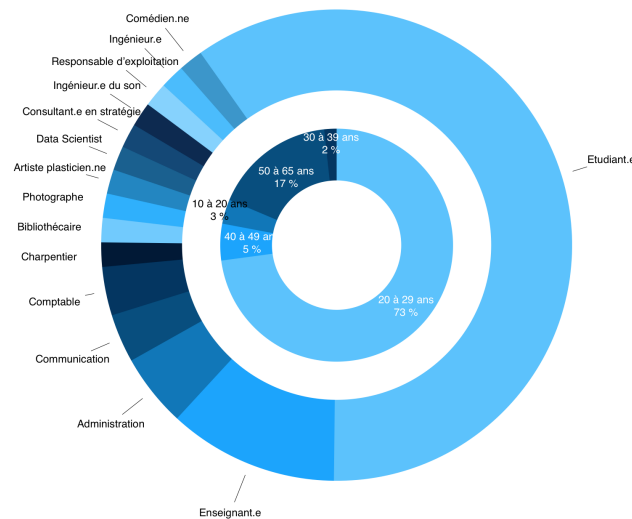


FIGURE 39 – Répartition des âges et métiers des auditeur.rice.s

L'objectif du questionnaire étant de recueillir le ressenti des auditeur.rice.s, les questions posées sont très ouvertes. Malgré tout, certains mots-clés reviennent très souvent. La première question s'intéresse au ressenti global de la pièce. La deuxième a pour but de décrire l'expérience d'écoute en quelques mots. Ces deux questions ont permis de tirer les statistiques visibles en figure 40.

On peut voir qu'en dehors de "l'immersion", les principales sensations qui se dégagent sont le "calme", la "relaxation" et une sensation "agréable". Les auditeur.rice.s me faisaient part de ces sensations à l'oral également, en ajoutant que l'écoute qu'il.elle.s venaient de faire les avait sortis de leur quotidien, des "bruits" de la ville. Cependant, certaines personnes ont ressenti une certaine gêne, souvent due aux nuisances provenant de l'extérieur de la salle, qui les coupait dans l'immersion.

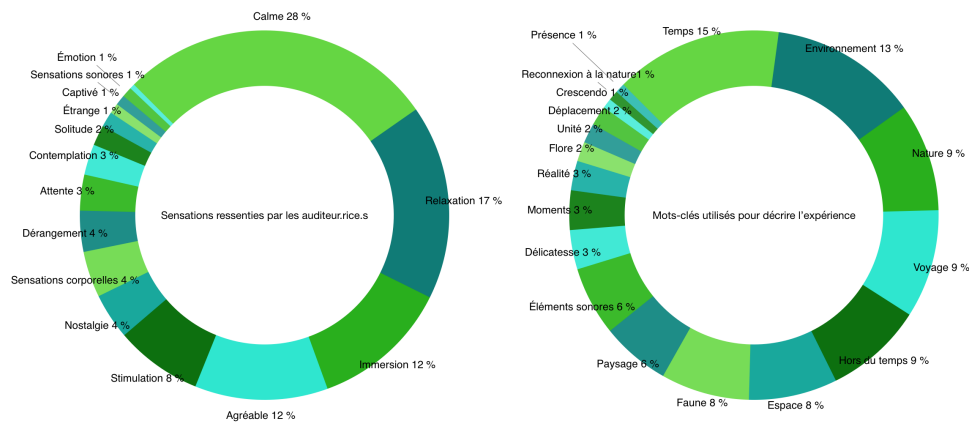


FIGURE 40 – Sensations et mots-clés recueillis dans le questionnaire

Dans les mots-clés utilisés pour décrire l'expérience, on retrouve une proportion importante de termes s'approchant de la nature et du paysage, tel que "environnement", "nature", "faune", "flore", "paysage", "reconnexion à la nature". Ces termes décrivent le contenu de la pièce. On retrouve également des termes faisant référence au temps et au temps qui passe ("timelapse", "compression temporelle", "transitions", "progression", etc.), ainsi que des termes faisant référence à des moments précis d'une journée ("matin", "aube", "nuit"). On peut conclure à la vue de ces termes que les auditeur.rice.s ont généralement compris le but de la pièce, étant de raconter le passage du temps dans un environnement naturel.

La troisième question demandait aux visiteur.euse.s s'il.elle.s avaient perçu.e une évolution dans la pièce et comment. Une seule personne n'a pas perçu d'évolu-

PARTIE 3. CRÉATION DE L'INSTALLATION

tion sur l'ensemble des participant.e.s. Dans le reste du panel, il est fait mention 31 fois d'une évolution au niveau du temps, et 30 fois à propos d'autres paramètres. Nous pouvons voir la répartition des différents termes en figure 41.

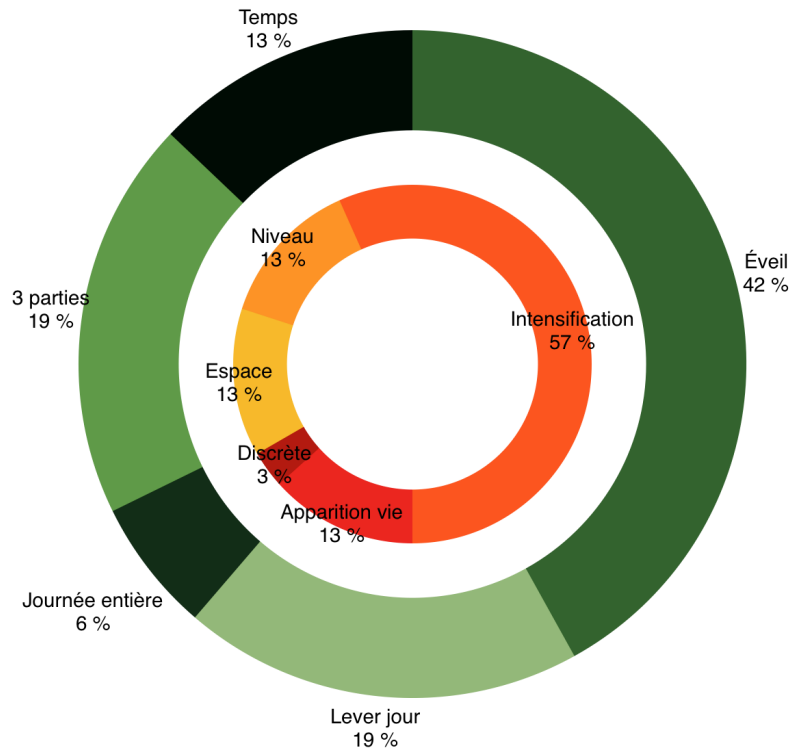


FIGURE 41 – Type d'évolutions perçues

On remarque que dans une très grande partie des cas, l'évolution perçue au cours du temps concerne le moment du lever du jour ("lever jour", "éveil"). De même il est fait référence à trois parties dans la composition, qui correspondent généralement à la nuit ou un moment de calme, un moment d'intensification des sons d'oiseaux et enfin une accalmie de ceux-ci. La description de ces trois parties coïncide avec les éléments décrits en **partie 2.1.1**, à savoir la nuit, le chorus matinal et le jour. Une petite portion des auditeur.rice.s a cru entendre une partie plus importante de la journée, allant jusqu'au soir.

Dans les réponses ne faisant pas mention du temps, une grande partie des spectateur.rice.s confie ressentir une "intensification", au niveau de la vie animale et des événements sonores provenant de la vie humaine. Une autre partie parle d'une évolution dans l'"espace", en parlant de déplacement ou d'une impression

que celui-ci s'agrandit. Une seule personne a trouvé que l'évolution était trop discrète et aurait aimé plus de contrastes.

On peut donc conclure que la plupart des personnes ayant écouté *L'Heure Bleue* ont ressenti la transition de la nuit au jour, par les indicateurs qui ont été décrits précédemment dans ce mémoire.

La dernière question était à propos de l'obscurité, et la façon dont celle-ci a influé sur la perception de l'espace et le temps. 87% des auditeu.rice.s ont trouvé que l'obscurité favorisait l'immersion, 10% ont trouvé que cela ne la favorisait pas et 3% n'ont ressenti aucun impact de l'absence de lumière sur leur perception.

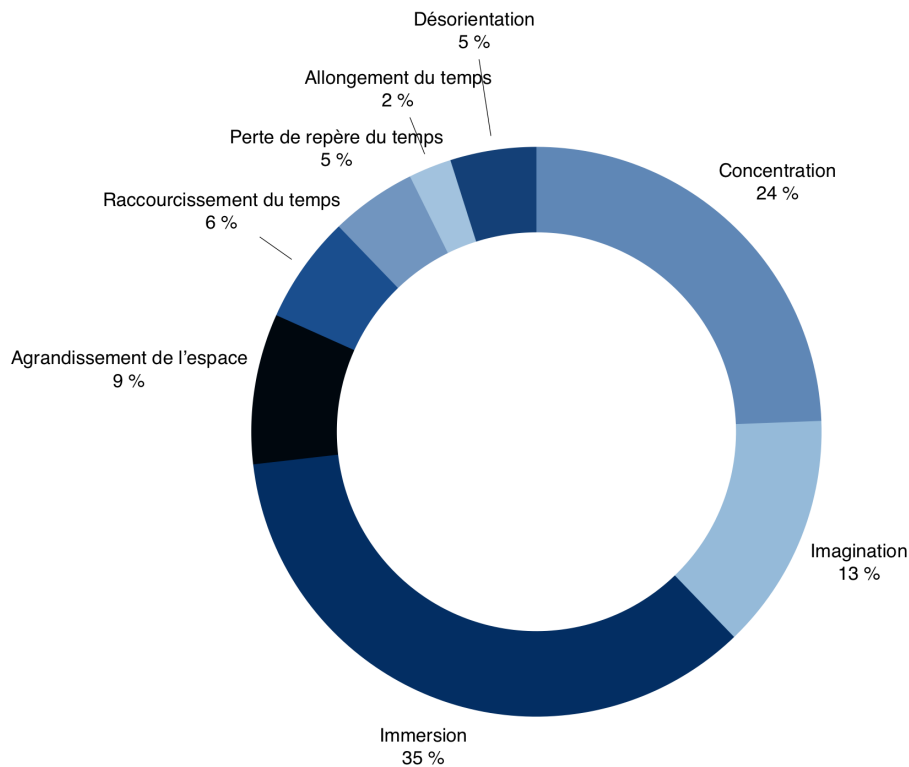


FIGURE 42 – Impact de l'obscurité sur la perception

La figure 42 montre la répartition des perceptions altérées par l'obscurité chez les personnes l'ayant trouvée favorable à l'immersion. Une très grande partie d'entre elles.eux fait part de la nécessité d'être dans le noir pour être mieux immergé et mieux se concentrer sur le contenu sonore. Certaines personnes racontent que cela leur a permis de se plonger plus facilement dans des souvenirs d'enfance ou d'imaginer l'endroit où il.elle.s étaient. Une petite partie des auditeu.rice.s a eu la sensation que l'espace s'agrandissait, tandis qu'une autre partie

a eu la sensation d'être désorientée au début, à la recherche de repère. Certain.e.s visiteur.euse.s ont perdu la notion du temps, mais la plupart ont ressenti un allongement ou un raccourcissement de celui-ci. Quelques-un.e.s m'ont fait part d'une envie que la pièce dure plus longtemps.

Ainsi l'obscurité a globalement été une aide aux auditeur.rice.s pour s'immerger dans la pièce. Les personnes pour qui cela n'a pas fonctionné ont fait part d'une déréalisation de l'expérience et d'une dissociation faites entre le fait d'être dans le noir et d'entendre des oiseaux diurnes. Une personne aurait voulu avoir un support visuel pour se repérer dans le temps.

Par conséquent l'analyse des questionnaires a permis de retirer des statistiques générales sur le ressenti des auditeurs à propos de *L'Heure Bleue*. Cependant, la plupart des personnes qui sont venues écouter la pièce ont donné d'autres retours à l'oral et ont fait part de choses n'ayant pas été abordées dans le questionnaire. Nous allons aborder ces points dans la partie suivante.

3.3.2 Discussions

À la fin de l'écoute, j'ouvrais la porte et ramenaient la lumière dans la salle. J'ai retrouvé plusieurs personnes couchées sur le banc et une personne qui s'était assoupie. Elles m'ont fait part du côté relaxant de la pièce et donc de l'envie qu'elles ont eue de se coucher. J'ai cependant essayé de prévenir les auditeur.rice.s au maximum que l'écoute était optimale lorsque l'on était assis au centre du banc. Certaines personnes mettaient quelques secondes à se "réveiller" et à revenir à la réalité.

J'ai reçu beaucoup de questions sur les étapes de production de la pièce, à savoir si j'avais effectué les enregistrements, où et quand ils avaient été réalisés ou si j'avais fait du montage. Les réponses à ces questions sont présentes plus haut (**partie 3.2**). Je répondais de façon plus ou moins précise, en fonction de l'interlocuteur.rice. J'ai essayé d'expliquer plus clairement aux étudiant.e.s en section Son comment fonctionnait le système par exemple. De même j'ai eu des discussions sur le système en lui-même et ses limites en matière de perception de l'espace. Les enregistrements utilisés étant tous à l'ordre 1, la zone d'écoute optimale est très petite. Beaucoup de personnes m'ont dit qu'elles avaient entendu un souffle sur l'entièreté de la pièce, et que le timbre de celui-ci n'était pas homogène lorsque l'on bougeait la tête.

Une grande partie des visiteur.euse.s m'ont fait part d'une impression de retour à l'enfance et que la pièce avait ravivé des souvenirs. Cela montre également que la connaissance du processus naturel du lever du jour est très liée au vécu de l'auditeur.rice. Les personnes n'ayant jamais ou peu vécu à la campagne ont moins compris cet aspect de la pièce que celle.eux qui y vivent ou y ont vécu.

Enfin, les questions qui sont revenues le plus souvent étaient sur le contenu de la pièce. Certains sons sont inconnus à beaucoup de personnes et celles-ci me demandaient de les éclairer quant à la provenance de ces sons. Ainsi peu d'auditeur.rice.s ont reconnu le cri du cerf et l'ont confondu avec le cri d'un chien ou le son d'un scooter. De même pour les cris des loups. Le son des joggeur.euse.s à la fin a suscité beaucoup d'interrogations également. Certaines personnes ont cru que les sons venaient de l'extérieur de la salle.

Deux personnes ayant écouté la pièce ensemble m'ont avoué avoir commencé à discuter à partir du moment du chorus, en évoquant les sons qu'elles entendaient et en se posant des questions. Ces personnes ont évoqué un moment de complicité et de communion, provoqué par le caractère "familier" et "apaisant" de la pièce.

Conclusion

L'analyse de *La Selva* que nous avons menée nous a permis de caractériser cinq types de transitions, qui peuvent être utilisées lors de la composition d'une pièce à base de paysages sonores. S'ajoutent à cela deux autres transitions pouvant intervenir dans des pièces avec de la vie humaine. Ces transitions reposent sur trois facteurs, à savoir la fréquence, l'intensité et le rythme. L'étude des caractéristiques sonores d'une forêt nous permet de mieux comprendre comment en rendre compte dans une composition et ainsi de mieux restituer l'espace sonore du lieu. L'expérience du lever du jour étant une transition à part entière, l'utilisation des concepts définis pour la composition d'une pièce à base de paysages sonores permet de signifier ce passage de la nuit au jour. Dans le cas de la restitution d'un espace sonore naturel en trois dimensions, l'utilisation d'un système immersif en multicanal permettrait d'immerger l'auditeur.rice dans l'espace proposé.

La création de la pièce *L'Heure Bleue* nous a permis de confronter ces recherches à une démarche artistique publique. Nous avons vu que par une composition précise des différents moments clés de l'aube, il était possible de faire comprendre aux spectateur.rice.s qu'une transition avait eu lieu. De même par l'utilisation d'un système ambisonique et la privation de la vue, nous avons observé que dans la plupart des cas une immersion était provoquée, ou en tout cas une concentration de l'auditeur.rice sur le son et l'espace sonore qui lui était présenté. L'objectif de *L'Heure Bleue* était d'amener l'expérience de l'aube à un public en mettant en lumière les mécanismes qui sont en jeu à cette période de

CONCLUSION

la journée, en gardant l'aspect enveloppant et "naturel" d'un tel environnement. L'abondance de termes traitant de l'"immersion" et du caractère "naturel" de la pièce montre que cet objectif a été globalement atteint.

Enfin, ce travail a été intéressant à accomplir compte tenu de l'approche un peu inédite du sujet. Les ressources traitant des transitions dans le cadre des paysages sonores sont assez sommaires et il a été très enrichissant de s'intéresser de plus près aux mécanismes mis en œuvre pour écrire ce genre d'événements, même si cette étude ne pouvait pas être exhaustive. L'écriture de ce mémoire m'a permis, avec le support de la composition de *L'Heure Bleue*, d'approfondir des disciplines autour du paysage sonore et du son multicanal et de mieux appréhender l'écriture de l'espace en trois dimensions. J'ai aimé creuser autour de ces sujets afin de concevoir *L'Heure Bleue* et j'espère pouvoir continuer à créer autour de cette thématique et expérimenter les technologies multicanales.

L'Heure Bleue a été composée pour un système ambisonique. De ce fait, son écoute en dehors de tels systèmes est très compliquée. Un rendu binaural a cependant été effectué et peut être écouté via le lien suivant :

<https://soundcloud.com/user-204283851/sets/lheure-bleue>

Annexe 1 : Description de chaque séquence

Séquence 1 (du début à 2min56s)

Biophonies :

- Nappes de grenouilles (entre 20 Hz et 4 kHz) et de cigales et oiseaux (entre 4 kHz et 10 kHz) ;
- Canards d'abord proches puis qui s'éloignent (1min38s) et se rapprochent à nouveau (2min05s) ;
- Trois vagues de cigales (du début à 38s, de 1min24s à 2min07s et de 2min25s à 2min44s) plus proches et plus aiguës (entre 11 kHz et 20 kHz).

Pas de géophonies ni d'anthropophonies.

Séquence 2 (de 2min48s à 5min15s)

Biophonies :

- Nappes de grenouilles (entre 20 Hz et 4 kHz) et de cigales (entre 4 kHz et 10 kHz) ;
- Deux ou trois oiseaux qui communiquent (de 2min48s à 4min33s) ;
- Deux vagues de cigales (de 3min16s à 3min33s et de 3min48s à 4min23s) et plus aiguës (entre 11 kHz et 20 kHz).

Pas de géophonies ni d'anthropophonies.

Séquence 3 (de 5min04s à 7min50s)

Biophonies :

- Nappes de grenouilles (entre 20 Hz et 4 kHz) et de cigales (entre 4 kHz et 10 kHz) ;
- Trois vagues de cigales (de 5min04s à 5min24s, de 5min40s à 6min26s et de 6min43s à 7min34s) et plus aiguës (entre 11 kHz et 20 kHz) ;
- Une cigale proche (entre 8,7 kHz et 10 kHz).

Pas de géophonies ni d'anthropophonies.

Séquence 4 (de 7min34s à 9min48s)

Biophonies :

- Nappes de cigales (entre 3,6 kHz et 11 kHz) et d'oiseaux (entre 8 kHz et 11 kHz).

Géophonies :

- Pluie fine sur les feuilles d'arbres.

Pas d'anthropophonies.

Séquence 5 (de 9min42s à 11min11s)

Biophonies :

- Nappe de cigales (entre 3,6 kHz et 11 kHz) ;
- Plusieurs oiseaux proches ;
- Cris d'un mammifère au loin.

Géophonies :

- Pluie fine sur les feuilles d'arbres.

Pas d'anthropophonies.

Séquence 6 (de 11min07s à 11min59s)

Biophonies :

- Nappe de cigales (entre 6 kHz et 11 kHz) ;
- Vague de cigales (de 11min30s à 11min44s) très aiguës (entre 11 kHz et 14 kHz)

- Plusieurs oiseaux proches ;
- Mouvements dans des branchages.

Géophonies :

- Un cours d'eau.

Pas d'anthropophonies.

Séquence 7 (de 11min58s à 13min49s)

Biophonies :

- Nappe de cigales (entre 6 kHz et 11 kHz) ;
- Vague de cigales (de 12min26s à 12min36s) très aiguës (entre 11 kHz et 14 kHz)
- Plusieurs oiseaux proches ;
- Mouvements dans des branchages.

Géophonies :

- Cascade au loin ;
- Pluie fine.

Pas d'anthropophonies.

Séquence 8 (de 13min45s à 14min57s)

Biophonies :

- Nappe de cigales (entre 6 kHz et 11 kHz) ;
- Plusieurs oiseaux proches ;

Géophonies :

- Cascade au loin ;
- Eau qui s'écoule proche ;
- Tonnerre qui gronde.

Pas d'anthropophonies.

Séquence 9 (de 14min50s à 16min47s)

Biophonies :

- Mouvements dans des branchages ;
- Un oiseau (15min55s).

Géophonies :

- Eau qui s'écoule proche ;
- Pluie ;
- Tonnerre qui gronde.

Pas d'anthropophonies.

Séquence 10 (de 16min41s à 19min15s)

Biophonies :

- Un insecte volant proche.

Géophonies :

- Pluie sur les feuilles ;
- Deux coups de tonnerre (de 16min44s à 17min03s et de 18min20s à 18min40s).

Pas d'anthropophonies.

Séquence 11 (de 19min13s à 19min59s)

Géophonies :

- Pluie forte sur les feuilles ;
- Tonnerre constant.

Pas d'anthropophonies ni de biophonies.

Séquence 12 (de 19min57s à 21min19s)

Biophonies :

- Nappes de cigales (entre 3 kHz et 11 kHz) et d'oiseaux ;
- Deux vols d'insecte très proche (à 20min13s et à 20min32s).

Géophonies :

- Pluie fine sur les feuilles.

Pas d'anthropophonies.

Séquence 13 (de 21min14s à 23min11s)

Biophonies :

- Nappes de cigales (entre 3 kHz et 11 kHz) et d'oiseaux ;

- Deux vagues de cigales (de 21min14s à 22min18s et de 22min55s à 23min11s);
- Chants d'oiseaux ponctuels;;
- Vols d'insectes ponctuels.

Géophonies :

- Vent.

Pas d'anthropophonies.

Séquence 14 (de 23min04s à 25min25s)

Biophonies :

- Nappe de cigales (entre 3 kHz et 8 kHz);
- Chants d'oiseaux ponctuels;
- Vols d'insectes ponctuels.

Géophonies :

- Petite pluie.

Pas d'anthropophonies.

Séquence 15 (de 25min23s à 27min22s)

Biophonies :

- Nappe de cigales (entre 3 kHz et 8 kHz);
- Nappe d'insectes en essaim;
- Chants d'oiseaux ponctuels.

Pas d'anthropophonies ni de géophonies.

Séquence 16 (de 27min14s à 29min15s)

Biophonies :

- Nappe de cigales (entre 3 kHz et 8 kHz);
- Nappe d'insectes en essaim très fort;

Pas d'anthropophonies ni de géophonies.

Séquence 17 (de 29min10s à 31min03s)

Biophonies :

- Nappe de cigales (entre 6 kHz et 12 kHz);

- Quatre vagues de cigales (de 29min26s à 29min39s, de 29min51s à 30min17s, de 30min23s à 30min41s et de 30min46s à 31min03s);
- Cris d'oiseaux ponctuels.

Géophonies :

- Cours d'eau en fond.

Pas d'anthropophonies.

Séquence 18 (de 30min57s à 32min39s)

Biophonies :

- Nappe de cigales éloignées (entre 3 kHz et 8 kHz);
- Insectes volants ponctuels;

Pas d'anthropophonies ni de géophonies.

Séquence 19 (de 32min32s à 35min01s)

Biophonies :

- Nappe de cigales (entre 3 kHz et 6 kHz);
- Deux vagues de cigales (de 32min32s à 32min46s et de 33min12s à 35min01s);
- Vols d'insectes ponctuels.

Géophonies :

- Cours d'eau au loin.

Pas d'anthropophonies.

Séquence 20 (de 34min57s à 38min09s)

Biophonies :

- Nappe de cigales (entre 4,5 kHz et 12 kHz);
- Cris d'oiseaux (de 34min57s à 35min27s).

Géophonies :

- Cours d'eau au loin.

Pas d'anthropophonies.

Séquence 21 (de 37min59s à 40min31s)

Géophonies :

- Cascade.

Pas d'anthropophonies ni de biophonies.

Séquence 22 (de 40min23s à 42min10s)

Biophonies :

- Cri de mammifère ;
- Vagues de cigales.

Géophonies :

- Cascade au loin.

Pas d'anthropophonies.

Séquence 23 (de 42min05s à 43min34s)

Biophonies :

- Nappes de cigales (entre 3 kHz et 8 kHz) et d'oiseaux ;
- Oiseaux ponctuels.

Pas d'anthropophonies ni de géophonies.

Séquence 24 (de 43min31s à 44min25s)

Biophonies :

- Nappes de cigales (entre 3 kHz et 6,5 kHz et entre 7 kHz et 9 kHz) et d'un oiseau ;
- Petits oiseaux ponctuels.

Pas d'anthropophonies ni de géophonies.

Séquence 25 (de 44min19s à 46min30s)

Biophonies :

- Nappes de cigales (entre 3 kHz et 6,5 kHz) et de grenouilles ;
- Quatre vagues de cigales (de 44min19s à 44min41s, de 44min57s à 45min14s, de 45min48s à 45min56s et de 46min08s à 46min30s) ;
- Oiseaux ponctuels.

Géophonies :

- Cours d'eau.

Pas d'anthropophonies.

Séquence 26 (de 46min25s à 47min30s)

Biophonies :

- Nappes de cigales (entre 6 kHz et 8,5 kHz) et de grenouilles ;
- Oiseaux et vols d'insectes ponctuels.

Géophonies :

- Cours d'eau proche.

Pas d'anthropophonies.

Séquence 27 (de 47min26s à 49min32s)

Biophonies :

- Nappe de cigales (entre 6 kHz et 8,5 kHz) ;
- Chant d'oiseau à 48min29s.

Géophonies :

- Cours d'eau très proche.

Pas d'anthropophonies.

Séquence 28 (de 49min28s à 50min29s)

Biophonies :

- Nappe de cigales (entre 6 kHz et 8,5 kHz) ;
- Cri de mammifère ;
- Mouvements dans les branches.

Pas d'anthropophonies ni de géophonies.

Séquence 29 (de 50min28s à 52min11s)

Biophonies :

- Nappe de cigales (entre 6,5 kHz et 8 kHz) ;
- Chants d'oiseaux ponctuels.

Géophonies :

- Gouttes d'eau sur les feuilles.

Pas d'anthropophonies.

Séquence 30 (de 52min08s à 53min26s)

Biophonies :

- Nappe de cigales (entre 5,5 kHz et 8,5 kHz) ;
- Chants d'oiseaux ponctuels ;

Géophonies :

- Petite pluie.

Pas d'anthropophonies.

Séquence 31 (de 53min22s à 53min51s)

Biophonies :

- Nappe de cigales (entre 5,5 kHz et 9 kHz) ;
- Chants d'oiseaux ponctuels ;
- Aboiement au loin qui se rapproche à partir de 53min23s.

Géophonies :

- Petite pluie ;
- Tonnerre qui gronde.

Pas d'anthropophonies.

Séquence 32 (de 53min48s à 56min12s)

Biophonies :

- Nappe de cigales (entre 5,5 kHz et 9 kHz) très faibles ;
- Chants d'oiseaux ponctuels.

Géophonies :

- Petite pluie qui s'intensifie à partir de 56min12s ;
- Cours d'eau ;
- Coup de tonnerre à 57min07s ;
- Tonnerre en fond.

Pas d'anthropophonies.

Séquence 33 (de 57min19s à 57min36s)

Géophonies :

- Pluie forte ;
- Tonnerre en fond.

Pas d'anthropophonies ni de biophonies.

Séquence 34 (de 57min35s à 59min59s)

Géophonies :

- Pluie plus forte que la séquence précédente ;
- Tonnerre en fond.

Pas d'anthropophonies ni de biophonies.

Séquence 35 (de 59min55s à 1h01min51s)

Biophonies :

- Nappe de cigales (entre 5,5 kHz et 12 kHz) ;
- Chants d'oiseaux ponctuels.

Géophonies :

- Cascade très proche.

Pas d'anthropophonies.

Séquence 36 (de 1h01min48s à 1h02min36s)

Biophonies :

- Nappe de cigales (entre 5,5 kHz et 12 kHz) ;
- Chants d'oiseaux et cris de grenouilles ponctuels.

Pas d'anthropophonies ni de géophonies.

Séquence 37 (de 1h02min31s à 1h04min59s)

Biophonies :

- Nappes de cigales (entre 5,5 kHz et 12 kHz), de grenouilles et d'oiseaux ;
- Huit vagues régulières de cigales proches.

Pas d'anthropophonies ni de géophonies.

Séquence 38 (de 1h02min31s à 1h04min59s)

Biophonies :

- Nappe de cigales (entre 3 kHz et 20 kHz) ;
- Grenouilles ponctuelles ;
- Oiseau proche à partir de 1h05min06s.

Pas d'anthropophonies ni de géophonies.

Séquence 39 (de 1h06min05s à 1h08min28s)

Biophonies :

- Nappes de cigales (entre 3 kHz et 20 kHz) et oiseaux ;
- Grenouilles ponctuelles et très faibles.

Géophonies :

- Pluie fine sur feuilles.

Pas d'anthropophonies ni de géophonies.

Séquence 40 (de 1h08min09s à 1h10min49s)

Biophonies :

- Nappes de cigales (entre 4 kHz et 20 kHz) et grenouilles ;
- Oiseaux ponctuels en fond.

Pas d'anthropophonies ni de géophonies.

Retour à la lecture

Retour à la table des matières

Annexe 2 : Transcription d'échanges de mail avec Francisco López

05/04/2021 à 17h22, à Francisco López

Hi Francisco,

No problem I perfectly understand your feelings regarding online meetings and stuff.

So, as I am analyzing La Selva, and composing a piece that is related, here are my questions :

- I have identified 40 different recordings in La Selva, why are there so many and what motivated their temporal placement ?
- What guides your choices in the different recordings you made at the editing stage ?
- About temporal transitions (for me it's the one from night to day), what is your approach to reflect it, or not, in your compositions ?
- In La Selva, the transitions between recordings are short in relation to the length of the piece, why this choice, as opposed to longer transitions which would seem more 'natural' at first sight ?
- When you make a piece like this, what are you trying to translate in terms of sound events ? Is it planned before the editing, as a kind of script, or not ?

07/04/2021 à 12h23, de Francisco López

Hi Hugo,

I composed "La Selva" 24 years ago... although very relevant for me at the time, I consider it to be an immature work ; especially compared with my current compositional work. Therefore, there are no specific or clear answers to those questions about specific decisions. Different projects and different times have led to diverse decisions for editing, selections, transitions, etc. At the time, the limitation of the standard CD length was a technical decisive factor.

Some of your questions, though, seem to imply the canonical field recording attempt at simulation / representation, which I have no interest in. My personal take on the work with environmental recordings is not aimed at representation -which I consider to be both obvious and irrelevant- but rather at ontological

penetration, a much more unusual but promising endeavor for me. I don't work with pre-existing "scripts" or structures but prefer to let the sonic materials to lead/suggest the way : what I call "sonogenic composition".

More on all this, and in more detail, in my essay "Sonic Creatures", which I hope will be of interest for you :

<http://www.franciscolopez.net/pdf/creatures.pdf>

05/05/2021 à 10h48, à Francisco López

Hello Francisco,

I apologise again for my clumsiness the other day, I hope you won't hold it against me.

I have recently had some feedback on the progress of my dissertation, and my supervisors have commented on my analysis of your piece. They told me that I was talking about these transitions, that I was "showing" them through sonograms, but they would like to hear them too.

So I would like to know if you would allow me to use short excerpts from La Selva to make people listen to these transitions. I will upload them in a private SoudCloud playlist, which would only be accessible via a QR code shown in the thesis. If you want I can tell you the exact moments I would like to use.

Thank you very much again for your time, I will confirm receipt of your reply this time.

05/05/2021 à 12h03, de Francisco López

Hi Hugo,

No hard feelings at all !;-)

I have no objection at all about sharing those fragments from "La Selva" the way you describe, you don't need to tell me which ones.

But I have to insist, and make it explicit, that I personally consider those specific transitions in this piece as irrelevant and immature. So while I of course appreciate your interest in my work, I'd consider the attention on / study of those transitions as frankly pointless.

I hope you won't take this the wrong way, I'm being honest and clear, for the sake of the potential interest of your work.

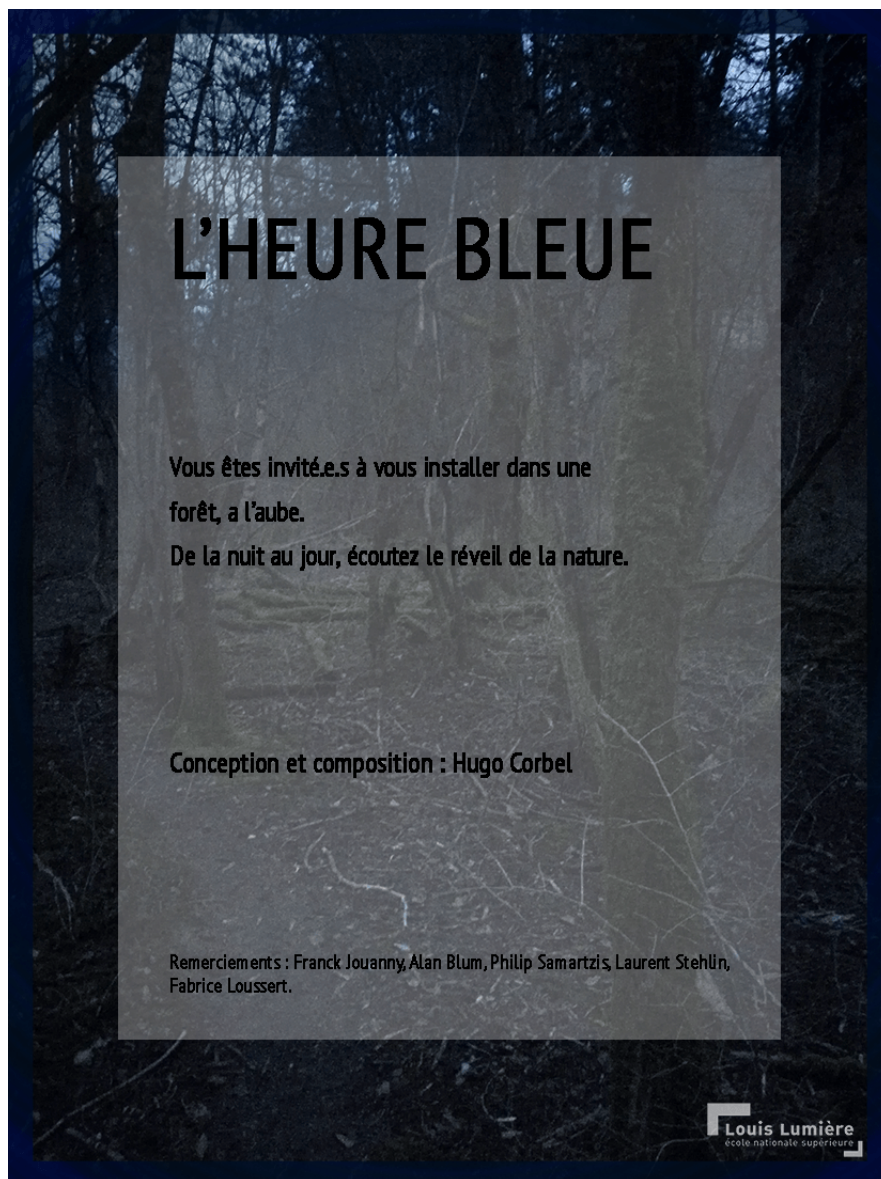
Retour à la table des matières

Annexe 3 : Affiche de l'installation



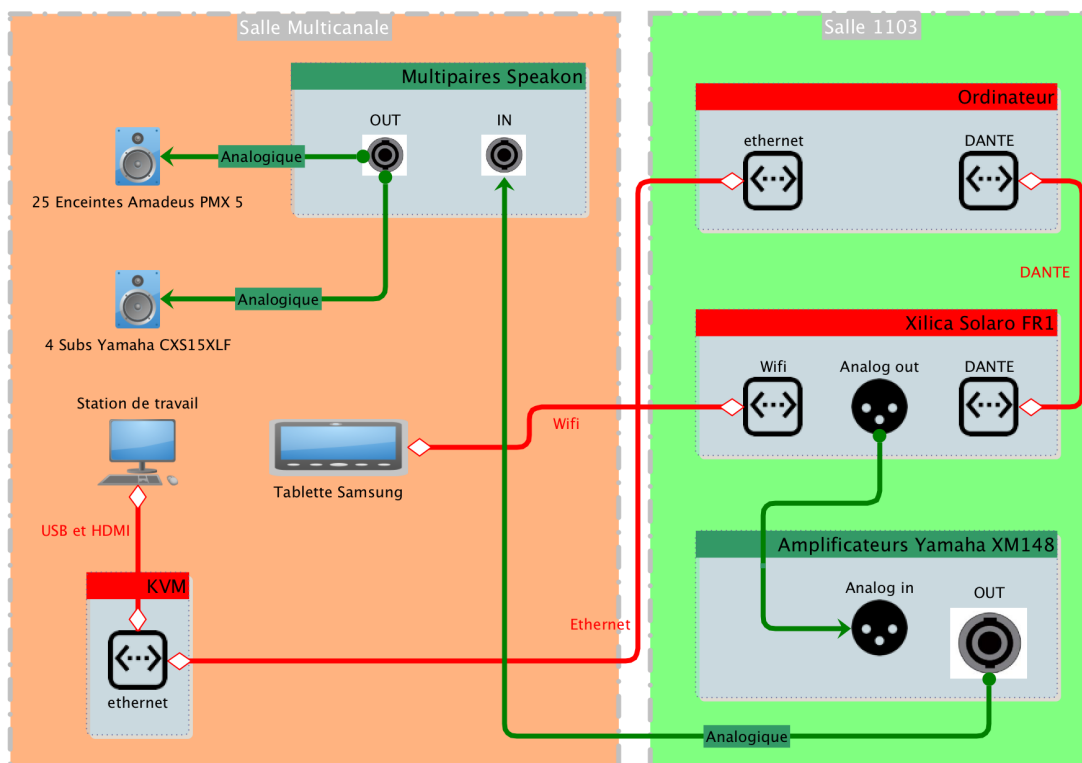
[Retour à la table des matières](#)

Annexe 4 : Présentation de l'installation



[Retour à la table des matières](#)

Annexe 5 : Synoptique de l'installation



[Retour à la lecture](#)

[Retour à la table des matières](#)

Annexe 6 : Questionnaire

L'HEURE BLEUE

Questionnaire

Âge :

Profession :

Avez-vous déjà entendu des pièces sonores dites immersives ?

Quelles sensations avez-vous ressenties durant l'écoute de cette pièce ?

Comment résumeriez-vous l'expérience en quelques mots-clés ?

Avez-vous perçu une évolution dans la pièce ? Si oui comment ?

Quel impact a joué l'absence de lumière sur votre perception de l'espace et du temps ?

Remarques :

Retour à la lecture

Retour à la table des matières

Table des figures

1	La réserve de La Selva et son emplacement au Costa Rica	13
a	Réserve de La Selva (source : https://cutt.ly/3bW9IZi)	13
b	Emplacement de la réserve au Costa Rica (Source : Google Map)	13
2	Timeline des séquences de <i>La Selva</i> et leur distribution en fonction de la journée	17
3	Sonagramme de la Nuit 1 (Canal Gauche)	18
4	Sonagramme de l'Aube (Canal Gauche)	19
5	Sonagramme du Matin (Canal Gauche)	20
6	Sonagramme de l'Après-Midi (Canal Gauche)	21
7	Sonagramme du Crépuscule (Canal Gauche)	22
8	Sonagramme de la Nuit 2 (Canal Gauche)	23
9	Exemples de transitions avec élément constant	28
a	Séquences 4 et 5	28
b	Séquences 12 et 13	28
10	Exemples de transitions par changement fréquentiel	29
a	Séquences 13 et 14	29
b	Séquences 15 et 16	29
11	Exemples de transitions par changement de niveau sonore global .	30
a	Séquences 3 et 4	30
b	Séquences 20 et 21	30

12	Exemples de transitions par changement d'intensité d'un élément géophonique	31
	a Séquences 11 et 12	31
	b Séquences 33 et 34	31
13	Exemples de transitions par déplacement d'une espèce animale . .	32
	a Séquences 16 et 17	32
	b Séquences 21 et 22	32
14	Représentation d'un enregistrement de 24h d'une campagne de Colombie-Britannique (SCHAFER 2010, p.329, modifié et traduit par l'auteur)	37
15	Séquences de spectrogrammes d'un chorus matinal à 4 h 00 (a), 4 h 22 (b) et 5 h 06 (c). (FARINA 2014, p.196, traduit par l'auteur)	38
16	Sonagramme d'une session d'enregistrement pour <i>L'Heure Bleue</i> .	39
17	Exemple de configurations surround pour le Home Cinema (Source : https://cutt.ly/QbW9m0q , modifié par l'auteur)	46
	a Configuration 5.1	46
	b Configuration 7.1	46
18	Schéma simplifié de la synthèse d'un front d'onde d'une source primaire (virtuelle) par une distribution de sources secondaire (enceintes) (DANIEL et al. 2003)	48
19	Fonctions de Bessel sphériques pour $m \in [0; 6]$	49
20	Harmoniques sphériques de l'ordre 0 à l'ordre 3 (ZOTTER et al. 2019)	50
21	Exemples de systèmes de prise de son ambisonique	53
	a Matrice tétraédrique de 4 microphones cardioïdes (ZOTTER et al. 2019)	53
	b Soundfield SPS 200	53
22	Harmoniques sphériques à l'ordre 1 (ZOTTER et al. 2019, modifié par l'auteur)	54
23	Système de prise de son en B-Format natif (ZOTTER et al. 2019)	54
24	Microphones ambisoniques d'ordre supérieur	55
	a Eigenmike em-32	55
	b Zylia ZM-1	55

25	Projection de 10 sources "warpées" de leur emplacement original (cercles gris clair) vers le pôle nord (cercles gris foncé) (FRANK et al. 2015)	56
26	Exemple de triangulation VBAP de AllRAD pour une disposition de haut-parleurs AURO 13.1 (carrés bleus), un haut-parleur de sol imaginaire (carré rouge) et 180 haut-parleurs virtuels en <i>t-design</i> (croix grises) (FRANK et al. 2015)	58
27	Exemples de <i>t-design</i> (ZOTTER et al. 2019)	59
28	Disposition des enceintes dans la salle multicanale de l'ENS Louis-Lumière	59
29	Salle multicanale de l'ENS Louis-Lumière	60
30	Vue de l'installation à la lumière	62
31	Horaires du jour et de la nuit sur la période du 4 au 7 mars 2021 (Source : https://cutt.ly/kbTyd0e , consulté le 3 mars 2021)	64
32	Emplacements des quatre sessions d'enregistrement	64
33	Senheiser Ambeo Vr-Mic (Source : https://cutt.ly/NbToJuZ)	65
34	Dispositif de prise de son	65
	a 7 mars 2021 à 8h30	65
	b 6 mars 2021 à 6h50	65
35	Session de montage sur Reaper	66
36	Session de mixage sur Reaper	68
37	Plug-ins utilisés pour la gestion de la localisation	70
	a IEM MultiEncoder	70
	b ATK FOA Transform RotateTiltTumble	70
	c ATK FOA Transform FocusPushPressZoom	70
38	Exemple de traitement de modification directionnelle de l'intensité sonore lors du chorus	71
39	Répartition des âges et métiers des auditeur.rice.s	72
40	Sensations et mots-clés recueillis dans le questionnaire	73
41	Type d'évolutions perçues	74
42	Impact de l'obscurité sur la perception	75

Symboles

2D Deux dimensions. 47, 48, 50, 57

3D Trois dimensions. 44, 47, 48, 50, 57

A

ACN Ambisonic Channel Number. 51, 66

AllRAD All-Round Ambisonic Decoding. 57, 58

anthropophonie Les anthropophonies sont les sons produit par les activités humaines, typiquement les mouvements d’engins artificiels comme les voitures, machines industrielles et cloches. FARINA 2014. 17, 81–91

B

bioacoustique La bioacoustique est une science qui combine la biologie et l’acoustique. Elle fait référence à l’étude de la production, de la dispersion et de la réception des sons chez les animaux (y compris les humains).(<http://www.bioacoustics.info>). 10

biophonie Les biophonies sont les sons émergents non humains produits par les organismes vivants dans un biome donné. FARINA 2014. 17, 81–91

E

EPAD Energy-Preserving Ambisonic Decoder. 57, 58

F

field recording "*Field recording*" est le terme utilisé pour un enregistrement audio produit en dehors d'un studio d'enregistrement. Le terme s'applique aux enregistrements de sons naturels et de sons produits par l'homme.. 10, 11, 14

G

géophonie Les géophonies sont représentées par tous les sons produits par des agents naturels non biologiques tels que les vents, les volcans, les vagues de la mer, l'eau courante, la pluie, les orages, la foudre, les avalanches, les tremblements de terre et les inondations et représentent le fond sonore avec lequel les autres sons peuvent se superposer, se mélanger ou se masquer. FARINA 2014. 17, 22, 27, 81–91

H

HOA High Order Ambisonic. 49, 51, 54–58, 67

HRTF Head-Related Transfer Function. 45

M

MMD Mode Matching Decoder. 57, 58

P

paysage sonore L'environnement des sons. Techniquement, toute partie de cet environnement pris comme champ d'étude. Le terme s'applique aussi bien à des environnements réels qu'à des constructions abstraites, tels que compositions musicales ou montages sur bande, en particulier lorsqu'ils sont considérés comme faisant partie du cadre de vie. SCHAFER 2010. 1, 2, 6–10, 16, 21, 24–26, 36, 40, 41, 79, 80

S

SAD Sampling Ambisonic Decoder. 57, 58

schizophonie Du grec *schizo*, "fendre" et *phône*, "son" [...] désigne la séparation entre un son original et sa reproduction électroacoustique. SCHAFER 2010. 11

SID Single Index Designation. 51, 66

Bibliographie

Livres

- BUCUR, V. (2006). *Urban Forest Acoustics*. Springer.
- FARINA, A. (2014). *Soundscape Ecology : Principles, Patterns, Methods and Applications*. Springer.
- KRAUSE, B. (2013). *Le Grand Orchestre Animal (The Great Animal Orchestra, 2012)*. Trad. par T. PIÉLAT. France : Flammarion.
- KRAUSE, B. (2016). *Chansons animales & cacophonie humaine, Manifeste pour la sauvegarde des paysages sonores naturels (Voices of the Wild. Animal Songs, Human Din and the Call to Save Natural Soundscapes, 2015)*. Trad. par A. PRAT-GIRAL. France : Acte Sud.
- LANDY, L. (2007). *Understanding the Art of Soud Organization*. The MIT Press.

- MOTTET, J. (2017). *La forêt sonore, de l'esthétique à l'écologie*. France : Champ Vallon.
- RUMSEY, F. (2001). *Spatial Audio*. Édition Focal Press, Collection Music Technology Series.
- SAMARTZIS, P. (2017a). *Antartica : An Absent Presence*. Australie : Thames & Hudson.
- SCHAEFFER, P. (1966). *Traité des objets musicaux*. Le Seuil.
- SCHAFER, R. M. (2010). *Le Paysage Sonore : le monde comme musique (The Tuning of the World, 1977)*. Trad. par S. GLEIZE. Wild Project.
- STOCKER, M. (2013). *Hear Where We Are*. Springer.
- VOEGELIN, S. (2010). *Listening To Noise And Silence*. continuum.
- ZOTTER, F. et M. FRANK (2019). *Ambisonics : A Practical 3D Audio Theory for Recording, Studio Production, Sound Reinforcement, and Virtual Reality*. Éditions Springer Open.

Articles

- BERNARD, M. H. (2016). « Field Recording et création ». In : *Musique et écologies du son. Propositions théoriques pour une écoute du monde*. Sous la dir. de M. SOLOMOS, R. BARBANTI, G. LOIZILLON, K. PAPARRIGOPOULOS et C. PARDO. France : L'Harmattan, p. 139-143.
- BURT, J. M. et S. L. VEHRENCAMP (2005). « Dawn chorus as an interactive communication network ». In : *Animal Communication Networks*. Sous la dir. de P. MCGREGOR. Royaume-Uni : Cambridge University Press, p. 320-343.

- DANIEL, J., R. NICOL et S. MOREAU (2003). « Further Investigations of High Order Ambisonics and Wavefield Synthesis for Holophonic Sound Imaging ». In : *Audio Engineering Society Convention 114*.
- DUHAUTPAS, F., A. FREYCHET et M. SOLOMOS (2015). « Beneath the Forest Floor de Hildegard Westerkamp. Analyse d'une composition à base de paysages sonores ». In : *Analyse Musicale* 76, p. 34-42.
- DUHAUTPAS, F. et M. SOLOMOS (2016). « Hildegard Westerkamp et l'écologie du son comme expérience ». In : *Musique et écologies du son. Propositions théoriques pour une écoute du monde*. Sous la dir. de M. SOLOMOS, R. BARBANTI, G. LOIZILLON, K. PAPARRIGOPOULOS et C. PARDO. France : L'Harmattan, p. 75-84.
- FRANK, M., F. ZOTTER et A. SONTACCHI (2015). « Producing 3D audio in ambisonics ». In : *Journal of the Audio Engineering Society* 6.3.
- GALLAGHER, M. (2015). « Field recording and the sounding of spaces ». In : *Environment and Planning D : Society and Space* 33.3, p. 560-576.
- GERZON, M. A. (1973). « Periphony : With-Height Sound Reproduction ». In : *J. Audio Eng. Soc* 21.
- GERZON, M. A. (1985). « Ambisonics in Multichannel Broadcasting and Video ». In : *J. Audio Eng. Soc* 33.
- HAMMER, Ø. et N. BARRETT (2001). « Techniques for studying the spatio-temporal distribution of animal vocalizations in tropical wet forest ». In : *Bioacoustics* 12.1, p. 21-35.
- KACELNIK, A. et J. R. KREBS (1982). « The Dawn Chorus in the Great Tit (*Parus major*) : Proximate and Ultimate Causes ». In : *Behaviour* 83.3/4, p. 287-309. ISSN : 00057959. URL : <http://www.jstor.org/stable/4534231>.
- KRONLACHNER, M. (2014). *Plug-in Suite for Mastering the Production and Playback in Surround Sound and Ambisonics*.
- KRONLACHNER, M., F. ZOTTER, M. FRANK et J.-W. CHOI (2014). « Efficient Phantom Source Widening and Diffuseness in Ambisonics ». In : Université Technique de Berlin, p. 69-74.
- LESCOP, L. (2012). « Dispositifs immersifs : la question de l'espace diégétique ». In : *Les paradoxes du seuil, Écriture du lieu et environnement (19e-21e siècle)*. Université de Louvain, Belgique.
- LESCOP, L. et J. ATHANAZE GILBERT (2016). « Ambiance et immersion : dispositions, dispositifs et récits ». In : *Ambiances, tomorrow. Proceedings of*

- 3rd International Congress on Ambiances*. Sous la dir. de N. RÉMY et N. TIXIER. T. vol. 1. Grèce : International Network Ambiances, p. 307-312.
- LÓPEZ, F. (1997). *Schizophonia vs. l'objet sonore : soundscapes and artistic freedom*.
- LÓPEZ, F. (1998a). *Environmental Sound Matter*.
- LÓPEZ, F. (2019). *Sonic Creatures*. URL : <http://www.franciscolopez.net/pdf/creatures.pdf>.
- MONACCHI, D. (2014). « "Fragments of Extinction" A Periphonic Audio-Video Concert Base on 3D Ambisonics Field Recordings of Primary Rainforest Ecosystems ». In : *EAA Joint Symposium on Auralization and Ambisonics 3.5*.
- NACHBAR, C., F. ZOTTER, E. DELEFLIE et A. SONTACCHI (2011). « Ambix - A Suggested Ambisonics Format ». In : *Ambisonics Symposium 2011*. Kentucky, États-Unis.
- PHILPOTT, C. et P. SAMARTZIS (2017). « At the End of Night : explorations of Antarctica and Space in the sound art of Philip Samartzis ». In : *The Polar Journal* 7.2, p. 336-350.
- SERGI, G. (2013). « Knocking at the door of cinematic artifice : DolbyAtmos, challenges and opportunities ». In : *The New Soundtrack* 3.2, p. 107-121.
- SILBERMAN, J. (1995). « Ambisonics : The Art of "Being There" ». In : *Nature Sounds*, p. 7-14. URL : <http://www.naturesounds.org/Newsletters/Win94Ambi1.html>.
- SOLOMOS, M. (2019). « A phenomenological experience of sound. Notes on Francisco López ». In : *Contemporary Music Review* 38.1-2, p. 94-106.
- STAICER, C. A., D. A. SPECTOR et A. G. HORN (1996). « The Dawn Chorus and Other Diel Patterns in Acoustic Signaling ». In : *Ecology and Evolution of Acoustic Communication in Birds*. Sous la dir. de D. E. KROODSMA et E. H. MILLER. Cornell University Press, p. 426-453.
- ZOTTER, F., H. POMBERGER et M. NOISTERNIG (2012). « Energy-Preserving Ambisonic Decoding ». In : *Acta Acustica united with Acustica* 98.1, p. 37-47.
- ZOTTER, F., M. FRANK et H. POMBERGER (2013). *Comparison of energy-preserving and all-round Ambisonic decoders*.

- FERRARI, L. (1967-1970). *Presque rien N°1 – le lever du jour au bord de la mer*. CD-Album.
- FORT, B. *L'Aube Perpétuelle*. Installation sonore.
- LA CASA, É. (2016). *Paris Quotidien*. CD-Album. Swarming. URL : <https://swarming.bandcamp.com/album/paris-quotidien>.
- LÓPEZ, F. (1995a). *Belle Confusion 966*. CD-Album. Trente Oiseaux. Allemagne.
- LÓPEZ, F. (1995b). *Warszawa Restaurant*. CD-Album. Trente Oiseaux. Allemagne.
- LÓPEZ, F. (1998b). *La Selva*. CD-Album. V2 Archief. Pays-Bas.
- LÓPEZ, F. (2013). *Untitled #308*. CD-Album. Very Quiet Records. Royaume-Uni.
- MONACCHI, D. *Fragments of Extinction*. Installation sonore.
- SAMARTZIS, P. (2017b). *Antartica : An Absent Presence*. CD-Album. Thames & Hudson. Australie.
- SAMARTZIS, P. (2019). *Boleskine*. CD-Album. Bogong Centre for Sound Culture. Australie. URL : <https://bogongsound.bandcamp.com/album/boleskine>.
- SAMARTZIS, P. (2020). *Time Without Depth*. URL : <https://legraindeschooses.org/view/fr/sommaires/sommaires-3.html>.
- WATSON, C. (2003). *Weather Report*. CD-Album. Touch. Royaume-Uni.
- WESTERKAMP, H. (1992). *Beneath the Forest Floor*. In *Transformations*. CD-Album. empreintes DIGITALes. Canada.

Sources Internet

- KRONLACHNER, M. (2015). *Suite de plugins ambiX*. URL : <http://www.mattiaskronlachner.com/?p=2015>.
- LÓPEZ, F. *Fiche technique*. URL : <http://www.franciscolopez.net/live.html>.
- LÓPEZ, F. *Site Officiel*. URL : <http://www.franciscolopez.net>.
- LÓPEZ, F. (1999). *Interview*. Revue et corrigé. France. URL : http://www.franciscolopez.net/int_revue.html.
- LÓPEZ, F. (2000). *Interview*. The Montreal Mirror. Canada. URL : http://www.franciscolopez.net/int_mm.html.
- LÓPEZ, F. (2003). *Interview*. Loop. Chili. URL : http://www.franciscolopez.net/int_loop.html.
- LÓPEZ, F. (2004). *Interview*. DB magazine. Australie. URL : http://www.franciscolopez.net/int_db.html.
- LÓPEZ, F. (2011). *Conférence*. Red Bull Music Academy. Espagne. URL : <http://www.redbullmusicacademy.com/lectures/francisco-lopez-techno-alyps-now>.
- LÓPEZ, F. (2015). *Expanded Listening : An Interview with Francisco López [interview]*. Sonic Field. URL : <http://sonicfield.org/expanded-listening-an-interview-with-francisco-lopez/>.
- MCCORMACK, L. et A. POLITIS (2007). *Suite de plugins SPARTA*. AALTO University. URL : http://research.spa.aalto.fi/projects/sparta_vsts/.

Suite de plugins Ambisonics Tool Kit (ATK) (2016). ATK Community. URL : <https://www.ambisonictoolkit.net/download/reaper/>.

Suite de plugins IEM (2017). Institute of Electronic Music et Acoustics. URL : <https://plugins.iem.at>.

Mémoires

CERLES, C. (2015). « Caractérisation objective et subjective d'une chaîne de traitement HOA ». Mém. de mast. ENS Louis-Lumière.

DANIEL, J. (2001). « Représentation de champs acoustiques, application à la transmission et à la reproduction de scènes sonores complexes dans un contexte multimédia ». Thèse de doct. Université Paris 6.

GASNIER, M. (2018). « L'expérience sensible du silence : création d'une installation sonore ». Mém. de mast. ENS Louis-Lumière.

LAMY, L. (2020). « SUBMERSION Explorer l'expérience de la noyade par l'installation sonore ». Mém. de mast. ENS Louis-Lumière.

PULKKI, V. (2001). « Spatial Sound Generation and Perception by Amplitude Panning Techniques ». Thèse de doct. Finlande : Sibelius Academy.

ZANNI, A. (2020). « De la relation entre Acoustique et Composition "Espaces d'errances" ». Mém. de mast. ENS Louis-Lumière.

