

Université de Montréal

**Interaction Humain - Ordinateur en contexte de
comprovisation multimédia**

par

Jullian Hoff

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de Maîtrise
en musique (M. Mus)
option composition

Août 2019

© Jullian Hoff, 2019

Résumé

Une mise en contexte présente l'évolution de la prise de décision du créateur dans des environnements où la technologie est sans cesse plus impliquée et autonome.

Un survol des techniques génératives, de ses origines en musique jusqu'aux arts numériques, est présenté.

Trois œuvres réalisées dans le cadre de ce projet de recherche-crédation sont ensuite analysées. Les outils et les techniques utilisés pour la réalisation de ces projets à dominante générative sont expliqués et commentés.

Verklärter Rohr fait l'objet d'une analyse plus poussée sur l'aspect comprovisationnel de mon travail. Le développement de mon langage audiovisuel tel qu'il se rapporte au concept de synchrèse sera aussi examiné.

L'analyse de *Machine In The Shell*, sert de terrain d'investigation pour expliciter des stratégies de spatialisation et de techniques d'écriture.

L'analyse de *Gu(I)t(A)rs* développe sur l'utilisation de diverses technologies dont le *Leap Motion*, la synthèse par modélisation physique et l'intelligence artificielle.

Mots-clés : Musique générative, Interaction humain-logiciel, Comprovisation, Post-humanisme, Non-anthropocentrisme

Abstract

Questions related to the evolution of creative decision-making are discussed, in relation to technology that is becoming more and more involved.

An overview of generative techniques, from its origins in music to contemporary digital arts, is then presented.

Then, three works produced as part of this research-creation project are analyzed. The different tools and techniques I used in making these works are explained and commented.

Verklärter Rohr is the subject of a more in-depth analysis. The improvisational angle of my work, as well as the development of my audiovisual language as it relates to the concept of synchresis will be discussed.

An analysis of *Machine In The Shell* explain the strategies of spatialization and writing techniques I used.

The analysis of *Gu(I)t(A)rs* expands on the use of various technologies including *Leap Motion*, physical modeling synthesis and artificial intelligence.

Keywords : Generative music, Human-software interaction, Improvisation, Posthumanism, Non-anthropocentrism

Table des matières

Résumé.....	i
Abstract.....	ii
Table des matières.....	iii
Liste des figures.....	v
Liste des sigles.....	vi
Remerciements.....	vii
Introduction.....	1
Contexte.....	1
Problématique et axes de recherche.....	3
Une vision non-anthropocentrique de la composition.....	4
Le développement d'outils originaux pour une musique hybride.....	5
La comprovisation comme forme d'expression privilégiant le dialogue, la spontanéité, l'immédiateté et les interactions humain - machine.....	6
CHAPITRE 1.....	8
Survol de la musique générative : idées et techniques.....	8
1.1 Systèmes génératifs.....	8
1.2 Panorama succinct des techniques génératives.....	12
1.2.1 Guido d'Arezzo : Micrologus de disciplina artis musicæ (1025-1026).....	12
1.2.2 Compositions isorythmiques.....	12
1.2.3 Aléatoire.....	13
1.2.4 Tables de probabilités.....	16
1.2.5 Chaînes de Markov.....	17
1.2.6 Grammaire générative.....	19
1.2.7 Utilisation de fractales.....	21
1.2.8 Réseaux de neurones artificiels.....	23
1.2.9 Algorithmes génétiques et automates cellulaires.....	24
CHAPITRE 2.....	26
Analyse de Verklärter Rohr.....	26
2.1 Genèse du projet et intentions de création.....	26
2.2 Zsa descriptors.....	28
2.3 PolWeiSky, synthétiseur visuel.....	33
2.4 Le langage audiovisuel de Verklärter Rohr.....	36
2.5 Agône, outil pour la musique générative.....	45
2.6 Les instruments virtuels.....	47
2.7 Partition graphique et comprovisation.....	49
2.8 Traitement en temps-réel.....	52
2.9 Aspect collaboratif.....	53

CHAPITRE 3	55
Analyse de Machine In The Shell	55
3.1 Genèse du projet et intentions de création	55
3.2 Synthèse sonore	57
3.3 Stratégies de spatialisation.....	59
3.4 Techniques d'écriture.....	60
CHAPITRE 4	63
Analyse de Gu(I)t(A)rs.....	63
4.1 Genèse du projet et motivation à écrire pour la guitare	63
4.2 Analyse de la section 1	64
4.3 Analyse des sections 2 & 4	67
4.4 Analyse de la section 3	68
4.4.1 Guitares virtuelles	69
4.4.2 Algorithmie musicale de Gu(I)t(A)rs.....	70
4.4.3 Leap Motion.....	71
4.4.4 Réseau de neurones artificiels	72
4.4.5 Critique de mon utilisation du réseau neuronal	76
4.5 Projet auxiliaire à Gu(I)t(A)rs : RobotGuitar	77
Conclusion.....	79
Références	i
Annexe 1. Partition de Verklärter Rohr	iv
Annexe 2. Analyse de niveau neutre et fonctionnelle de Machine in the Shell	xxii
Annexe 3. Partition des sections instrumentales de Gu(I)t(A)rs.....	xlv

Liste des figures

Figure 1 – Exemple d’implémentation musicale du principe d’autosimilarité appliqué aux rapports de durée.....	22
Figure 2 – Interface utilisateur créée pour travailler avec les ZSA descriptors	31
Figure 3 – Interface utilisateur de PolWeiSky.....	35
Figure 4 – Objet visuel de la première section de Verklärter Rohr	38
Figure 5 – Second objet visuel de Verklärter Rohr	39
Figure 6 – L’objet présenté en perspective	39
Figures 7 et 8 – L’objet contrastant de la section 6 de Verklärter Rohr	40
Figure 9 – À l’intérieur du tube.....	42
Figure 10 – La « fleur sonore » du mouvement Frissons & Tremblements.....	43
Figure 11 – L’objet qui conclut Verklärter Rohr	44
Figure 12 – Interface utilisateur d’Agône	45
Figure 13 – Une des mémoire d’Agône	46
Figure 14 – Un des générateurs de cellule rythmique d’Agône	47
Figure 15 – Un instrument virtuel dans Ableton Live. Ici, un échantillonneur utilisant des sons transformés de clarinette basse.	48
Figure 16 – Une partie du mapping entre les descripteurs audio et les instruments virtuels. Ici, le CC50 correspond à Flux, CC51 à Ampstats et CC52 à Rolloff.....	49
Figure 17 – Exemple de la section de la partition de Verklärter Rohr, hybride entre partition graphique, descriptive et prescriptive.....	50
Figure 18 – Exemple de notation graphique et traditionnelle n°1.....	51
Figure 19 – Exemple de notation graphique et traditionnelle n°2.....	52
Figure 20 – Schéma de principe du dispositif de Verklärter Rohr	52
Figure 21 – Le studio hexadécaphonique de la faculté de musique de l’UdeM	56
Figure 22 – Un synthétiseur FM octophonique dans Reaktor.....	58
Figure 23 – Un synthétiseur permettant la spatialisation octophonique des partiels dans Reaktor	58
Figure 24 – Interface utilisateur de SpatGRIS	60
Figure 25 – Écriture d’enveloppes d’objets sur des fichiers octophoniques dans Reaper	61
Figure 26 – Un extrait du montage dans Machine in the Shell	62
Figure 27 – L’instrument Tension réglé pour la guitare électrique virtuelle	69
Figure 28 – L’instrument Tension réglé pour la guitare classique virtuelle	69
Figure 29 – Une section de chaîne d’un rack dédié à l’algorithmie dans Ableton Live	71
Figure 30 – Le réseau de neurones artificiels après 3 phases d’apprentissage.....	75
Figure 31 – Vue schématique de Gu(I)t(A)rs et mapping partiel	76
Figure 32 et 33 – Vues du prototype de RobotGuitar.....	78

Liste des sigles

API : *Application Programming Interface*

DSP : *Digital signal processing*

EQ : *Equalizer*

FM : *Frequency modulation* (synthèse par)

GITS : *Ghost in the shell*

GPU : *Graphics processing unit*

IA : Intelligence artificielle

IPS : Image par seconde

LFO : *Low frequency oscillator*

MIDI : *Musical Instrument Digital Interface*

MITS : *Machine in the shell*

NASA : National Aeronautics and Space Administration

RIM : Réalisateur en informatique musicale

STAN : Station de travail audionumérique

TARSOM : Tableau récapitulatif du solfège des objets musicaux

Remerciements

Je tiens tout d’abord à remercier les deux artistes et professeurs, Jean Piché et Pierre Michaud, dont j’ai eu le privilège de recevoir la supervision. Je n’aurais pas pu espérer meilleurs guides.

Merci à ma sœur Barbara, à mon frère Anthony et à mes parents Michel et Suzanne pour leur soutien inconditionnel.

Merci à mon fidèle ami Christophe Pratiffi, c’est grâce à toi que je présente mon travail dans cet ouvrage.

Merci à Etienne Brassard-Ferron pour sa relecture irréprochable. Tu as tant à apporter aux autres, nous ne sommes pas suffisamment nombreux à te connaître.

Merci à Charlotte Layec pour avoir offert son immense talent afin de faire vivre ma musique.

Merci à Wei Lu et Ning Cheng pour toute la douceur et les rires qu’elles me donnent.

Merci à mes amis pour me sortir de la tâche trop souvent solitaire du compositeur., David, Cédric, Vincent, Lucas et *tutti quanti*.

Merci aux esprits créatifs, tout âge et fonction confondues, que j’ai croisé à la faculté de musique de l’Université de Montréal et qui ont nourri ma vision. Ce lieu est un terreau à esprit brillants.

Enfin, un immense merci au généreux Fonds de Recherche du Québec — Société et Culture, pour avoir financé ce projet de recherche-crédation, m’ayant permis de le mener à terme, d’explorer l’inconnu et de rêver au futur.

Introduction¹

Contexte

À l'ère du numérique, l'usage de l'informatique s'est immiscé dans presque toutes les étapes de création d'une œuvre musicale, depuis la conception jusqu'à la post-production. Selon l'approche et l'esthétique, cet outil peut avoir diverses fonctions. Il peut être utilisé comme stimulateur d'idées nouvelles, la technologie offrant une nouvelle appréhension du sonore. La musique spectrale s'envisage par le prisme du recours au spectrogramme, la musique techno grâce au séquenceur pas-à-pas, la musique *glitch* par la manipulation numérique d'échantillons. L'informatique peut également être employée pour seconder le compositeur lors de tâches répétitives, notamment grâce au traitement par lot et l'exécution d'algorithmes. Dans certains cas, l'outil peut tendre à remplacer l'intention créatrice humaine lorsque sont impliqués des systèmes autonomes, par exemple avec les réseaux de neurones artificiels.

Les diverses tentatives en musique générative pouvant gérer l'articulation du discours questionnent le rôle créatif de l'humain. Ces systèmes proposent des voies alternatives dans lesquelles le rôle créatif de l'humain n'est pas exclusif et est partagé avec des machines. En effet, les systèmes numériques ont le potentiel d'engendrer de façon plus ou moins autonome du matériau novateur. Il convient de se demander si la création originale, entendue comme la capacité de s'approprier et de reconfigurer des éléments connus dans une proposition originale, est réellement une caractéristique permettant de distinguer l'homme au sein de l'évolution. Faisant appel aux travaux de Wittgenstein, Horacio Vaggione avait-il raison d'affirmer que la singularité de la musique consiste à "*trouver des solutions à des problèmes non-identifiables*"? (Vaggione, H. 1996. p. 74).

¹ Le masculin est utilisé comme genre neutre dans l'intégralité du document.

Pour les musiques automatisées, la conception du système peut devenir la création elle-même. La résolution des “problèmes inexistantes” revient alors à les anticiper et à rendre le système robuste. Toutefois, cela ne suffit pas pour savoir si c’est le résultat musical qui est la proposition originale et l’œuvre à partager ou si c’est l’effort technologique qui est seul digne d’intérêt. Il est essentiel de développer de nouvelles interfaces, de nouveaux environnements logiciels, instruments et autres. C’est notamment grâce à cela que la musique continue de s’inscrire dans son époque et renouvelle son langage malgré le fait que cet art se pratique depuis au moins 35 000 ans². Cependant, le développement d’outils seuls ne garantit pas l’évolution d’une proposition artistique. Une proposition nouvelle peut d’ailleurs tout à fait naître d’un appareillage désuet.

La création ne consiste pas à uniquement recourir à une grammaire qui est toujours définie *a posteriori*. Elle cherche à poser les jalons d’un code nouveau (même s’il est impossible d’être original à chaque instant et que la création *ex-nihilo* n’existe pas). Or l’intelligence artificielle, bien qu’elle ait beaucoup progressé depuis les premiers travaux d’Alan Turing, ne peut faire autre chose que de se baser sur des modèles. En 1986, Le Moigne écrivait : ‘*la conception est antinomique de l’analyse*’ (Le Moigne J. L. 1986). De nos jours, l’idée que seul l’homme soit capable de raisonner, d’improviser, de s’adapter et d’inventer, est largement répandue parmi les scientifiques œuvrant dans le domaine de l’IA. Par exemple, pour les avions de ligne, les rares étapes qui ne sont pas encore totalement laissées au contrôle des machines sont les phases de décollage et d’atterrissage. Cela ne signifie pas que l’humain soit plus performant à interpréter les instruments de vol que l’ordinateur de bord. Toutefois, on considère qu’en cas de défaillance ou de situation critique, l’humain est encore plus à même de prendre des décisions d’urgence et de s’adapter.

² Le plus ancien instrument de musique connu à ce jour est une flûte datée de 35 000 ans au carbone 14. <https://www.hominides.com/html/dossiers/musique-prehistoire.php>

Si reléguer la production à des machines pour nous libérer du labeur du travail et utiliser leur puissance de calcul pour déployer notre plein potentiel intellectuel n'est pas une idée nouvelle, leur substituer notre faculté d'inventer suscite une certaine inquiétude. La menace de l'appauvrissement ontologique mérite d'être considérée dans toute science humaine ou sociale et autant en musique qu'en philosophie. En 2003, Hervé Fischer écrivait : *“L'humanité n'est pas une machine, même cybernétique et même superpuissante; ses peurs, son irrationalisme, son inachèvement sont inscrits profondément dans la conscience qu'elle a d'elle-même et de son destin”* (Fischer, H. 2003) Notre environnement se métamorphosant à toute allure par l'apport de technologies sans cesse plus intrusives et omniprésentes, le manifeste de Fischer demeure d'une actualité frappante.

L'ère du contrôle-machine laisse maintenant place à l'ère de la machine génétique. Celle-ci est remplie de promesses et les post-humanistes les plus enthousiastes comme Ray Kurzweil dont la pensée est à l'opposée de celle de Fischer nous assurent qu'elle permettra l'avènement d'une existence supérieure : le salut de l'humain par la machine. La bio-informatique n'est qu'un exemple de la fusion entre organique et numérique; considérant le rapide développement de l'internet des objets, on peut s'imaginer sans peine que cette fusion continuera de s'immiscer dans nos vies (Fukuyama, F. 2002). Que faisons-nous de ces nouvelles capacités? Comment la musique peut-elle exprimer cette hybridation humain-numérique? Comment ces nouveaux outils renouvellent-ils notre existence?

Problématique et axes de recherche

Considérant des œuvres à forte dominance numérique, régies par d'autres règles que celles héritées de notre tradition musicale et n'étant pas basées sur l'analyse d'un corpus existant, comment ces œuvres peuvent-elle nous ouvrir de nouvelles voies de création? Dans le cas d'une musique automatisée, utilisant des moyens tels que la synthèse sonore, des méthodes génératives et l'apprentissage automatique, peut-elle satisfaire nos critères

esthétiques bien que proposant des grammaires musicales parfois nouvelles et des timbres potentiellement inouïs? Sous un angle plus philosophique, substituer l'acte de choisir à des outils sans cesse plus performants et dont nous ne saisissons pas toujours le fonctionnement risque-t-il de nous destituer d'un des aspect de la nature humaine : sa capacité à inventer?

C'est sur la base de ces différentes questions qu'est né le présent projet de recherche-création. Il s'articule autour de trois axes principaux que l'on identifiera de la manière suivante :

Une vision non-anthropocentrique de la composition

La philosophie occidentale jusqu'à Heidegger a placé l'animal aristotélien de culture au sommet de la pyramide des êtres vivants. Cet anthropocentrisme a été promu par les religions monothéistes, lesquelles ont érigé l'Homme en bénéficiaire d'une nature conçue et créée pour lui. (Dion, M. 2004) À notre époque, l'urgence environnementale, de nouvelles métaphysiques (Harman, G. 2010), une ouverture à des idéologies ne plaçant pas l'humain au centre de tout et le potentiel computationnel de notre environnement informatisé nous suggèrent d'explorer notre rapport au monde sous un angle non-anthropocentrique. Je n'affirme pas que les pièces composées lors de ma maîtrise sont absolument non-anthropocentriques, l'humain y joue un rôle important. Toutefois j'ai tenté de conférer à la machine un rôle central. J'ai exploré à cette fin plusieurs stratégies, lesquelles seront expliquées.

Laurent Fichet, parlant de l'inclinaison par certains compositeurs, à recourir avec plus ou moins de succès artistique aux théories scientifiques, affirme :

Il y a deux manières de théoriser la musique... La première est fondée sur l'observation des faits naturels et tente de montrer en quoi la musique en dérive. La seconde s'attache à la

compréhension du fonctionnement interne de la musique, cherchant plus à établir des lois qu'à en montrer la logique. (Fichet, L. 1996).

L'observation des faits, c'est par exemple le *Traité de l'harmonie réduite à ses principes naturels* de Rameau. L'approche pragmatique et scientifique peut amener à définir des principes et des règles qui ne reposent plus sur l'intuition et aident à ouvrir de nouvelles voies d'exploration en musique. Aujourd'hui, le recours à l'informatique permet de développer des systèmes et de s'émanciper d'un regard naturellement anthropocentrique sur les phénomènes. Ce regard basé sur l'expérience humaine est biaisé par notre perception.

La seconde manière dont parle Fichet sous-entend une musique innée dont les compositeurs auraient la tâche de rendre intelligible. Certaines techniques actuelles, comme l'apprentissage automatique (*machine learning*) ou les réseaux de neurones nous permettent de dépasser cette conception "innée" et nous aident à définir les codes d'un langage hybride, pour un monde en métamorphose numérique. C'est ce qu'entreprend le projet Magenta mené présentement par Google (Magenta, 2018).

Le développement d'outils originaux pour une musique hybride

Dans une perspective cartésienne, seul l'Homme peut inventer. L'outil n'est qu'un moyen pour matérialiser sa vision. Je pense que cette idée est devenue caduque. Un bref survol sur le développement des musiques électroniques, électroacoustiques et de l'art numérique suffit à démontrer à quel point l'outil conditionne ce que l'on crée. Il altère notre regard sur le monde et modèle notre existence entière. L'hybride humain-machine que nous devenons génère une création au sens et aux codes nouveaux.

Afin d'explorer des stratégies d'interaction humain-machine pour les œuvres que j'ai réalisées au cours de ma maîtrise, j'ai souhaité développer des outils uniques. Une des

inspiration pour le développement de ces outils a été la théorie de la cybernétique³ et comment elle a transfiguré notre environnement et notre rapport à celui-ci. Selon cette science des analogies maîtrisées entre humains et machines, l'action humaine provoque une rétroaction du système gouverné qui à son tour incite à une réaction du gouvernant, et ainsi de suite. Il en résulte une boucle d'interactions. Le couple initial, commande / opération (humain ordonnant / machine exécutant), laisse ainsi place au dialogue. Les décisions humaines sont altérées par les retours fournis par la machine. L'humain évolue à son contact qui a ainsi dépassé le stade du simple outil pour prendre une part active dans le processus créatif.

La comprovisation comme forme d'expression privilégiant le dialogue, la spontanéité, l'immédiateté et les interactions humain - machine

Je préfère le terme de comprovisation à celui d'improvisation dirigée. J'utilise ce terme dans le sens global d'interaction humain-machine dans un environnement composé et non dans le seul sens d'improvisation dirigée à l'attention de l'instrumentiste uniquement. Mon acception du terme rejoint la définition donnée par Richard Dudas dans "*Comprovisation : the various facets of composed improvisation within interactive performance systems*", article dans lequel Dudas distingue deux espèces intrinsèques de relations composition-improvisation lorsqu'il s'agit de *computer music* : « (1) Composing an instrument that can be improvised upon in performance⁴, and (2) improvise with tools in order to create pre-compositional material⁵ » (Dudas, R. 2010, pp. 29-31)

³ La cybernétique consiste principalement en l'étude des interactions entre des systèmes gouvernants et gouvernés. Ces principes fondamentaux ont été exposés par Norbert Wiener en 1948 dans : « *Cybernetics or control and communication in the animal and the machine* » aux éditions MIT press. Cet ouvrage fondateur a été traduit en français pour la première fois en 2014 aux éditions du Seuil sous le titre : « *Cybernétique, information et régulation dans le vivant et la machine* ».

⁴ Dans le cas de *Verklärter Rohr*, cet instrument est l'agrégat de *Agône*, *Zsa audio descriptors*, *PolWeiSky* et *Ableton live* et de leur interaction avec la clarinettiste.

⁵ Correspond dans ma pièce *Machine in the Shell* à la phase préliminaire de génération de matériaux sonores au moyen de chaînes de traitement.

Acceptant cela, la comprovisation doit être distinguée de l'improvisation dirigée. Dans la seconde, des mécanismes sont utilisés pour influencer l'improvisation (*Cobra* de John Zorn en est un exemple). La comprovisation implique que du matériel pré-composé soit librement manipulé au moment du concert (*In C* de Terry Riley est une expression simple mais puissante de cette idée). Dans mon travail, bien que j'aie eu recours à la partition graphique ainsi qu'à d'autres stratégies, lorsque je parle de matériel pré-composé, je pense essentiellement à du matériel numérique (instruments virtuels, *patch*, algorithmes) composé en studio et utilisé dans un contexte d'improvisation sur scène.

Ayant recours à différents outils et méthodologies, il a été possible de composer des environnements de performance qui ont été par la suite utilisés en temps-réel par le ou les improvisateur(s). Dans ces environnements, l'humain n'est pas toujours le principal centre d'attention. J'ai assigné à la machine (par des sons et des images) un rôle plus central. À travers les trois œuvres comportant une part d'improvisation et d'aléatoire, j'ai voulu explorer la capacité d'adaptation à l'imprévisible, aussi bien des humains que des systèmes employés.

CHAPITRE 1

Survol de la musique générative : idées et techniques

1.1 Systèmes génératifs

Un système génératif est un mécanisme, un dispositif ou un ensemble de règles, dont la conception et/ou l'implantation, constituent l'acte de création. Le système, en fonction de ses principes génératifs, va engendrer un contenu plus ou moins prévisible et reproductible.

[...] un nouveau type d'œuvre est devenu possible, qui utilise les capacités structurantes en temps-réel de l'informatique. Une œuvre n'est pas livrée dans un moule permanent mais se dévoile dans un sous-ensemble musical d'une interprétation à l'autre. [...] Si l'ensemble des règles régissant la génération de l'œuvre est assez souple, on pourra obtenir d'un seul ensemble, non pas une œuvre fixe et descriptible mais une classe d'œuvre. [...] L'œuvre [...] [est] une description formalisée de son mécanisme générateur. (Piché, J. 1993)

Ainsi, l'artiste imagine, conceptualise et réalise un système de comportements et de conditions, mais seulement partiellement ce qui en résulte. Toutefois, le système est basé sur des matériaux bruts, (fichiers sonores, moteur de synthèse, instructions d'exécution, modèle de sonification, etc.) qui eux, sont de son fait.

[...] it's possible to think of a system or a set of rules which once set in motion will create music for you. Now the wonderful thing about that is that it starts to create music that you've never heard before. This is an important point I think. If you move away from the idea of the composer as someone who creates a complete image and then steps back from it, there's a different way of composing. It's putting in motion something and letting it make the thing for you. (Eno, B. 1996)

Les processus génératifs peuvent établir des liens directement compréhensibles à l'écoute. Dans *It's gonna rain* (Reich, S. 1965) le processus génératif est simple, unique, didactique et le rapport au son produit est évident à l'écoute, même sans connaissances

musicales. Pour quiconque peut comprendre ce qui se produit, et bien que le principe soit simple, l'effet lui, est très complexe.

Des boucles de voix identiques sont jouées sur deux magnétophones dont la vitesse de lecture diffère très légèrement. Produisant d'abord un son monophonique, le déphasage graduel va d'abord élargir l'image stéréo et produira ensuite un écho de plus en plus long. Il créera par la suite des articulations rythmiques complexes, mettant l'emphase sur différentes cellules et inflexions de la voix selon l'évolution du déphasage et le point d'attention subjectif de l'auditeur. Enfin, par le parcours inverse du déphasage graduel, la pièce finira par revenir à la fusion et l'unicité, au fur et à mesure que les deux magnétophones se synchronisent à nouveau.

I'm interested in perceptible processes. I want to be able to ear the process happening throughout the sounding music. [...] What I'm interested in is a compositional process and a sounding music that are one and the same thing. (Reich, S. 1968)

The piece is very, very interesting because it's tremendously simple. It's a piece of music that anybody could have made. But the results, sonically, are very complex. What happens when you listen to that piece is that your listening brain becomes habituated in the same way that your eye does. If you stare at something for a very long time your eye very quickly cancels the common information, stops seeing it, and only notices the differences. This is what happens with that piece of music.. (Eno, B. 1996)

Je prends comme exemple d'un système génératif *It's gonna rain*, car la pièce est à la fois un jalon important de cette tendance compositionnelle et un système très simple à comprendre. Dans cette pièce, le système est électromécanique (deux magnétophones) mais les dispositifs génératifs peuvent cependant prendre de multiples formes, allant d'instructions consignées sur papier (motets isorythmiques, *In C* de Riley) jusqu'aux agents artificiels qui sont communément utilisés aujourd'hui.

In C, 1964, de Terry Riley est une forme intéressante de musique générative. Dans cette pièce, le compositeur propose 53 motifs de quelques notes à peine. Beaucoup de prises de décision sont laissées au bon vouloir des musiciens et la prescription est minimale : pas d'instrumentation, pas de tempo. Riley donne toutefois quelques consignes :

- ▶ Chaque musicien peut répéter autant de fois qu'il le souhaite chaque motif
- ▶ Chaque membre doit écouter le son de l'ensemble et accorder sa dynamique
- ▶ Le déphasage des motifs entre les instrumentistes est encouragé

Il s'agit d'une musique remarquablement économique dans les moyens mis en œuvre par le compositeur. Toutefois, le potentiel génératif est tel qu'il n'y en aura probablement jamais deux performances identiques, bien que la pièce soit identifiable, peu importe l'ensemble qui la joue.

Discreet Music, 1975, de Brian Eno est une autre pierre angulaire de la musique générative ainsi que de la musique *ambient*. Dans les notes manuscrites accompagnant l'enregistrement, Eno explique le processus génératif⁶. Il a utilisé des lignes à retard de longue durée. Deux motifs mélodiques de différentes longueurs jouées par un synthétiseur EMS Synthi AKS sont envoyées vers l'unité d'écho⁷. Occasionnellement, le timbre du synthétiseur est altéré à l'aide d'un égaliseur graphique. La sortie de l'écho est enregistrée sur un magnétophone et réinjectée dans le circuit pour créer des superpositions.

⁶ Explication des processus génératifs utilisé sur l'album *Discreet Music* par Brian Eno : http://music.hyperreal.org/artists/brian_eno/discreet-txt.html

⁷ Il semblerait que la première conception d'un tel système soit le fait de l'ingénieur qui travaillait pour Terry Riley, lors de son séjour à Paris en 1963 pour la création de *Music for the gift*. <http://www.loopers-delight.com/history/Loophist.html> Brian Eno et Robert Fripp ont ensuite utilisé un système similaire pour leur collaboration sur *The heavenly music corporation* (1973).

Un autre processus génératif, plus complexe et faisant l'emploi d'une distribution probabiliste (loi de Gauss), se retrouve dans une œuvre célèbre de Iannis Xenakis, *Pithoprakta* (1955-56), aux mesures 52-59⁸. Il utilisa cette distribution pour réaliser la partition graphique de ce passage sur du papier millimétré⁹. Le résultat est un nuage de *glissandi en pizzicato*.

*Jupiter*¹⁰ de Philippe Manoury, composée en 1987 est un exemple issu du répertoire d'une pièce de musique mixte faisant l'emploi d'agents artificiels réagissant au jeu d'un instrumentiste en temps-réel à une époque où cela était encore précurseur. Aujourd'hui, la démocratisation des techniques génératives est telle, que l'on retrouve de nombreuses applications dédiées à la musique créée par des agents artificiels, comme *Wotja* d'Intermorphic Generative System¹¹ qui est proposée au grand public.

Des systèmes complexes, avec des relations entre processus génératifs et effets sonores produits qui sont nombreux et pas forcément explicites, peuvent rendre le système incompréhensible pour le public. J'ai utilisé de tels systèmes dans *Gu(I)t(A)rs*, où un réseau de neurones artificiels et des algorithmes génératifs contrôlés par les gestes de mes mains créait de la musique. Pour le public ne connaissant pas la part du système dans l'effet obtenu, la relation humain-machine est un mystère. Toutefois, ces relations complexes et opaques sont intéressantes pour le créateur, puisqu'un tel système peut générer du contenu de façon quasi autonome. *Verklärter Rohr*, même si elle repose sur un système relativement complexe, parvient à expliciter les processus génératifs grâce à la vidéo.

⁸ *Introduction à la musique de Iannis Xenakis*, Makis Solomos, chapitre 1 section 4 <http://www.univ-montp3.fr/~solomos/Chapitr1.html>

⁹ Partition graphique des mesures 52-59 de *Pithoprakta* de Iannis Xenakis. https://www.researchgate.net/figure/Graphical-compositional-sketch-for-Pithoprakta-1956-mm-52-59-from-Xenakis_fig3_317790128

¹⁰ Note de programme de l'œuvre sur le site de l'IRCAM : <http://brahms.ircam.fr/works/work/10482/>

¹¹ Site du développeur : <https://intermorphic.com/wotja/index.html>

1.2 Panorama succinct des techniques génératives

From the discovery almost 3000 years ago, of the direct relationship between the pitch of a note and the length of a string or pipe, to the latest computer models of human musical cognition and intelligence, musicians have always looked to science to provide new and challenging paradigms to study and compose music. (Miranda, E. R. 2007)

1.2.1 Guido d'Arezzo : *Micrologus de disciplina artis musicæ* (1025-1026)

Guido d'Arezzo était un moine bénédictin. Il rationalisa l'idée de hauteur en musique et travailla à l'élaboration d'un système permettant leur notation (Beaugé, P. 2004). À son époque, la musique faisait partie du *quadrivium* et était enseignée comme science avec l'arithmétique, l'astronomie et la géométrie et ce, après l'apprentissage du *trivium* (grammaire, rhétorique et dialectique). Dans l'enseignement monastique, la musique entretient des liens forts avec les mathématiques, les nombres étant d'ailleurs sacrés pour les religieux, car ils sont l'œuvre de Dieu : les nombres, le cosmos et la musique forment un noyau indissociable.

Dans son traité de musique, Guido d'Arezzo présente un processus de transformation d'un texte en musique. Dans son modèle, les voyelles sont attribuées aux hauteurs de note et les consonnes aux durées (Magnusson, T. 2011). Cela constitue un algorithme de création musicale dont la trace écrite remonte à un millénaire.

1.2.2 Compositions isorythmiques

Dans la continuité des motets de l'Ars Nova codifiés par Philippe de Vitry (1291-1361), Guillaume de Machaut (1300-1377) développe des motets à 4 voix en y ajoutant une voix de contreténor. Ses motets dits isorythmiques représentent une des premières formes de composition algorithmique. Dans ce système on dispose d'une série de motifs rythmiques d'une part (nommée *talea*) et d'une série de hauteurs d'autre part (nommée *color*). La rencontre du *talea* et du *color* constitue un processus génératif.

Cette idée est encore utilisée en synthèse modulaire où des hauteurs sont gérées par des séquenceurs pas-à-pas de différentes longueurs et dont le rythme est dicté par un module tiers. Cette séparation rythme / hauteur impliquant des séries de longueurs différentes permet de générer beaucoup de motifs par principe de déphasage. Imaginons une série de 5 notes en guise de mélodie, une autre série de 6 notes comme contre-chant et une série de 7 valeurs en guise de rythme. Le Plus Petit Commun Multiple de ces 3 valeurs est 210. Cela signifie que la séquence rythmique sera jouée 30 fois, la mélodie 42 fois et le contre-chant 35 fois avant que chaque premier élément de ces 3 listes ne se rencontrent à nouveau après le lancement de la séquence.

Un tel algorithme, aussi simple soit-il conceptuellement, permet la génération de matériel relativement complexe par rapport aux conditions de départ.

1.2.3 Aléatoire

Un événement est possible ou impossible : il n'y a pas de degrés — tandis qu'il y a des degrés de l'aléatoire. Entre le possible et l'impossible, il y a tous les degrés de l'aléatoire. (Conche, M. 2012)

L'aléatoire a plusieurs significations selon les utilisateurs et les acceptions; chance, indéterminisme, hasard, imprévisibilité. Pour Marcel Conche, l'aléatoire concerne des événements à venir, dont l'issue est incertaine, mais ils ne sont pas forcément des événements fortuits. Selon lui, si l'on jette un dé et que le 6 sort, il s'agit d'aléatoire et ce résultat sera l'effet du hasard. Alors que lors d'une discussion/conversation, ce qui en sortira est aléatoire, mais pas fortuit, car il y aura échange de points de vue à l'issue duquel une décision se fera — si elle se fait. (Conche, M. 2012)

L'utilisation de l'aléatoire en composition a permis de s'émanciper de processus déterministes, prévisibles, rigides, voire usés (tonalité, sérialisme, polymodalité, etc.).

Diverses méthodes de génération aléatoire confèrent à des œuvres une forme imprévisible visant à surprendre le compositeur, le musicien, ou l'auditeur. Elles permettent de renouveler l'intérêt à chaque exécution et de découvrir de nouveaux possibles sonores.

L'acceptation du hasard est une attitude et une ouverture d'esprit reliée à une forme de lâcher prise. John Cage a grandement contribué à introduire le hasard dans la composition musicale¹². Il confesse que, en recourant au hasard, les réponses aux problèmes compositionnels ne sont pas résolus en tenant compte de ses goûts, mais par la chance. Cela ouvre la voie à des possibilités non-considérées jusqu'alors. Cage dit que les réponses déterminées par la chance ont ouvert son esprit au monde alentour. (Cage, J. 1985)

L'aléatoire est parfois utilisé en informatique pour simuler une forme d'intelligence. Mais l'aléatoire n'est pas facilement définissable. Comme l'explique Cope, il est souvent confondu avec des systèmes complexes, des manques apparents de motifs identifiables ou des valeurs ne suivant aucune logique apparente :

The actual position, speed and direction of a single atom in a ocean wave, for example, result from such incredibly complex competing and reinforcing processes that calculating these parameters seems impossible. [...] Therefore, according to Newton at least, none of what I have described here (complexity, lack of motives and irrelevance) represent randomness; it is

¹² John Cage a exploré l'indéterminisme de diverses façons dans son répertoire. Dans son « Concerto pour piano et Orchestre » de 1958 par exemple, le temps d'exécution est défini par le chef d'orchestre laissant ainsi place à la spontanéité de l'instant et rompant avec une exécution « automatisée ». d'une œuvre. Dans ses nombreuses créations pour piano préparé, le caractère intrinsèquement unique de la préparation du piano (dont on ne peut pas prévoir avec exactitude le résultat sonore) va permettre à des sonorités imprévisibles d'être entendues. Dans *4'33"*, c'est les bruits de l'environnement et du public qui constituent les sons de l'œuvre ainsi sans cesse renouvelée à chaque exécution.

just that we perceive these various actions as random because we cannot, will not or do not want to actually follow the deterministic processes that produced them. (Cope, D. 2005)

Les fonctions aléatoires dans les environnements de programmation tels que *Max* sont en fait pseudo-aléatoires. Elles reposent sur des algorithmes déterministes basés sur une valeur racine. De cette valeur racine sont produites des valeurs qui, bien que ne respectant aucune logique ni ne présentant de motifs évidents en apparence, suivent en fait une série intrinsèquement déterminée.

Ces fonctions pseudo-aléatoires permettent à la machine de générer des valeurs de façon autonome, en laissant au compositeur la possibilité de contraindre les valeurs en sortie :

- ▶ Limiter l'ambitus¹³
- ▶ Quantifier (limiter aux nombres pairs ou contraindre à une série par exemple)
- ▶ Aiguiller la sortie en fonction de l'entrée
- ▶ Exclure des valeurs, les trier etc.

En orientant l'aléatoire — en le restreignant — on influe sur les degrés d'aléatoire dont parlait Conche. Contraindre l'aléatoire, c'est sculpter le résultat, c'est lui donner une forme. La musique s'exprime et revêt du sens à travers son articulation, des fonctions de rhétoriques, une organisation sonore... Peu importe qu'il s'agisse d'une musique regorgeante d'activité ou d'un paysage sonore extatique, elle nous touche car on peut percevoir une intention et qu'on lui accorde du sens, en fonction de sa propre perception. Une musique qui ne présente aucune forme et ne semble aller dans aucune direction, c'est à dire une musique purement aléatoire, perdrait rapidement de son intérêt. Il est donc nécessaire de contraindre l'aléatoire. L'ordinateur devient donc un générateur de données utiles à la production sonore, respectant des processus *a priori* non-déterministes laissant croire à une forme de spontanéité. Néanmoins, le résultat démontre souvent une cohérence assurée par la contrainte.

¹³ L'ambitus est le registre entre la valeur minimale et maximale. En musique, cela se réfère à l'étendue d'une mélodie ou des notes jouables par un instrument.

1.2.4 Tables de probabilités

Avec l'aléatoire, statistiquement, chaque valeur a autant de chance qu'une autre d'être sélectionnée. Les probabilités quant à elles nous permettent de définir ou de prévoir, quel est le pourcentage de chances d'obtenir tel ou tel résultat.

Les probabilités s'inscrivent dans une longue tradition mathématique qui prendrait racine dans les écrits de Domitius Ulpianus qui, vers 220 après J-C établit une table des valeurs d'annuités pour les assurances vie (Samueli, J. J. 2009 p.7). Galilée (Samuelli, J. J. 2009. p. 14), en 1620, sous la commande du grand-duc-de-Toscane, rédigeait une étude sur le jeu de hasard nécessitant trois dés à 6 faces. L'objectif était de déterminer quelles étaient les probabilités d'obtenir chacune des 216 combinaisons possibles.

Précédant la loi des grands nombres, le développement de la statistique, de la mécanique quantique et de la théorie du chaos, la probabilité a cherché à maîtriser le hasard, postulant que tout se calcule et donc se prévoit: Pour Courcier, ce calcul délicat s'étend aux questions les plus importantes de la vie, qui ne sont en effet, pour la plupart, que des problèmes de probabilité. (Courcier, H. 1812)

En musique, *Illiad Suite*, composée en 1957 par les compositeurs américains Lejaren Hiller et Leonard Issacson, est considérée comme la première partition générée par un ordinateur et dont la création reposait notamment sur l'emploi de tables de probabilités.

Dans le logiciel *Max*, les tables de probabilités telles que proposées par l'objet *itable* sont un moyen pratique d'obtenir aléatoirement différentes sorties en fonction de plusieurs propositions ayant chacune un poids respectif. Ainsi, dans une structure de données à deux dimensions (une table x, y) l'axe des ordonnées représente la probabilité de chaque valeur en

abscisse. Une utilisation courante est par exemple d'attribuer une hauteur de note en abscisse, ou d'y associer un rythme ou une durée.

Cela permet d'obtenir une complexité combinatoire conséquente tout en laissant soin à l'algorithme de générer le contenu. À la manière des approches aléatoires, le poids attribué à chaque valeur laisse au compositeur la possibilité d'avantager certaines combinaisons et d'influer sur les formes possibles, en favorisant la répétition de valeurs ou de motifs.

1.2.5 Chaînes de Markov

Les chaînes de Markov permettent de baser les décisions du système selon les choix passés en fonction de l'ordre de la chaîne. Ainsi, une chaîne de Markov d'ordre zéro donnera des résultats aléatoires et consiste en un processus stochastique. Une chaîne de premier ordre donnera un résultat basé sur le choix précédent alors qu'une chaîne d'ordre cinq donnera un résultat basé sur les 5 choix précédents, etc. Ce système est utilisé pour réaliser des programmes basés sur des règles de type *if, then, else* : si le choix précédent est x , alors y , sinon z ¹⁴.

Afin de permettre de multiples possibilités, même avec une chaîne de Markov de premier ordre, une chaîne est souvent couplée à un système de probabilités. Ainsi, si le choix précédent est, disons A , alors, il y a par exemple 50% de chances de choisir B , 25% de choisir C et 25% de choisir A encore.

Pour permettre des résultats plus complexes et par conséquent, plus intéressants, il faut considérer des chaînes d'ordre supérieur. Ainsi, imaginons une chaîne de second ordre

¹⁴ Dans cet article tiré de son blogue, Philippe Manoury donne des explications détaillées de son utilisation des chaînes de Markov illustrées d'exemples <http://www.philippemanoury.com/?p=5685>

produisant une mélodie. Si la moyenne des deux intervalles précédents est inférieure à une quinte, alors on produit soit une sixte ou une septième. À l'inverse, si la moyenne des deux précédents intervalles est égale ou supérieure à une quinte, on produit une seconde ou une tierce.

Les chaînes de Markov, lorsque couplées à des fonctions d'analyse et des tables de probabilités, peuvent permettre de mimer le style d'un compositeur. Cela se fait en spécifiant que, dans un contexte donné (par exemple sur tel degré, dans telle tonalité), tels sont les pourcentages de probabilité que soient choisis chaque chroma entre autres paramètres. Cela permet en retour la création d'un agent musical artificiel.

Le compositeur Philippe Manoury a notamment utilisé les chaînes de Markov dans sa pièce *Le temps, mode d'emploi* (2014), pour deux pianos, quatre pianos virtuels et dispositif de synthèse spatialisé. Dans cette œuvre, et dans la continuité de son travail sur *Pluton* (1988) et *Echo-Daimonon* (2012), il recourt à des chaînes de Markov afin d'apporter de l'indéterminisme à sa création et permettre « *de créer de la musique qui se compose en temps réel*¹⁵. » L'électronique génère un contrepoint différent à chaque performance qui va surprendre les instrumentistes. Les chaînes de Markov agissent comme des mémoires à court terme, plus ou moins longues selon leur ordre et elles sont couplées à des tables de probabilités. Le résultat est imprévisible car il existe plusieurs choix possibles. Toutefois, les différentes combinatoires sont connues. Les pianistes doivent composer avec un contrepoint électronique qui se renouvelle en permanence : « *Ils sont dans la situation d'un promeneur surpris par un orage : s'il sait que la foudre va tomber, il ne peut prévoir ni où ni quand.*¹⁶. » Les pianistes connaissent à peu près le comportement du programme, mais doivent réagir à un discours musical dont ils découvrent le déroulement dans l'instant.

¹⁵ Tiré d'une entrevue ligne https://www.youtube.com/watch?v=vr53ljHv1_U

¹⁶ Extrait de la note de programme accompagnant l'œuvre https://www.college-de-france.fr/media/philippe-manoury/UPL4077148916849075994_prog_manoury_12_06_HD.pdf

1.2.6 Grammaire générative

Ces méthodes s'inscrivent dans la lignée de deux courants de pensée majeurs : la grammaire générative et transformationnelle, développée dans les années 50 par le linguiste américain Noam Chomsky (Chomsky, N. 1965) et les *L-Systems*, développés par le botaniste Aristid Lindenmayer. Le compositeur Philippe Manoury s'est inspiré des *L-Systems* pour rédiger ses Grammaires Musicales Génératives¹⁷.

Dans la grammaire générative chomskyenne, le locuteur-auditeur idéal peut formuler et comprendre un nombre infini de phrases. Cette grammaire tente de comprendre les processus cognitifs innés qui permettent à ce locuteur-auditeur d'avoir ce potentiel à comprendre des phrases qu'il n'a jamais produites.

La hiérarchie de Chomsky, tend à classifier les grammaires en différentes catégories :

- ▶ Type 0 : grammaires générales
- ▶ Type 1 : grammaires contextuelles
- ▶ Type 2 : grammaires algébriques
- ▶ Type 3 : grammaires régulières

Dans une grammaire de type 3, dite linéaire, on part d'un symbole initial qui peut mener soit à un symbole terminal et mettre fin à la séquence, soit à un symbole non-terminal et donner une valeur contenue par l'ensemble de son vocable, selon les règles énoncées¹⁸. Cette grammaire est à la base de nombreux langages informatiques ou d'automates dits finis.

¹⁷ On peut retrouver l'utilisation de grammaires génératives notamment dans *Cells* de Hanspeter Kyburz <https://www.youtube.com/watch?v=YXWVWrmlCtk> ainsi que dans *Icons and Artifice* de Michael Norris <http://www.michaelnorris.info/works/works/chamberworks/iconsandartifice>

¹⁸ Le compositeur néo-zélandais Michael Norris propose un outil en ligne pour expérimenter avec une implémentation des grammaires génératives : <http://www.michaelnorris.info/theory/lssystemgenerator>

Une grammaire de type 0 peut correspondre à celle d'une langue naturelle. Ces grammaires n'ont pas de restriction quant à leurs règles et peuvent s'appliquer à un vocabulaire potentiellement infini. Cela correspond également à une machine de Turing, objet mathématique à la base de la théorie de l'informatique, où un ruban infini, pouvant aller dans les deux directions est capable d'exprimer une infinité d'état.

En musique, les grammaires génératives définissent un ensemble de règles qui vont générer une séquence d'événements ou d'instructions. Au même titre que les langages et les automates, la richesse du résultat produit dépendra du type de grammaire et de la complexité de leurs règles.

Dans *The algorithmic beauty of plants* (Lindenmayer, A. Prusinkiewicz, P. 1990) les auteurs décrivent des algorithmes permettant d'analyser et de recréer les mécanismes de croissance observés dans la nature.

Un peu à la manière des grammaires régulières de type 3 de Chomsky, l'énumération d'une suite de règles permet à l'algorithme de générer une séquence. Dans un environnement contextualisé, c'est-à-dire un environnement où les règles ne sont pas les mêmes en fonction du contexte, les *L-systèmes* gagnent en complexité, à la manière des grammaires hiérarchiquement supérieures dans le modèle de Chomsky.

On peut ainsi définir des grammaires qui seront appliquées aux traditionnelles hauteurs et durées, mais aussi aux modes de jeu, aux dynamiques, ou au déploiement formel des idées musicales.

Une des différences fondamentales entre les grammaires génératives et les systèmes linéaires comme les chaînes de Markov est que les premières accordent une importance à la structure globale et à la forme alors que les secondes n'en tiennent pas compte, à moins de considérer des chaînes de Markov d'ordre très élevé.

1.2.7 Utilisation de fractales

Une figure fractale est un objet mathématique dans lequel une formule récursive est appliquée. Ces figures présentent des formes invariantes et répétitives avec changement d'échelle. L'ensemble de Mandelbrot en est une implémentation bien connue¹⁹.

Dans une fractale, un motif au niveau local se retrouve dans la macro-forme. Ainsi, selon ce principe d'autosimilarité, on retrouve des ressemblances de l'objet principal à différentes échelles. C'est ainsi que lorsque animées, les fractales sont souvent présentées en grossissant ou en rapetissant progressivement l'objet initial²⁰.

On peut constater de nombreuses formes fractales dans la Nature, notamment parmi les végétaux. Dans *The algorithmic beauty of plants*²¹, Prusinkiewicz et Lindenmayer explorent les algorithmes de développement des plantes et leur principe d'auto-similarité. Les travaux de ces chercheurs ont donné naissance aux L-systèmes, une suite d'algorithmes modélisant la croissance des plantes. Leurs travaux ont inspiré des compositeurs dont Philippe Manoury²².

¹⁹ Cet outil en ligne permet d'expérimenter avec l'ensemble de Mandelbrot et constater l'apparition progressive de détails récursifs <http://math.hws.edu/eck/js/mandelbrot/MB.html>

²⁰ Sur la page Wikipédia consacrée à l'ensemble de Mandelbrot on trouve un zoom commenté ou le rapport de grossissement entre la première et la dernière image est approximativement de 60 milliards. https://fr.wikipedia.org/wiki/Ensemble_de_Mandelbrot

²¹ Prusinkiewicz, P., Lindenmayer, A., Hanan, J. S. *The algorithmic beauty of plants*, éd. Springer-Verlag, New York, 1990.

²² Philippe Manoury, [conférence en ligne](#), parlant notamment de son utilisation des fractales dans "Passacaille pour Tokyo".

En musique, l'utilisation de fractales n'est pas nécessairement aussi saisissante que dans les arts graphiques. Pour cause, la musique est un art du temps. Alors que l'autosimilarité dans une image est explicite, les similarités entre la macro et micro forme en musique font nécessairement appel à la mémoire et se remarquent sur la durée²³.

Le principe d'autosimilarité peut être appliqué à différents paramètres musicaux comme le rythme, les hauteurs ou la dynamique. Un exemple simple d'application de ce principe en écriture musicale est présenté en Figure 1. Il s'agit de commencer dans une cellule rythmique, en multipliant les durées par 2. Puis, afin de révéler toujours plus de détails dans la cellule initiale sans cesse dédoublée, on peut réintroduire la cellule initiale, jouée par un autre instrument. Appliqué à un ensemble de percussions, un "grossissement" par 3 d'une cellule quelconque donne :

The musical score consists of four staves, each representing a different percussion instrument. The time signature changes from 2/4 to 4/4 in the second measure and to 2/2 in the third measure. The patterns of notes and rests across the measures demonstrate the principle of self-similarity through doubling of durations.

Figure 1 – Exemple d'implémentation musicale du principe d'autosimilarité appliqué aux rapports de durée

Porté à d'autres paramètres musicaux comme les nuances ou l'instrumentation et développé sur la macro-forme, une interprétation des fractales peut ainsi permettre d'imaginer un grand nombre d'algorithmes génératifs.

²³ Cette étude de musique montre une implémentation du principe d'autosimilarité appliqué aux hauteurs. <https://www.youtube.com/watch?v=JbzEb0E6ZHc>

1.2.8 Réseaux de neurones artificiels

Les réseaux de neurones artificiels s'inspirent du système neuronal des êtres vivants. On base leur conception sur des méthodes statistiques. Les travaux fondateurs ont été effectués par les neurologues Warren McCulloch et Walter Pitts lorsqu'ils ont modélisé le "neurone formel", version simplifiée d'un neurone biologique (McCulloch, W. Pitts, W. 1968).

Les réseaux de neurones prennent des informations en entrée, cherchent à les classer, puis donnent un résultat en sortie. Afin de mimer la plasticité cérébrale de leurs modèles biologiques, les réseaux de neurones artificiels sont entraînés lors d'une phase d'apprentissage.

Plusieurs modèles de réseaux de neurones artificiels sont exploités par la communauté scientifique, parmi lesquels : *Adaptive Resonance Theory*, *Fuzzy clustering*, *multilayer perceptron*, *self organised map*, etc.

Ces modèles d'intelligence cherchent à reconnaître des formes, des motifs, des répétitions. Ils opèrent une classification visant à ordonner l'information entrante.

Dans ma dernière création de maîtrise, "*Gu(I)t(A)rs*", j'utilise un réseau de neurones artificiel basé sur le modèle des cartes auto-adaptatives (*Self-Organised Map*). Ce modèle cherche à étudier la répartition des données dans un espace de grande dimension. Il est inspiré par la biologie et l'étude du cortex où des stimuli de même nature excitent une même région. L'objectif est de discrétiser un espace : chaque point (neurone) se spécialise dans la représentation d'un type de donnée. La carte opère une quantification vectorielle de l'espace de données à cartographier. Dans "*Gu(I)t(A)rs*", une liste de descripteurs audio issus de l'analyse du signal audio d'une improvisation entre deux guitaristes est utilisée pour instruire

le réseau. En sortie, je parcours le réseau (ici, un réseau de 1024 neurones, soit une grille à deux dimensions de 32 x 32), pour envoyer les informations classées et stockées par le réseau à des synthétiseurs. Ces derniers utilisent la modélisation physique pour jouer des sons de guitares modulés par l'intelligence artificielle. Les notes, quant à elles, sont jouées par des algorithmes génératifs réagissant aux gestes de l'interprète captés par une caméra infrarouge (*Leap Motion*).

1.2.9 Algorithmes génétiques et automates cellulaires

Algorithms are recipes, sets of instructions for accomplishing a goal. An algorithm typically represents the automation of all part of a process. Importantly, there is nothing inherently inhuman about algorithms. To understand this, one has only to remember that DNA — the genetic basis of life — is an algorithm. Algorithms simply make tasks easier, often, more bearable. If we had to repeatedly step through the processes of, for example, breathing, making our hearts beat, or blinking our eyes (all algorithmic processes) we would have no time to think about or do anything else. (Cope, D. 2005. p.59)

Les algorithmes génétiques sont une famille d'algorithmes issus de la recherche en biologie et en génétique. Ils utilisent la notion de sélection naturelle, c'est à dire que, tout comme en génétique, les cellules les plus nécessaires à la survie de l'espèce sont conservées. Cette famille d'algorithmes est donc évolutionniste et est utilisée à des fins d'optimisation.

Les automates cellulaires ressemblent aux algorithmes génétiques en cela qu'ils considèrent la notion de survie et de compétition des cellules, mais en différent car ils n'intègrent pas de notion de génétique (génotype et phénotype). Le "Jeu de la vie" imaginé par John Horton Conway en 1970 est l'exemple le plus connu d'automate cellulaire²⁴. Dans une grille à deux dimensions, chaque case est une cellule pouvant être occupée ou vide. On donne une configuration de départ en décidant quelles cellules sont remplies. Ensuite, un ensemble

²⁴ Le plugiciel "Automaton" du développeur Audio Damage repose sur cet automate cellulaire pour engager ou désengager un ensemble de traitements audio numériques. [Automaton](#) (site consulté de 25 juin 2018)

de règles simples s'appliquent, transformant la configuration de la grille de départ. Ces règles sont les suivantes:

- ▶ Si une cellule a exactement trois voisines vivantes, elle est vivante à l'étape suivante
- ▶ Si une cellule a exactement deux voisines vivantes, elle reste dans son état actuel à l'étape suivante
- ▶ Si une cellule a strictement moins de deux ou strictement plus de trois voisines vivantes, elle est morte à l'étape suivante.

CHAPITRE 2

Analyse de *Verklärter Rohr*

Musique mixte pour clarinette basse (Charlotte Layec) et dispositif audiovisuel génératif d'une durée d'approximativement 23 minutes. L'œuvre emploie principalement des *patch Max* développés spécifiquement pour elle. Je recours également aux descripteurs audio *ZSA descriptors* développés pour *Max* par Emmanuel Jourdan et Mikhail Malt ainsi qu'à *Ableton Live 9.6*.

Verklärter Rohr est une pièce dont l'électronique est principalement en temps-réel. Les instruments électroniques sont joués par des algorithmes qui réagissent au jeu de l'instrumentiste et des tables de probabilités. La vidéo est générée intégralement par la capture en temps-réel du signal de la clarinette basse et module en fonction des informations fournies par les descripteurs audio. Enfin, les traitements appliqués à la clarinette sont mixés par le *Réalisateur en Informatique Musicale* durant la performance. Le musicien n'a aucune autre tâche que celle de jouer pour agir sur l'électronique. La majorité des processus qu'implique l'œuvre sont automatisés.

2.1 Genèse du projet et intentions de création

Verklärter Rohr en Allemand peut se traduire par “le tube transfiguré”. Il s'agit tout d'abord d'un clin d'œil à *Verklärte Nacht* (la nuit transfigurée), d'Arnold Schoenberg, une œuvre qui m'a beaucoup marquée par son langage harmonique. Ensuite, ce titre synthétise très bien le potentiel de la clarinette basse à transformer les éléments sonores qu'elle produit. En effet, lors de mon travail d'étude préliminaire de l'instrument, j'étais stupéfait par la grande variété de sonorités qu'il peut produire. Plus encore, j'étais captivé par la capacité de Charlotte Layec à passer d'un mode de jeu à un autre de façon très progressive et continue. Cela m'a

immédiatement évoqué des techniques d'interpolation et de *morphing* qui guident et nourrissent l'œuvre. Enfin, le titre suggère diverses fantasmagories du tube qui ont déterminé la réalisation visuelle du projet.

Verklärter Rohr fut ma première œuvre de maîtrise. J'ai choisi de créer une pièce impliquant seulement un instrumentiste afin de pouvoir porter mon attention sur des éléments de langage humain-machine au sein d'un terrain d'expérimentations relativement restreint, en limitant le nombre d'intervenants et donc les échanges possibles. Cette relative simplicité rend le dialogue clair, aussi bien pour la musicienne et moi-même que pour le public.

Puisqu'une de mes intentions était d'explorer des composants de langage, je me suis inspiré de quelques éléments de rhétorique pour voir s'ils pouvaient me permettre de créer des relations sensées entre l'instrumentiste humain et l'artefact numérique²⁵. J'ai imaginé comment quelques-uns de ces éléments pouvaient être traduits en processus compositionnels et en algorithmes.

Parmi ces processus, j'ai par exemple utilisé la paronomase. Cela consiste en un rapprochement de mots dont le son est à peu près semblable (« Tu parles, Charles »). Une utilisation de la paronomase en musique peut être de créer une séquence de sons de clarinette, réunis selon un ensemble de critères typo-morphologiques, ce qui pourrait se traduire comme suit :

²⁵ L'utilisation d'éléments de rhétorique pour imaginer des processus compositionnels n'a ici rien de systématique. Je ne cherche pas à proposer un modèle, il s'agit simplement d'une inspiration. En guise d'éléments systémiques, j'utilise par contre — inconsciemment, car en partie digérés et intégrés à mon langage compositionnel — les fonctions de rhétorique proposées par Stéphane Roy dans son analyse fonctionnelle (il y distingue des éléments de rhétorique relationnelle, comme par exemple thème et variation, ainsi que des éléments de rupture rhétorique, comme la parenthèse).

- ▶ Grain rugueux, registre grave, masse tonique, intensité *mf*
- ou*
- ▶ Grain lisse, registre moyen, masse cannelée inharmonique, intensité *mp*

De là, une banque d'objets sonores transformés et composés sont classés selon ces mêmes critères puis placés dans un échantillonneur. En réponse à une analyse du signal de la clarinette en temps-réel, un objet sonore correspondant aux critères détectés est déclenché pour l'accompagner.

Comme autre processus utilisé, il y a l'oxymore (antonymie, alliance de mots) qui consiste à rapprocher deux termes dont les significations paraissent se contredire. En effet, l'oxymore permet de juxtaposer des sons contraires, si l'on considère les critères typologiques du son comme étant sémantiques. Le processus algorithmique permet de juxtaposer des sons « inverses » ayant des qualités typomorphologiques opposées²⁶.

Cette nécessité de catégoriser le son produit par la clarinette en temps-réel afin de faire réagir l'artefact numérique m'a amené à utiliser des descripteurs audio qui sont un des piliers de ce dialogue.

2.2 Zsa descriptors

Emmanuel Jourdan et Mikhail Malt ont mis à disposition, sous forme de bibliothèque d'objets externes pour *Max (package)*, un ensemble de descripteurs audio nommés *Zsa*. La bibliothèque est constituée d'une panoplie d'outils travaillant dans le domaine fréquentiel et visant à caractériser certaines composantes d'un signal sonore. La recherche de Jourdan et

²⁶ En se basant sur le Tableau Récapitulatif du Solfège des Objets Musicaux (TARSOM) de Pierre Schaeffer (Schaeffer, P. 1966). Par exemple, l'opposé d'un objet sonore de masse tonique, à l'attaque nulle et au grain fin pourrait être un objet sonore de masse bruiteuse, à l'attaque abrupte et au grain rugueux.

Malt est basée sur le travail qu'a mené Geoffroy Peeters et ses partenaires dans le cadre du projet *Cuidado-IST* mené à l'IRCAM entre 2001 et 2003.

Dans *A large set of audio features for sound description (similarities and classification)* (Peeters, G. 2004), Peeters explique l'implémentation d'une cinquantaine de descripteurs. Cependant, son travail visait l'indexation automatisée par des intelligences artificielles de contenu sonore. Mais si l'on considère leur utilité du point de vue du compositeur, est-ce que tous ces descripteurs sont signifiants? Dans une conférence donnée par Philippe Manoury (*Descripteurs audio : un enjeu majeur pour la composition en temps-réel*, IRCAM, 2012), le compositeur, pionnier dans leur utilisation en composition, questionne cela :

What I expect from audio descriptors? I'm looking for a strong communication between instruments and computers [...] currently they lack of a good representation [...] I can not use them [...] if I do not have that musical connection between what the instrumentist is playing [and what is received from the descriptors] [...] I'm not looking for numbers, I'm looking for musical representations. (Manoury, P. 2012)

La collection de descripteurs proposés par la collection des *Zsa* présente l'avantage d'avoir à l'esprit l'artiste comme utilisateur cible et les auteurs ont déjà sélectionnés 18 descripteurs qu'ils jugent plus pertinents que d'autres. Cependant, cela reste beaucoup de paramètres à prendre en compte. Mon premier travail avec ces outils a été de les mettre à l'épreuve afin de décider s'ils pouvaient apporter une information signifiante et perceptible sur le son ou non.

Empiriquement, j'ai testé chacun d'eux avec une banque de sons-types de la clarinette basse que j'avais édités. Un atout majeur des descripteurs proposés par Jourdan et Malt est la qualité de la visualisation de l'information fournie. Ainsi, mon paramètre arbitraire de sélection était simple : "Est-ce que la relation entre ce que j'entends et ce que je vois est

évidente ou est-ce juste une suite de valeurs que je ne suis pas capable d'associer à une caractéristique sonore?".

Cette unique question basée sur ma perception m'a permis de sélectionner les descripteurs suivants, lesquels sont aujourd'hui des composants réguliers de mon processus compositionnel :

- ▶ *Flux* : variance d'amplitude
- ▶ *Ampstats* : amplitude instantanée, minimum, maximum et moyenne
- ▶ *Rolloff* : fréquence en dessous de laquelle 95% de l'énergie du signal se trouve
- ▶ *Centroid* : centre de gravité spectral
- ▶ *Spread* : étendue spectrale
- ▶ *Bark* : énergie instantanée dans chacune des 24 bandes de l'échelle psychoacoustique de Bark
 - ▶ *Fund* : fréquence fondamentale
 - ▶ *Filterpeaks* : x premiers pics d'amplitude

En plus de cette liste de descripteurs, j'utilise régulièrement l'objet externe pour *Max* : *Bonk~* de Miller Puckette, pour la détection d'attaque.

Tel que le mentionne Philippe Manoury dans la conférence citée plus haut, les descripteurs ont souvent un comportement "chaotique", en cela que les valeurs qu'ils rapportent contiennent beaucoup de bruit et sont en perpétuel mouvement. Aussi, et cela est essentiel, une bonne interface doit permettre de les rendre utiles comme outils musicaux pour le compositeur. Avec cela en tête et comme le montre la Figure 2, j'ai réuni ces différents descripteurs dans une même abstraction *Max* en leur ajoutant les fonctionnalités suivantes :

- ▶ Des filtres à Réponse Impulsionnelle Finie de différents ordres pour lisser les flux de données reçus
- ▶ Une interface utilisateur permettant de recentrer l'analyse sur la partie du signal souhaitée
- ▶ Possibilité de *mapping* MIDI vers des contrôleurs virtuels et outils de mise à l'échelle
- ▶ Filtrage et compression du signal audio analysé
- ▶ Mise en mémoire des paramètres par scène et rappel de scène
- ▶ Interpolation des scènes



Figure 2 – Interface utilisateur créée pour travailler avec les ZSA descripteurs

Dans *Verklärter Rohr*, les descripteurs audio sont utilisés de deux manières : d'une part, afin de contrôler le timbre des instruments virtuels et d'autre part, afin de moduler différents paramètres du synthétiseur visuel *PolWeiSky*. Ainsi, l'instrumentiste a tout autant un contrôle sur ce qui est diffusé par les hauts-parleurs que ce qui est projeté à l'écran.

L'acquisition directe du geste musical, par l'utilisation de capteurs (électromyographie, accéléromètre et autres), a l'avantage de rendre tangible pour le public ce contrôle de l'humain sur la machine (à condition que le dispositif soit visible). Il donne également parfois des

instruments très esthétiques, comme les *prosthetic instruments* développés au *Input Devices and Music Interaction Laboratories* à l'université McGill²⁷. Cependant, je préfère néanmoins l'acquisition indirecte du geste musical par l'utilisation de descripteurs audio pour de multiples raisons. Cette technologie n'est pas intrusive pour le musicien. Un microphone suffit²⁸, nul besoin de fixer des gyroscopes, micro-contrôleurs ou autre. De plus, les descripteurs audio sont intéressants selon moi car ils décrivent le cœur de ce qui m'intéresse : le son, et non les gestes menant à leur production. Enfin, et c'est certainement le point capital, ils m'ont permis de travailler de très longues heures sur la façon dont je souhaitais utiliser ces informations. En me basant sur des enregistrements de la clarinette, j'ai pu travailler de façon autonome. Ne pas être dépendant de la présence de l'interprète était un atout car je n'aurais pas pu raisonnablement la solliciter tout le temps qu'il m'a fallu pour élaborer un système satisfaisant musicalement.

Toutefois, ce travail avec les descripteurs ne s'est pas fait sans difficultés. Parmi elles était les multiples conditions changeantes que nous avons rencontrées. Plusieurs microphones ont été utilisés selon différentes dispositions, dans des pièces à l'acoustique variée et avec une température de l'air jamais identique. Nous avons utilisés plusieurs projecteurs et écrans, divers modèles d'enceintes, etc. L'effet obtenu pendant les phases de travail préparatoire en studio, en utilisant des fichiers sonores, et les diverses répétitions donnait souvent des résultats différents et exigeait sans cesse des ajustements. Bien que le caractère temps-réel de la pièce et la quantité de variables engagées fassent en sorte qu'aucune représentation ne soit tout à fait identique à une autre, je souhaitais que l'effet de surprise soit contraint et balisé dans un terrain connu et aux résultats maîtrisés. Les détails sont sans cesse différents mais la forme reste similaire. C'est au fur et à mesure des itérations de la pièce que nous avons obtenus, avec

²⁷ www.idmil.org (site consulté en juillet 2018)

²⁸ Un microphone peut toutefois être intrusif pour un musicien. Une fixation dans l'ouïe d'un violon peut étouffer la résonance de la table d'harmonie, un micro sur un pied peut obliger un musicien à adapter sa position ou ses mouvements etc.

Charlotte Layec, clarinettiste, une certaine stabilité du système et la sensibilité de réponse souhaitée.

2.3 PolWeiSky, synthétiseur visuel

Mes travaux précédents en vidéo utilisaient des matériaux pré-rendus avec *After Effects* et séquencés en direct dans *Resolume* par des algorithmes tournants sous *Max*. Pour *Verklärter Rohr*, j'ai souhaité me libérer de ce processus de création en deux temps qui consiste à d'abord fabriquer des images dans un environnement pour ensuite les composer et les séquencer en utilisant d'autres outils. Ce processus est laborieux et ne permet pas un travail sur la matière visuelle suffisamment malléable. Surtout, cette méthode de travail est très éloignée de l'approche typique de la musique concrète à laquelle je suis habitué et qui correspond à ma sensibilité : celle qui consiste à poser un geste, constater son effet et agir en conséquence dans une boucle d'interaction constante entre la matière et la perception de celle-ci.

Je souhaitais travailler avec davantage de spontanéité et rechercher des relations son-image en temps-réel, en étant attentif aux deux médiums et à leurs interconnexions, dans le même temps de travail et en utilisant un environnement unifié. Cela m'a amené à créer *PolWeiSky*, un synthétiseur visuel réalisé sous *Max* et qui utilise les bibliothèques *Jitter* et *OpenGL*. Le programme est basé sur un algorithme de l'artiste visuel japonaise Masato Tsutsui²⁹.

Verklärter Rohr propose des fantasmagories de la clarinette basse; du tube plus exactement. La vidéo est le canal privilégié de la représentation de ces relations. La pièce est divisée en 23 sections et 22 d'entre elles comportent de la vidéo. Chaque section explore une

²⁹ <https://vimeo.com/masato221> (site consulté le 15 juillet 2018)

imagerie différente de l'instrument mais la cohérence est maintenue entre toutes par cette idée persistante du cylindre.

Mon souhait était d'interpoler en permanence entre les différentes sections afin de ne pas faire ressentir les passages de l'une à l'autre et de renforcer cette idée de transfiguration perpétuelle qui est l'idée génératrice de l'œuvre. Malheureusement, lorsque j'interpole les paramètres de *PolWeiSky*, le taux d'images par seconde (ips) chute à une fréquence entre 5 et 10 ips, alors que celui-ci tourne raisonnablement à 40 ou même 50 ips selon le nombre de polygones à afficher lorsqu'il n'interpole pas³⁰. En dessous de 30 ips, les ralentissements sont nuisibles à la fluidité des mouvements de l'animation. En dessous de 10 ips, l'effet de saccade est très prononcé³¹. J'adapte présentement *PolWeiSky* à l'environnement de *Touch Designer* (dérivé de Houdini, moteur 3D très performant utilisé dans l'industrie du *Computer graphics*) qui est un outil plus optimisé pour le travail sur le *Graphic Processor Unit* et avec lequel j'espère dépasser les limites que j'ai atteintes avec *Max 7*.

L'image est donc le fruit du son de la clarinette et cela, par plusieurs leviers. Tout d'abord, au sein de *PolWeiSky* — dont l'interface utilisateur est présentée en Figure 3 — c'est le signal audio de la clarinette, qui par l'objet *jit.catch*, devient une matrice *jitter* de pixels. Cette matrice permet la transformation des vertex composants les primitifs 3D utilisés dans l'œuvre (cylindre, sphère, etc.). Également, les différents descripteurs audio sont utilisés pour donner le contrôle à l'instrumentiste sur autant de paramètres du synthétiseur que :

- ▶ La vitesse de rotation de la matrice de transformation sur les primitifs 3D
- ▶ La rotation de la caméra (axes x, y et z séparés)
- ▶ La position de la caméra (x, y, z)

³⁰ J'exécute *PolWeiSky* en concert sur un GPU Nvidia 930M, ce qui en 2016, date de début de création du programme, représente un processeur graphique relativement bas de gamme. Par ailleurs, *Max 7* n'est pas encore très optimisé pour le travail sur le GPU. *Max 8*, qui sortira à l'automne 2018 semble actualiser ce potentiel.

³¹ 10 ips équivaut à un rafraîchissement de 10Hz. Les standards actuels privilégient de 30 au minimum, 60 pour des mouvements fluides..

- ▶ La taille de l'objet (x, y, z et global)
- ▶ La distance de la profondeur de champ
- ▶ La saturation des couleurs du gradient utilisé comme texture
- ▶ La saturation de la couleurs des lumières (émission et spéculaire)
- ▶ Le niveau de l'effet *bloom* (lumière émanant de l'objet)
- ▶ Le taux de réinjection de l'image
- ▶ Le niveau de flou de mouvement



Figure 3 – Interface utilisateur de *PolWeiSky*

Beaucoup d'éléments manquent à ce synthétiseur. comme la possibilité d'appliquer des textures aux maillages des objets 3D, davantage d'effets, la possibilité de générer des fonds ou encore créer de multiples objets en simultanément afin de favoriser une forme de polyphonie visuelle. Ce sont autant d'ajouts que je souhaite apporter à la prochaine version du programme.

Pour l'instrumentiste, Charlotte Layec, la vidéo temps-réel est vraiment ce qui caractérise le plus le dialogue humain-machine qui est proposé; et cela même si ce que diffusent les haut-parleurs répond à cette même envie de créer des systèmes automatisés et réactifs. Après avoir joué la pièce lors d'au moins 20 concerts à ce jour, force est de constater que personne ne commente les relations temps-réel entre le jeu de l'instrument acoustique et des instruments électroniques; là où la relation entre clarinette et vidéo est évidente et attractive pour la majorité d'entre nous et semble canaliser toute l'attention.

2.4 Le langage audiovisuel de *Verklärter Rohr*

Un des enjeux de la vidéomusique est la façon dont l'image et le son partagent un espace temporel commun. Au sein d'une telle œuvre, aucun des deux canaux perceptifs n'est supposé avoir le rôle de soutenir l'autre. Ainsi, la vidéomusique va à l'encontre d'une certaine idée de la cinématographie selon laquelle le son sert à souligner l'impact émotionnel et dramatique de l'image et rendre crédible l'action qui y est présentée. Dans une vidéomusique, aucun canal ne prime sur l'autre. Ils existent chacun pour incarner la même intention créatrice.

Verklärter Rohr n'est pas une vidéomusique. Il s'agit d'une pièce de musique mixte pour instrument acoustique, instruments électroniques, algorithmes et vidéo générative. En cela, certaines considérations de la vidéomusique sont sans objet ici. En effet, la vidéo étant générative, elle n'existe que parce que le son existe. C'est par la conversion du flux audio en une matrice de pixel qu'elle se crée. Elle vit en même temps que le son mais elle est une conséquence de celui-ci. La synchrèse³² est donc ici intrinsèque et correspond à une *synchrèse gestuelle* dans la typologie proposée par Myriam Boucher et Jean Piché (Boucher, M. Piché, J.

³² La synchrèse est un concept développé par Michel Chion. Dans sa théorie de l'audio-vision (Chion, M. 1991), la synchrèse opère lorsque son et image donnent l'impression d'être deux manifestations du même phénomène. Dans *Sound/Image Relationships in the context of abstraction : Towards a typological proposition*, les auteurs Boucher et Piché (Boucher, M, Piché, J. 2018) reprennent ce concept et distinguent plusieurs typologies de synchrèse parmi d'autres types de relations son/image.

2018). Dans leur modèle, les auteurs proposent une classe typologique désignée comme *synthetic diegesis* pour laquelle, une forte concordance son-image laisse à penser que les deux manifestations entretiennent un lien causal. De par la nature générative de la production d'image et de par leur esthétique synthétique, cette fonction est certainement la plus employée ici et est celle qui caractérise le mieux mon travail audiovisuel dans cette œuvre. Enfin, il est à noter que la matière sonore ayant été l'élément premier, c'est toujours elle qui a guidé mes choix visuels.

Cependant, *Verklärter Rohr* partage tout de même de nombreux enjeux communs avec la vidéomusique. D'ailleurs, du point de vue du récepteur, peu importe ce qui génère la vidéo, le son et l'image sont reçus comme un ensemble qui entretiennent de multiples relations. De ces relations naissent du sens et de la cohérence où se présentent des ruptures et des oppositions expressives entre les canaux de réception.

Aussi, l'œuvre est abstraite. Bien que le rendu visuel ait été travaillé avec l'idée de fantasmagories de la clarinette en tête, il ne s'agit pas de représentations réalistes. Il s'agit plutôt de relations métaphoriques entre les deux canaux. Également, j'étais à la recherche de connections morphologiques son-image³³. Ces relations sont essentiellement basées sur l'intuition.

Dans *Verklärter Rohr*, il n'y a pas de polyphonie visuelle : un seul objet est présenté à l'écran. Cela est dû à l'architecture de *PolWeiSky*. L'objet est essentiellement une figure; il n'y a pas de fond, sauf quand la figure occupe tout l'écran duquel aucun objet ne se distingue.

³³ Je considère ici les critères morphologiques tels que définis par Pierre Schaeffer, comme le grain, la masse, le profil dynamique, etc. Dans *Verklärter Rohr*, ces correspondances morphologiques son-image sont subjectives.

Je propose maintenant une brève description, section par section, des relations métaphoriques que j'ai explorées et des choix de relation son-image morphologiques ou métaphoriques.

Dans la première section de l'œuvre, *Errance*, la clarinette imite le vent. L'objet visuel présenté en Figure 4 est une sphère qui enfle et décroît selon l'amplitude du signal. Il tourne sur lui-même à vitesse variée (de vives variations d'amplitude accélèrent sa vitesse alors qu'une amplitude entretenue le fait ralentir). Les teintes vont du blanc argenté au bleu polaire. La profondeur de champ de la caméra varie également en fonction de l'amplitude, faisant perdre l'objet dans le lointain quand celle-ci faiblit.

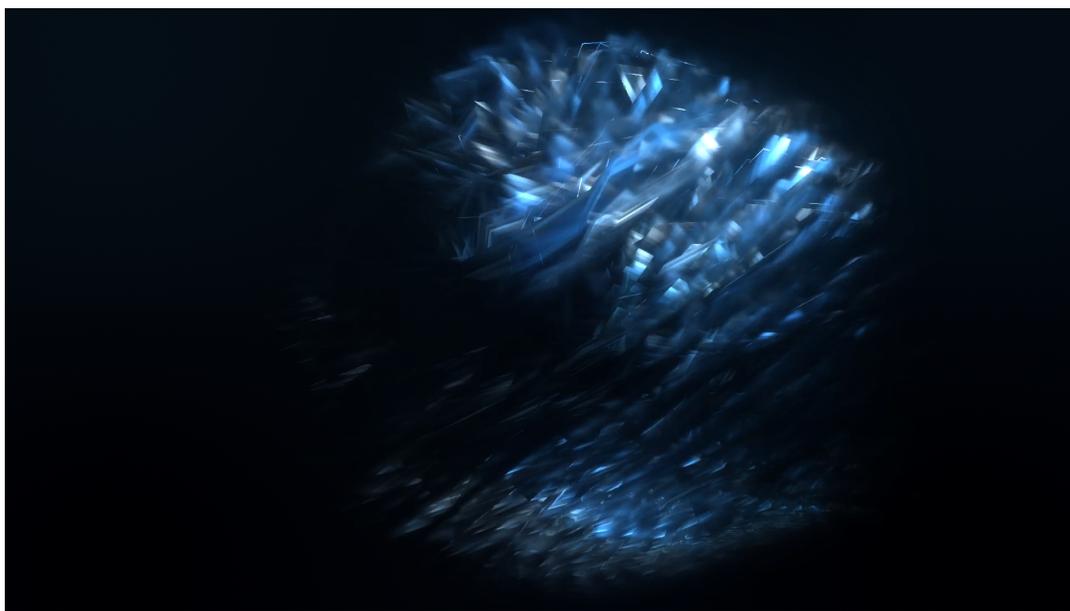


Figure 4 – Objet visuel de la première section de *Verklärter Rohr*

Lors de la deuxième section, la clarinette produit essentiellement des multiphoniques entretenus. Ces sont des son complexes : plusieurs partiels plus ou moins harmoniques sont entendus. La sonorité est enveloppante et je les imagine comme des halos optiques tel que le laisse apparaître la Figure 5. L'objet visuel est dans la continuité du précédent, soit une sphère.

Toutefois, les *vertex* sont atténués par un excès de flou de mouvement et un nombre de polygones accru qui confère à l'objet un caractère plus doux et moins anguleux. Les teintes sont moins froides également et tendent vers le vert jardin.

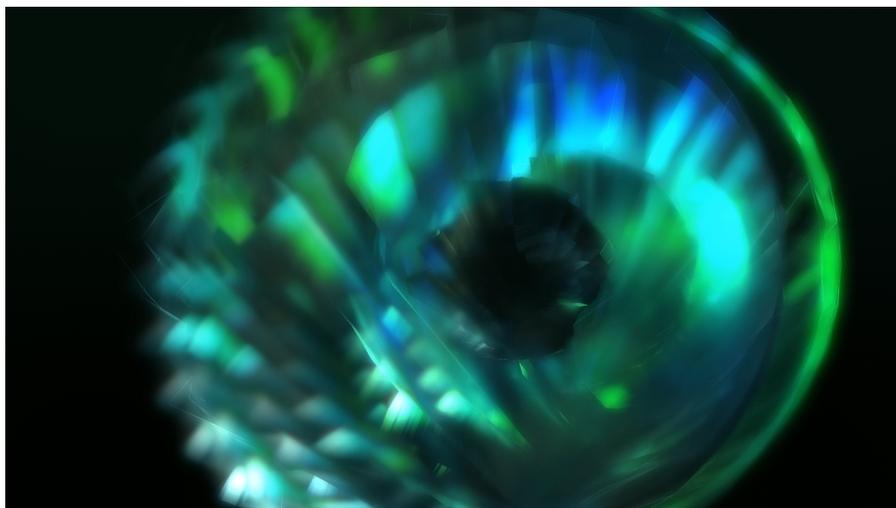


Figure 5 – Second objet visuel de *Verklärter Rohr*

Au cours de la troisième section, la perception de la profondeur est introduite. Alors que les plans précédents étaient relativement plats, ici, l'objet 3D est présenté en perspective tel que le montre la Figure 6. La sphère qui apparaissait essentiellement comme un cercle devient 40 spirales réparties le long d'un cylindre. La fantasmagorie du tube de la clarinette est ainsi pour la première fois introduite. La taille du cylindre en z est directement déduite de la valeur de *rolloff* du signal de la clarinette : des sons riches en partiels graves vont allonger l'objet lorsqu'une valeur de *rolloff* élevée le comprime.

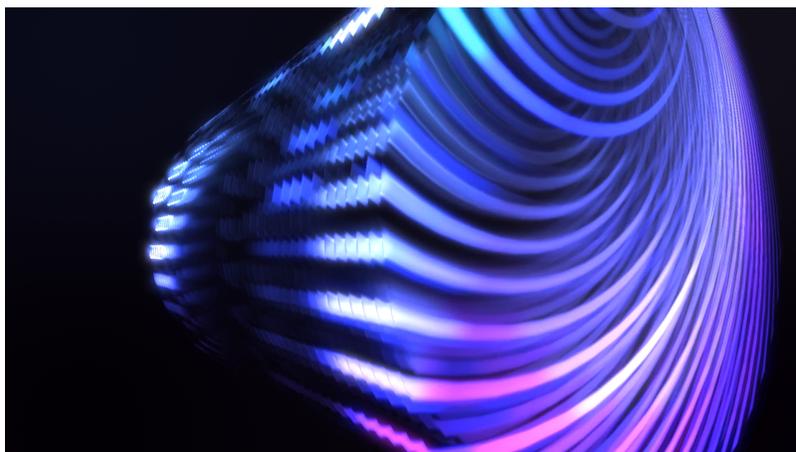
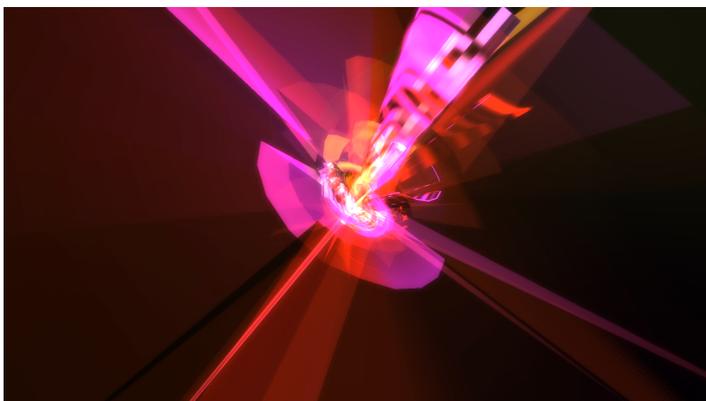


Figure 6 – L'objet présenté en perspective

Dans les quatrième et cinquième sections, le jeu de clarinette est plus désordonné. La spirale se disloque à la manière d'un *slinky*³⁴ malmené. Les positions en x , y et z de ces cercles résultent des différents pics de fréquence du signal audio.

Avec la sixième section, la synchrèse propose deux opposés et reflète le fait que la clarinette joue deux grandes familles d'objets sonores. Des sons entretenus, purs, vont générer un objet visuel net aux contours bien définis. Il se meut dans l'espace de façon fluide, sans heurt. Puis, la clarinette joue des sons percussifs et itératifs. L'objet se met alors à clignoter, il devient une suite de manifestations discrètes à son tour. Les Figures 7 et 8 présentent de images extraites de ces états. Le descripteur audio *flux*, qui rapporte la variation d'amplitude, est ici mis à contribution pour faire varier le taux de réinjection de l'image. Il y a peu de réinjection lorsque l'objet est fluide et beaucoup lorsqu'il clignote (et ceci afin que ces apparitions se perdent dans le flou de mouvement).



Figures 7 et 8 – L'objet contrastant de la section 6 de *Verklärter Rohr*

Au cours de la septième section, la clarinette joue des sons fendus. Ces sons sont relativement dérangeants. Ils sont distortionnés, peu stables, riches en harmoniques et complexes. Le cylindre est ici constitué de 40 disques. Ces disques présentent une agitation

³⁴ Jouet en forme de ressort particulièrement extensible.

analogue au signal audio : leurs positions respectives autour de l'axe central ne sont pas régulières, leurs tailles varient et ne présentent aucune organisation. L'objet est instable.

Dans la huitième section, la clarinette joue des sons toniques. L'objet visuel est encore un cylindre aux surfaces parfaitement lisses. Au gré du suivi de fréquence, des structures rectangulaires vont se former à sa surface. Le suivi du bas registre (les premières bandes de *Bark*) agissent sur la rotation en *y* de l'objet ainsi que sur sa vitesse de rotation. Ainsi, de riches sons pleins vont le ralentir et complexifier sa surface quand des sons du registre supérieur vont l'accélérer et le lisser.

La neuvième section révèle un jeu de clarinette plus vaporeux, plus atmosphérique. Cet effet est accentué par l'adjonction de réverbération et de longs délais. Le cylindre se dilate en une série de disques qui se confondent l'un dans l'autre. Ils sont en perpétuel mouvement dans l'espace tridimensionnel. L'abus du flou de mouvement combiné à la réinjection de l'image permet d'obtenir un effet vaporeux analogue au son.

La dixième section conclut le premier mouvement de l'œuvre. La clarinette joue principalement ce que je considère comme des *grosses notes* schaefferiennes en delta³⁵. L'objet part du centre de l'écran, au lointain. Il grossit puis disparaît au son de ces deltas. À la dernière occurrence, la caméra est au centre de l'objet tridimensionnel.

Le deuxième mouvement, *Introspection*, est un solo de clarinette. Je souhaitais que l'attention de l'auditoire se recentre sur Charlotte Layec. Il n'y a donc pas de vidéo et un éclairage en douche sur la musicienne fait office de mise en scène.

³⁵ La *grosse note*, dans la typologie de Pierre Schaeffer, est un objet sonore complexe, généralement formé de multiples couches, mais perçu comme un objet unique. Il est de facture formée et peut durer plusieurs secondes. Il enfle puis désefle et cela participe à le caractériser.

La vidéo générative fait son retour dans le troisième mouvement *Frissons et Tremblements*. Ce mouvement est divisé en 5 sections. Toutefois, elles ont une unité si forte que pour l'auditeur, il est difficile de les dissocier formellement. Concernant la vidéo, celle-ci respecte également 5 configurations mais on peut aisément les regrouper pour obtenir deux sections.

Dans la première, nous sommes dans le tube. Une de ses extrémités fugaces a pour position initiale le centre de l'écran mais celle-ci bouge frénétiquement. Elle se déplace en x selon l'énergie dans une des premières bandes de *Bark*. Le suivi d'amplitude la transforme en y et le suivi de variance d'amplitude en z . D'autres descripteurs agissent sur certains paramètres comme la couleur et la profondeur de champ. Ce tube a une structure assez complexe. Des sons toniques résultent en un tube constitué d'une multitude d'anneaux alors que les composantes bruiteuses du signal remplissent la structure d'une multitude de triangles qui sont autant de points dans le cadre du tube. Cette complexité dans la structure, complexité amenée par les triangles, est la réponse aux "tremblements" suggérés dans cette section. Une des configurations de l'objet est présenté en Figure 9. Ces tremblements, sont exprimés par l'instabilité des trilles jouées à la clarinette. Je voulais que cette section soit inquiétante et le caractère constamment instable et fuyant de la structure 3D participe à ce suggérer ce sentiment.

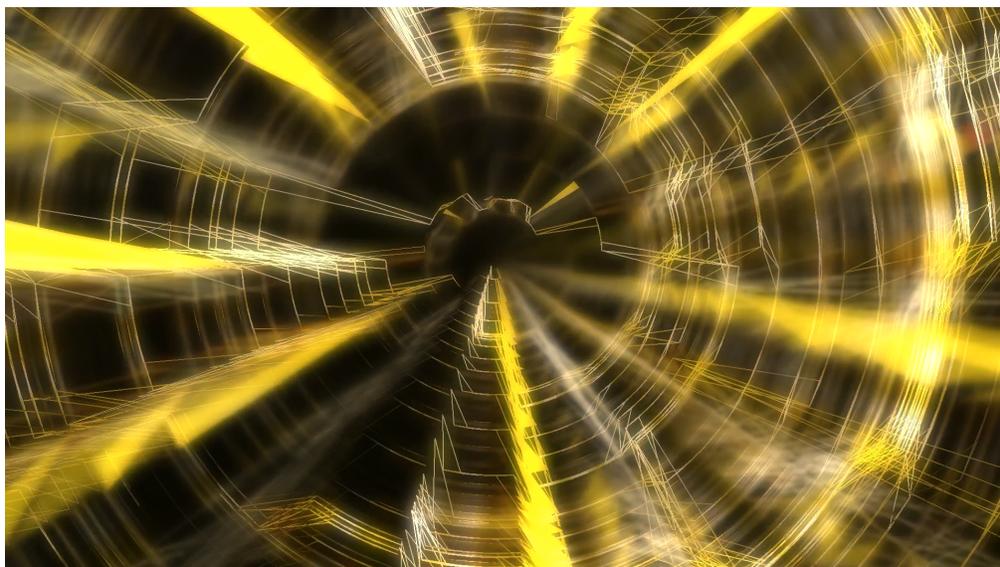


Figure 9 –
À
l'intérieur
du tube

La deuxième et dernière grande section de ce mouvement affiche ce que je vois comme une fleur sonore présentée en Figure 10. J'étais très surpris de découvrir que mon synthétiseur pouvait produire un objet comme celui-ci, car comme je l'expliquais, il est "monophonique". Un seul primitif 3D est affiché à l'écran. Seulement, je lui associe deux structures en fil de fer (*mesh*). C'est ce qui me permet de donner l'illusion de deux groupes d'objets parfois. Ici, la base de cette fleur se décompose en de multiples triangles³⁶ donnant l'impression de feuilles cunéiformes. L'autre groupe d'objets est un ensemble d'arcs qui émanent de cette fleur et oscillent au son des trilles de la clarinette.

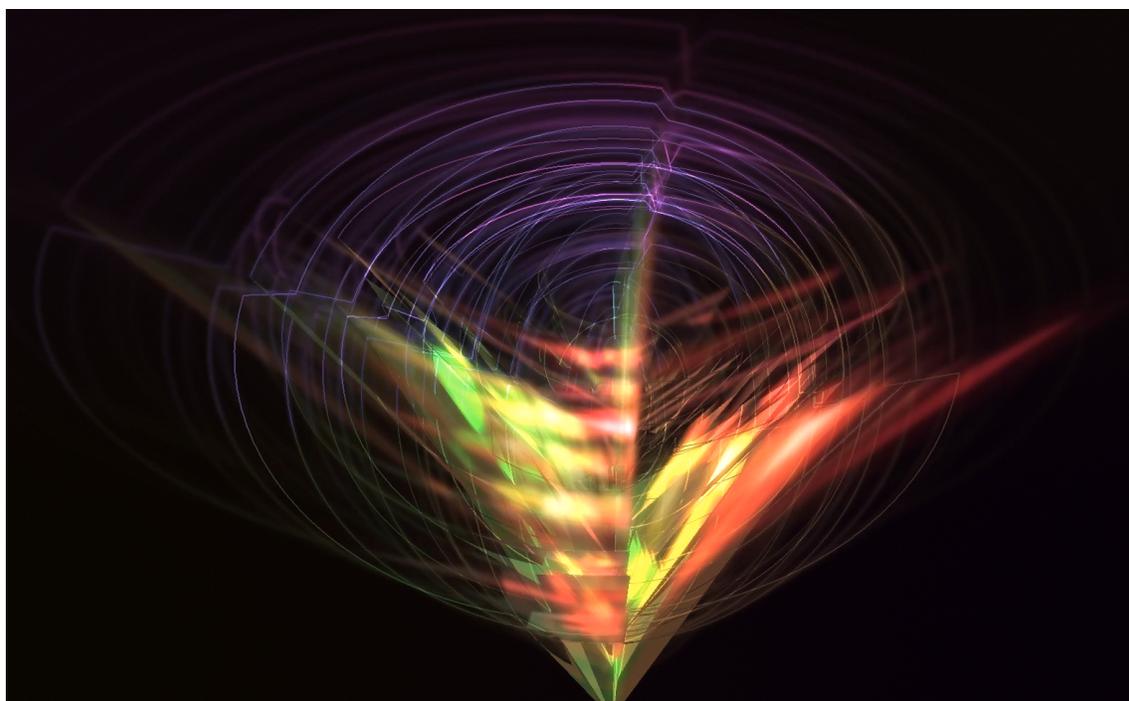


Figure 10 – La « fleur sonore » du mouvement *Frissons & Tremblements*

Le dernier mouvement de *Verklärter Rohr, Exaltation*, se divise visuellement en trois sections. Ici encore, la vidéo se veut une fantasmagorie de la clarinette.

³⁶ Ces multiples sous-objets sont à la base un seul et unique primitif 3D, dont les sommets (*vertex*) sont transformés par l'analyse du signal de la clarinette.

La première section est composée de multiples petits disques qui évoquent les clés de la clarinette. Cette partie est plus énergique, pulsée et itérative. Ces disques s’allument et s’éteignent frénétiquement et correspondent à une fonction de *diégèse musicale* (Boucher, M. Piché, J. 2018). La deuxième section est une variation de la première. J’y explore une autre palette de couleur et un autre placement de caméra.

Le final de la pièce se veut grandiose, véloce et extatique et je le représente par un objet mémorable. Il s’agit d’un tube, encore, mais le placement de caméra permet une perspective le rendant impressionnant tel qu’il apparaît en Figure 11 : il provient de l’horizon et sa taille monumentale le fait “sortir” de l’écran. Aussi, la palette de couleurs exploite le doré et cela lui confère un caractère majestueux.

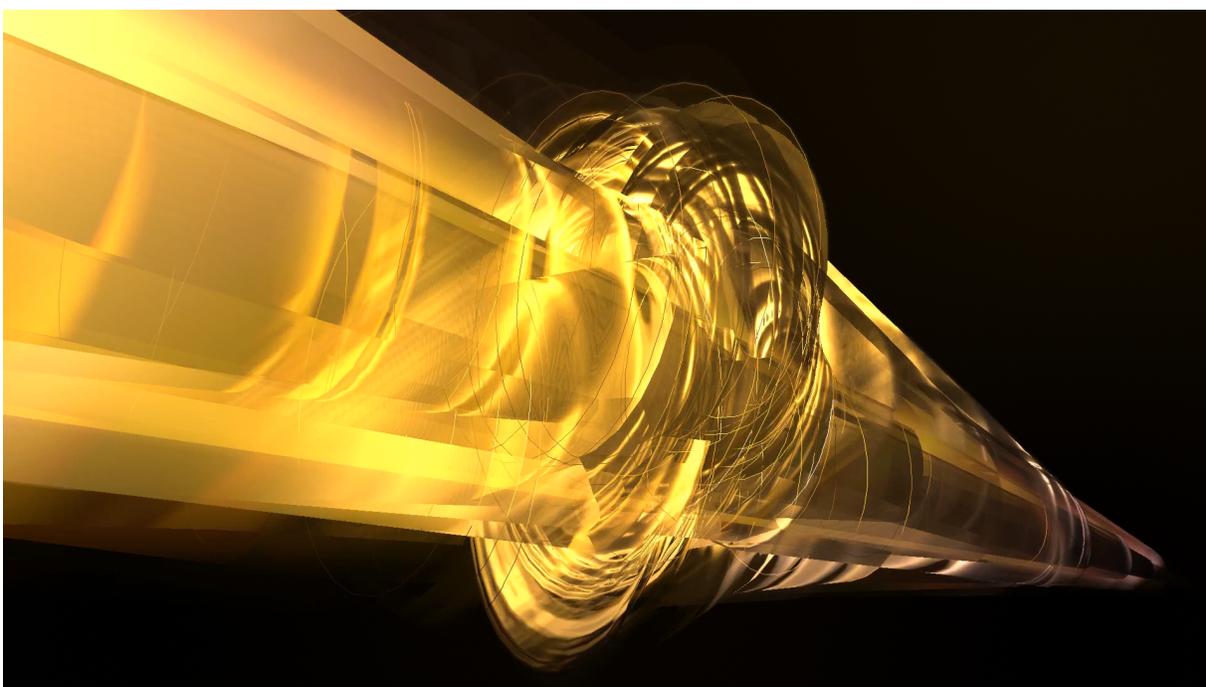


Figure 11 – L’objet qui conclut *Verklärter Rohr*

la qualité de la musique générée par *Agône*, je lui ai ajouté un module de conduite des voix, un module pour générer des approches chromatiques, des LFO pour gérer la durée des notes et leurs vélocités, des opérateurs mathématiques sur les cellules rythmiques afin de les multiplier ou de les diviser, des tables de probabilités pour varier le registre et d'autres tables pour choisir entre plusieurs cellules rythmiques ou encore pour laisser le système décider à quelle subdivision rythmique sélectionner une nouvelle hauteur de note.

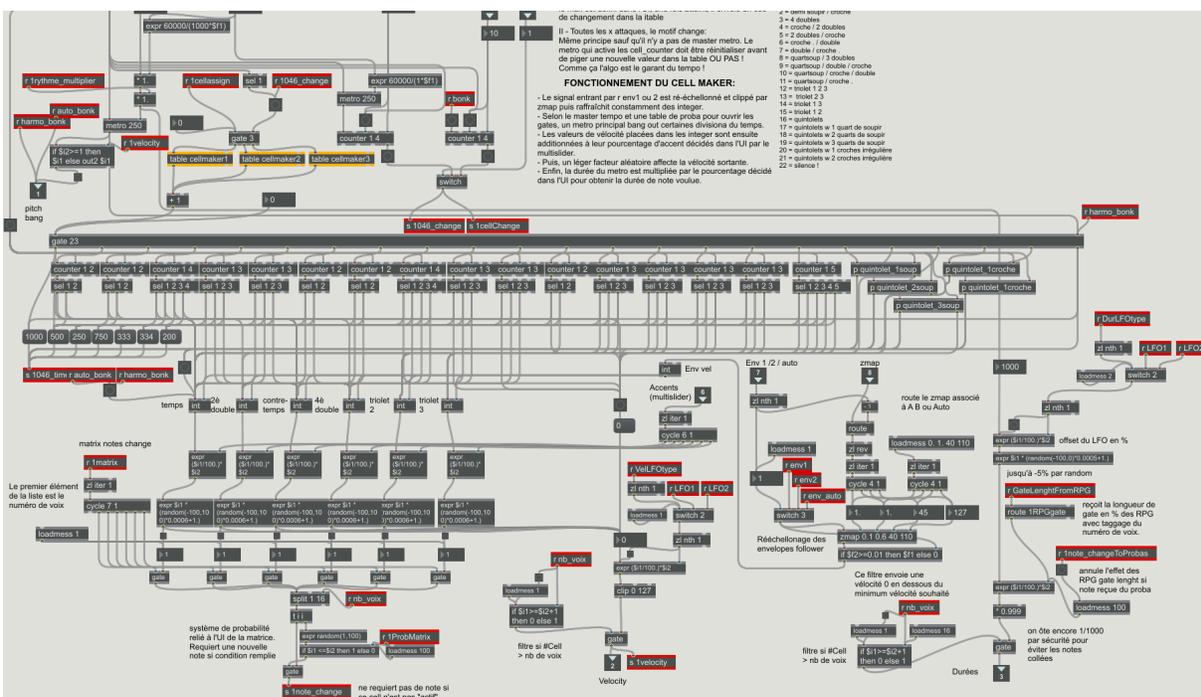


Figure 14 – Un des générateurs de cellule rythmique d’*Agône*

Chaque section de la pièce correspond à une scène d’*Agône*. Il peut contrôler jusqu’à 6 instruments virtuels en simultané dont *Ableton live* est l’hôte.

2.6 Les instruments virtuels

Conceptuellement, je tenais à ce que les instruments virtuels soient majoritairement issus de sons de la clarinette basse. Mon choix d’instrument s’est donc porté sur les

échantillonneurs. Après avoir enregistré Charlotte Layec, j'ai constitué une sonothèque de 59 sons représentant différentes typo-morphologies de la clarinette basse.

À partir de cette sonothèque de sons bruts, j'ai créé une panoplie de sons transformés (quelques centaines) au moyen de diverses chaînes de traitement en parallèle ou en série utilisant une variété de processeurs de signaux numériques (granulateur, harmoniseur, *flanger*, tremolo, filtrage, distorsion spectrale, résonateur, *wave guide*).

Cette librairie est ensuite utilisée pour charger des échantillonneurs dans *Ableton live* comme présenté en Figure 15. Ces instruments sont joués par *Agône*. Également, ils réagissent au jeu de l'instrumentiste selon les modulateurs reçus par les descripteurs audio.

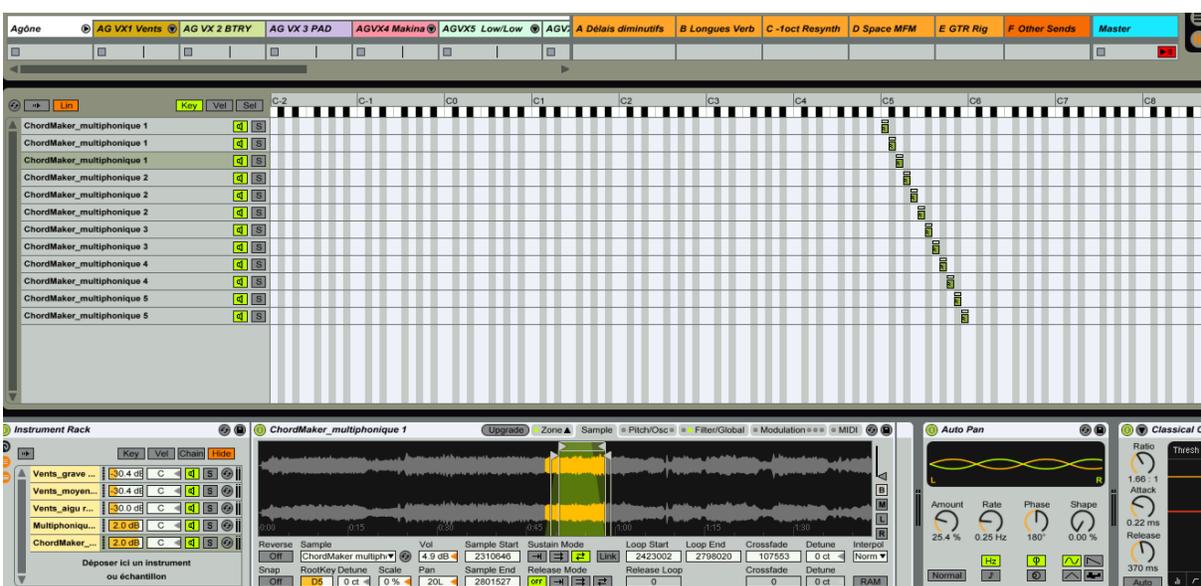


Figure 15 – Un instrument virtuel dans *Ableton Live*. Ici, un échantillonneur utilisant des sons transformés de clarinette basse.

Le *mapping* est une phase primordiale du travail entre des instruments virtuels et des interfaces physiques ou, comme c'est le cas ici, des modulateurs logiciels (via les descripteurs audio). Le *mapping* de *Verklärter Rohr* consiste en des centaines de connections entre les

différents programmes *Max* (*Agône*, *PolWeiSky* et les *ZSA descriptors* et *Ableton Live*). Un exemple de ces connexions est présenté en Figure 16.

C...	Notef...	Chemin d'accès	Nom	Min	Max
1	CC 50	AG VX 3 PAD Instrument Rack Reaktor 6	Synth..DY Knob 2	0.00	1.00
1	CC 50	AGVX5 Low/Low Instrument Rack Diva(x64) Diva(x64)	Atk	0.00	1.00
1	CC 50	AGVX6 Clés Batry Vocoder	Filter Bandwidth	10.0 %	200 %
1	CC 50	AGVX6 Clés Batry Vocoder	Release Time	1.40 s	201 ms
1	CC 50	AGVX6 Clés Batry Vocoder	Dry/Wet	100 %	70.3 %
1	CC 50	AGVX6 Clés Batry Vocoder	Envelope Depth	150 %	90.6 %
1	CC 50	AGVX6 Drones Auto Filter	Env. Modulation	127	0.00
1	CC 50	AGVX6 Drones Auto Filter	LFO Amount	0.00	30.0
1	CC 51	AG VX1 Vents Instrument Rack Vents_grave sourd_Pelletizer Vents...	Pitch LFO Amount	0.00 %	60.0 %
1	CC 51	AG VX1 Vents Instrument Rack Vents_grave sourd_Pelletizer Vents...	Volume < LFO	0.00 %	60.0 %
1	CC 51	AG VX1 Vents Instrument Rack Vents_moyen resonant_Pelletizer V...	Pitch LFO Amount	0.00 %	60.0 %
1	CC 51	AG VX1 Vents Instrument Rack Vents_moyen resonant_Pelletizer V...	Volume < LFO	0.00 %	60.0 %
1	CC 51	AG VX1 Vents Instrument Rack Vents_aigu resonant_Pelletizer Ven...	Pitch LFO Amount	0.00 %	60.0 %
1	CC 51	AG VX1 Vents Instrument Rack Vents_aigu resonant_Pelletizer Ven...	Volume < LFO	0.00 %	60.0 %
1	CC 51	AG VX 2 BTRY Auto Filter	Frequency	290 Hz	13.1 kHz
1	CC 51	AG VX 2 BTRY Reverb	Dry/Wet	100 %	10 %
1	CC 51	AG VX 3 PAD Instrument Rack Reaktor 6	Synth:1..F2 Kb2	0.00	1.00
1	CC 51	AG VX 3 PAD Instrument Rack Auto Filter	Frequency	160 Hz	10.1 kHz
1	CC 51	AG VX 3 PAD Instrument Rack Reverb	Dry/Wet	100 %	0.0 %
1	CC 51	AGVX5 Low/Low Instrument Rack Diva(x64) Diva(x64)	Wet	1.00	0.08
1	CC 51	AGVX5 Low/Hi Instrument Rack Diva(x64) Diva(x64)	Freq	0.00	0.30
1	CC 51	AGVX5 Hi/Mid Instrument Rack Reaktor 6 Reaktor 6	P0112	1.00	0.00
1	CC 51	AGVX5 Hi/Mid Instrument Rack Reaktor 6 Reaktor 6	P0065	0.15	0.66
1	CC 52	AG VX1 Vents Instrument Rack Vents_grave sourd_Pelletizer Mixer	Chain Volume	0.0 dB	-30.4 dB
1	CC 52	AG VX1 Vents Instrument Rack Vents_moyen resonant_Pelletizer M...	Chain Volume	0.0 dB	-30.4 dB
1	CC 52	AG VX1 Vents Instrument Rack Vents_aigu resonant_Pelletizer Mixer	Chain Volume	0.0 dB	-30.0 dB
1	CC 52	AG VX1 Vents Instrument Rack Multiphoniques entretenus 1_Pelletiz...	Chain Volume	-30.0 dB	2.0 dB
1	CC 52	AG VX1 Vents Instrument Rack ChordMaker_multiphonique 1 Mixer	Chain Volume	-30.0 dB	2.0 dB
1	CC 52	AG VX 3 PAD Instrument Rack Reaktor 6	Synth:1...ST Kb3	0.16	0.84
1	CC 52	AGVX5 Low/Hi Instrument Rack Diva(x64) Diva(x64)	Res	0.00	0.60
1	CC 52	AGVX5 Hi/Low Instrument Rack Reaktor 6 Reaktor 6	P0136	0.20	0.80

Figure 16 – Une partie du *mapping* entre les descripteurs audio et les instruments virtuels. Ici, le CC50 correspond à *Flux*, CC51 à *Ampstats* et CC52 à *Rolloff*.

2.7 Partition graphique et comprovisation

Le premier mouvement de *Verklärter Rohr*, *Errance*, favorise la comprovisation via des systèmes numériques uniques composés en studio et joués en direct car cela est selon moi un terrain fertile pour la recherche d'un dialogue humain-machine et représente une forme d'écriture récurrente dans mon travail depuis 2011.

Lorsque je suis l'interprète de mes pièces, j'ai tendance à faire des enregistrements sonores et vidéo accompagnés d'instructions textuelles en guise de guide à l'improvisation instrumentale dirigée. Puisqu'il s'agissait ici de transmettre les intentions de création à un tiers, j'ai dû adapter mes moyens de communication. J'ai utilisé plusieurs leviers : des instructions descriptives textuelles³⁷, des instructions prescriptives en recourant à la notation musicale traditionnelle et la transmission orale par échanges avec Charlotte Layec en expliquant les mécanismes du système numérique. Enfin, j'ai recouru à une certaine forme d'expressionnisme via la partition graphique comme le présente la Figure 17.

CUE 2
Antonymie de halos lumineux (multiphoniques doux) et de tempêtes agitées (sons éoliens)
Prendre le temps de poser les multiphoniques
Dialoguer avec PWS et Agône, être attentif à leurs retours
Durée entre 1 minute 10s et 1 minute 30s

Descripteurs audio: suivi d'Amplitude > Intensité LFO's et gain
RollOff > balance Agône Eolien / Harmonique

Figure 17 – Exemple de la section de la partition de *Verklärter Rohr*, hybride entre partition graphique, descriptive et prescriptive

Ces 4 canaux de communication ont permis de baliser le terrain des improvisations du premier mouvement de l'œuvre. Charlotte Layec, au fil des répétitions et des itérations de la pièce, a fini par complètement s'approprier la section dans un réel dialogue spontané et inscrit dans l'instant, comme deux locuteurs qui maîtrisent leur sujet et échangent dans le but d'être éloquents, de rendre leur sujet plus explicite et mieux compris encore. Ils ne cherchent plus leurs mots³⁸.

³⁷ La première forme de partition pour cette partie de l'œuvre était un synopsis textuel décrivant les scènes sonores telles que je les imaginais.

³⁸ Le dialogue n'est certainement pas l'argumentaire, le plaidoyer ou la confrontation d'idées d'aucune sorte. Le dialogue, c'est l'échange, le partage, dans un état d'esprit réceptif pour mieux comprendre un phénomène. Il recherche le terrain d'entente, la compréhension commune.

Je n'ai pas eu à ce jour l'opportunité de confronter la partition à un instrumentiste n'ayant pas pris part au processus de création et n'ai donc pas pu éprouver la qualité de l'information fournie par la partition de cette première section de l'œuvre. Je ne sais donc pas encore si la partition suffit à engendrer le résultat que j'imagine et si la pièce, mises à part les complications technologiques, est pérenne³⁹.

Les trois autres mouvements utilisent la notation traditionnelle et graphique tels qu'en donnent des exemples les Figures 18 et 19.

2

3 < 7

1 + 4 9 5

p < *f* *mf*

faire varier la dynamique de façon irrégulière et soudaine entre *p* et *mf*

3

3 < 7 3 < 7

9

fp *fp*

rall. . . . accel. rall. . . .

1 + 4

1 + 2 + 5

choisir un multiph. puis éoliser le son progressivement

3

4

3

mp

jouer le + rapidement possible. poco rit. sur dernières notes

Figure 18 – Exemple de notation graphique et traditionnelle n°1

³⁹ La partition est toutefois accompagnée de plusieurs pages dont le but est de guider l'instrumentiste dans sa prise en main du dispositif numérique et sa compréhension des systèmes génératifs et réactifs.

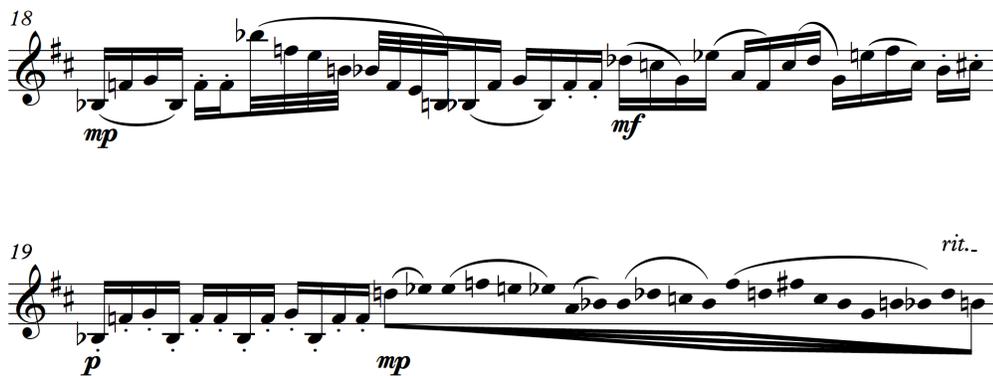


Figure 19 – Exemple de notation graphique et traditionnelle n°2

2.8 Traitement en temps-réel

Lors de la performance, j'interagis sur les diverses chaînes de traitement en temps-réel qui sont appliquées à la clarinette basse. Ma présence est optionnelle et aurait pu être remplacée, par exemple, par des agents automatisés répondants aux descripteurs audio. Nous avons décidé ensemble avec Charlotte Layec de ma présence sur scène. Je suis en quelque sorte l'incarnation humaine du dispositif numérique génératif. Mon rôle est très limité mais appuie la mise en scène. Le schéma de principe du dispositif de *Verklärter Rohr* est montré en Figure 20.

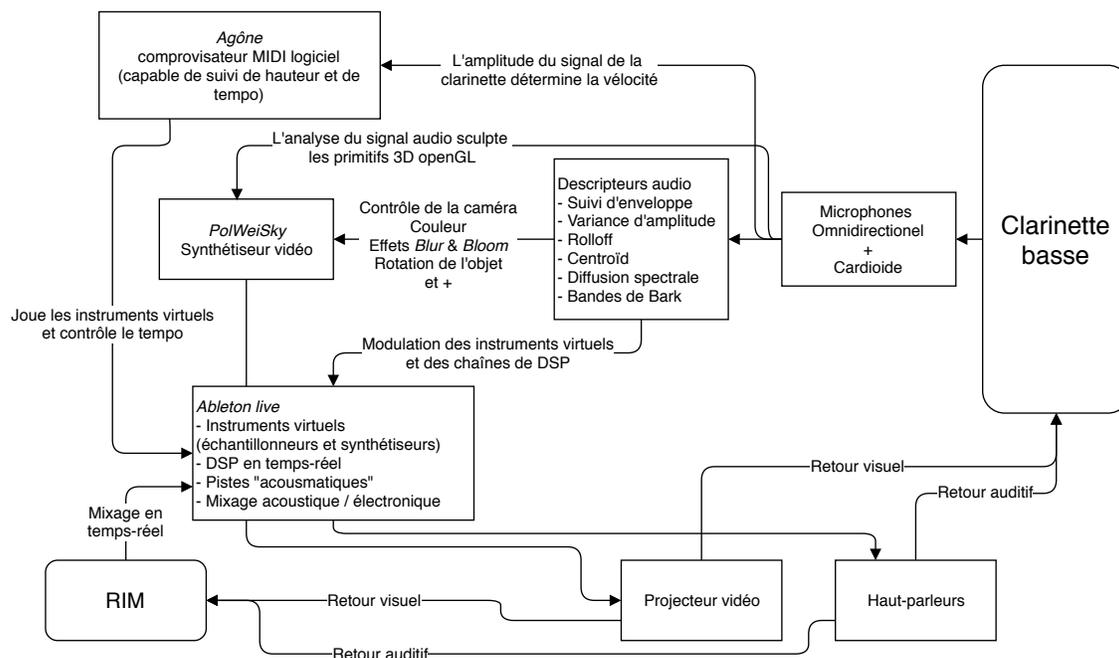


Figure 20 – Schéma de principe du dispositif de *Verklärter Rohr*

Toutefois, le fait d'improviser sur les chaînes de traitement audionumériques participe au caractère unique de chaque performance. Ma sensibilité humaine perpétuellement changeante est sollicitée et mon écoute de l'œuvre n'est jamais identique.

Enfin, puisque la pièce est jouée dans diverses salles de concert proposant des caractéristiques différentes, ma présence sert surtout au mixage afin d'occuper au mieux l'espace de diffusion.

2.9 Aspect collaboratif

La quasi totalité de mes travaux passés étaient soit des œuvres pour support, soit des œuvres dont je suis l'interprète, soit des collaborations dans lesquelles chacun fait sa part mais n'intervient pas ou très peu dans le travail de l'autre. Ainsi, je n'étais pas du tout familier à ce rapport compositeur-interprète, pas plus que je ne l'étais à l'utilisation de la partition traditionnelle comme médium.

Charlotte Layec a été impliquée dès la genèse du projet dans tous les processus de création de l'œuvre. Elle est le germe de la plupart des idées que j'y ai développé et la pièce lui est dédiée.

Tout au long de la réalisation, nous avons rencontré de nombreux problèmes techniques. Même avec la meilleure des volontés, puisque l'on travaillait sur des outils expérimentaux et que je ne suis pas moi-même programmeur, il arrivait souvent que le système soit brisé. Cela a mené à des frustrations envers lesquelles elle faisait preuve de plus de patience que moi.

Tel que mentionné, l'utilisation de descripteurs audio m'a permit de travailler la majeure partie du temps en studio afin de créer le système qui saurait réagir tel que je le souhaitais. Toutefois, éprouver l'instrument numérique et vérifier que le tout fonctionne correctement a exigé de nombreuses répétitions avec la musicienne.

N'ayant que très peu d'expérience dans le domaine de la relation compositeur-interprète, je peine à imaginer de créer une œuvre recourant à autant de techniques d'écriture expérimentales et à leur lot intrinsèque de recherche-développement et d'essai-erreur sans pouvoir compter sur un ou des instrumentistes collaborateurs désireux de s'investir dans le processus de création et d'y consacrer la masse de temps nécessaire.

CHAPITRE 3

Analyse de *Machine In The Shell*

3.1 Genèse du projet et intentions de création

Machine in the Shell (MITS) est une œuvre acousmatique de 21 minutes pour dôme de 16 haut-parleurs. Après avoir principalement travaillé, au cours des 5 années qui ont précédées l'écriture de *MITS*, sur des pièces de musique mixte, interactives et multimédias, je ressentais le besoin de retourner à l'écriture acousmatique et aux processus de création propres aux œuvres fixées. Toutefois, je ne pouvais pas mettre en suspens le travail de recherche-crédation déjà entrepris sur le dialogue humain-machine, que j'explore depuis 2011. J'ai donc tenté d'approcher d'autres aspects de ce dialogue au sein d'une œuvre différente.

Le titre est une allusion évidente à *Ghost in the Shell*, le manga de Masamune Shirow, publié au Japon en 1989. Sa première adaptation en anime date de 1995 et représente pour moi une œuvre majeure, qui m'a beaucoup influencé. La place de l'humain, plus exactement la place de la conscience humaine — et de ce qui caractérise notre singularité et notre individualité dans un monde hautement technologique — y est questionnée. Dans la diégèse de *GITS*, l'hybridation humain-machine est à un stade très avancé. La numérisation et le transfert des consciences dans des cerveaux cybernétiques rend la distinction humain-machine quasi impossible.

Le "*Shell*", c'est aussi ce dôme de 16 haut-parleurs, cette coquille, dans laquelle j'ai passé autour de 300 heures à confectionner la pièce, depuis la phase de pré-conception jusqu'au matriçage. Seules quelques sessions de traitement ont été faite en dehors de cet environnement dans lequel je me suis profondément immergé. Le studio Hexadécaphonique de la faculté de musique de l'Université de Montréal est montré en Figure 21.



Figure 21 – Le studio hexadécaphonique de la faculté de musique de l’UdeM

Les objet sonores utilisés dans l’œuvre sont en majorité créés par synthèse. Je décrirai brièvement les techniques d’écriture et les processus génératifs employés dans la section suivante. Ce qui m’intéressait était de créer un environnement hautement machinique. J’ai eu recours à toute l’imagerie dont regorge la science-fiction et qui fait partie de la culture populaire pour visualiser les environnements que je voulais sonifier. Essentiellement, dans *MITS*, ce sont les “voix” de ces machines que l’on entend converser. Ce choix était également porté par mon souhait initial d’explorer un langage non-anthropocentrique⁴⁰ (dans les signatures timbrales, pas la grammaire; je n’ai pas eu recours à des réseaux de neurones artificiels ou autre).

⁴⁰ Non-anthropocentrique autant que faire se peut. Je suis humain, mon regard est le fruit de cette expérience humaine et est conditionné par cette humanité innée. Bien que j’ai tenté de relayer à la machine un certain nombre de décisions et ai élaboré des principes génératifs, c’est moi qui au final ai articulé le discours. Aussi, c’est davantage dans les signatures timbrales que dans la grammaire que se retrouve cette vision non-anthropocentrique.

Je ne voulais cependant pas créer une pièce dénuée de toute trace d'humanité. J'y ai également inclus des sons issus des archives de la NASA sur le programme *Apollo*. J'ai eu recours aux sons de la tragique mission *Apollo 1*, qui vit l'équipage brûlé vif dans la cabine lors d'un ultime test au sol, ainsi qu'aux sons de l'historique *Apollo 11*, premier alunissage de notre civilisation. Ces astronautes, qui ont exploré l'inconnu en s'appuyant sur une machinerie totalement expérimentale, m'inspirent. Le "*Shell*", c'est aussi cette coquille de métal dans laquelle ils étaient en orbite.

3.2 Synthèse sonore

La sonothèque de *MIT* a été constituée principalement par synthèse, en utilisant *Reaktor*. Lors de la conception des synthétiseurs, un des aspects primordiaux était le discours spatial; je souhaitais entendre des relations contrapuntiques entre les haut-parleurs. J'ai porté une attention particulière à la façon dont les figures et autres thèmes se lançaient des appels et réponses d'un haut-parleur à l'autre. Puisque *Reaktor* supporte 16 sorties audio, j'aurais pu créer directement des fichiers hexadécaphoniques. Je me suis limité à 8 pistes, peut-être par crainte d'avoir des objets trop complexes à gérer. Ce choix m'a limité à des mouvements spatiaux sur l'angle azimutal seulement⁴¹.

Je souhaitais que la machine soit génératrice de l'articulation des objets sonores. En utilisant des opérateurs logiques, des modulateurs et des séquenceurs, j'ai fait en sorte que les synthétiseurs génèrent les matériaux sonores avec pour seule commande la pression d'une touche donnant l'intonation initiale. Ainsi, il est important de comprendre que toutes les articulations - avant la phase de montage-écriture - sont le fruit de ces processus automatisés. Bien entendu, j'ai ensuite manipulé ces articulations par le biais du montage pour orienter le discours musical comme je le souhaitais. C'est en cela que *MIT* présente un autre aspect du

⁴¹ J'ai considéré le plan horizontal pour ce qui concerne la phase de génération du matériel. Le plan vertical a quant à lui été travaillé lors de la phase de montage.

dialogue humain-machine que j'ai souhaité explorer. Les deux synthétiseurs développés dans *Reaktor* sont présentés en Figures 22 et 23.

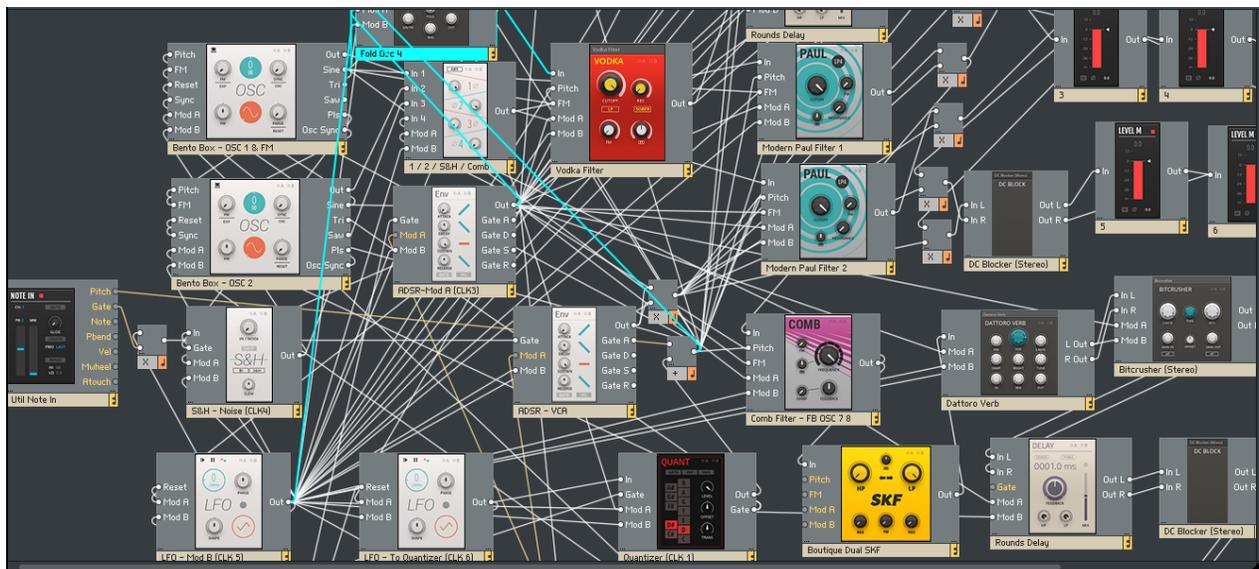


Figure 22 – Un synthétiseur FM octophonique dans *Reaktor*

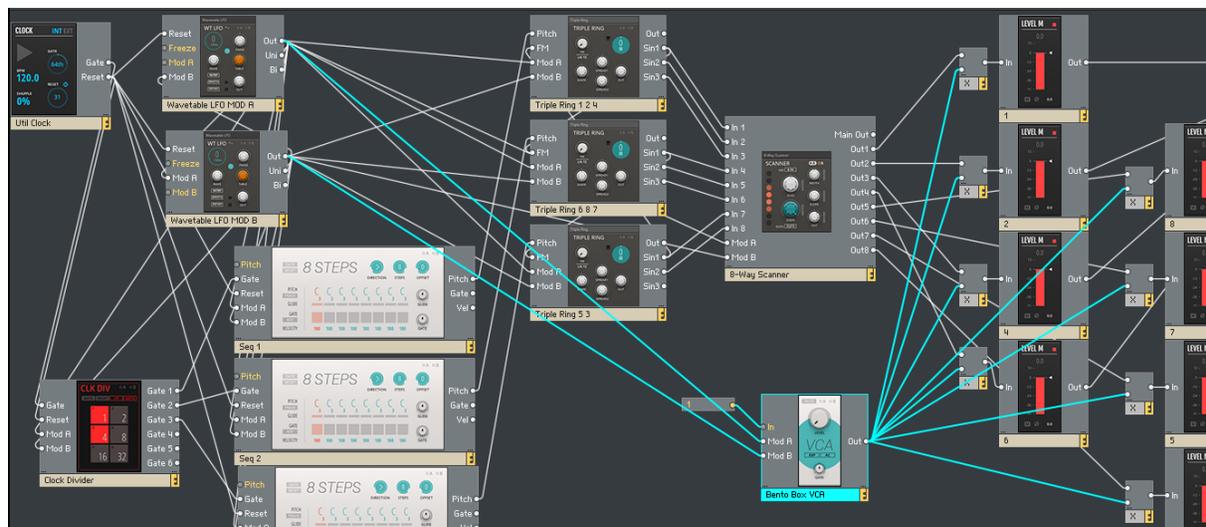


Figure 23 – Un synthétiseur permettant la spatialisation octophonique des partiels dans *Reaktor*

3.3 Stratégies de spatialisation

La sonothèque était constituée de fichiers octophoniques. J'ai pensé que l'écriture pour le dôme s'en trouverait simplifiée. Ma station de travail audionumérique (STAN), était *Reaper*. *Reaper* offre une souplesse d'aiguillage des signaux audio qui n'a, à ma connaissance, pas d'équivalent. Toutefois, je me suis vite aperçu que faire du montage avec des fichiers octophoniques était une tâche ardue; cela manque de malléabilité, les fichiers octophoniques étant de gros blocs complexes, presque immuables. Mises à part certaines sections pour lesquelles j'ai conservé ces mastodontes sonores, dans lesquels je sculptais à l'aide de nombreuses enveloppes, j'ai préféré les éclater en plusieurs fichiers stéréophoniques voire monophoniques. *Reaper* me laissait le choix d'extraire les canaux qui m'intéressaient.

J'ai porté un soin particulier aux processus de spatialisation à même les synthétiseurs. En utilisant une horloge commune qui envoyait des événements aux multiples voix en déphasage ou grâce à l'utilisation de délais, j'ai pu réaliser en amont une partie du contrepoint spatial. L'autre levier d'écriture de l'espace a été le montage. Ma session de travail comportait 100 pistes et me laissait le loisir de positionner mes sources sur n'importe quel haut-parleur ou groupe de haut-parleurs. Cela donnait lieu aussi bien à une gestion macroscopique des scènes spatiales qu'à des micro-montages spatialisés extrêmement précis.

Enfin, les gestes spatiaux complexes qui avaient tout intérêt à être automatisés ont été réalisés à l'aide de *SpatGRIS* montré en Figure 24. Développé à l'Université de Montréal par le Groupe de Recherche en Immersion Spatiale, l'outil permet une intégration facile dans une STAN de trajectoires elliptiques et autres pour un système de diffusion multicanal. Le tout s'opère de façon automatisée et synchronisée dans la STAN. De plus, il donne accès à une

matrice de 16 entrées et 16 sorties totalement configurables, ce qui le rend très versatile. Les gestes spatiaux circulaires de l'œuvre ont été réalisés avec cet outil⁴².

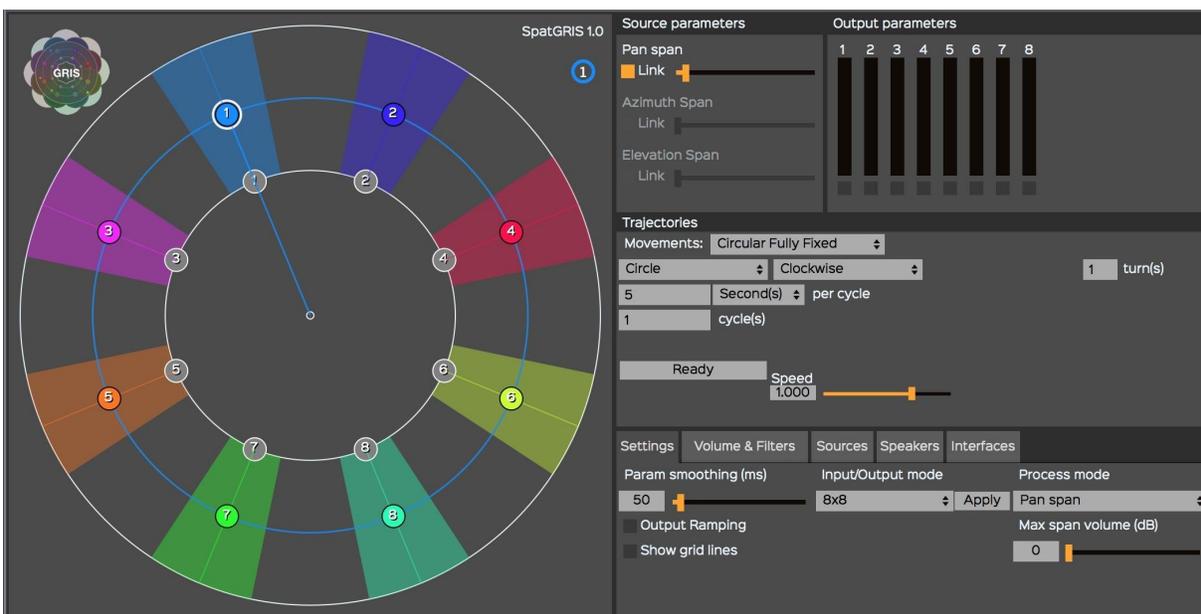


Figure 24 – Interface utilisateur de *SpatGRIS*

3.4 Techniques d'écriture

Une des techniques d'écriture principales employées pour *MITS* était de tracer des enveloppes à même les objets tel que le démontre la Figure 25. *Reaper* donne la possibilité d'écrire, pour chaque objet, autant d'enveloppes que l'on peut le souhaiter. Il est possible d'utiliser des *item FX* qui sont des effets audio associés à un objet unique. Ils sont activés lorsque la tête de lecture approche l'objet et désactivés lorsque celui-ci s'achève. Travailler de cette manière au niveau local m'a amené à créer 1014 occurrences d'effets. C'est évidemment beaucoup plus de travail que d'utiliser des auxiliaires (que j'ai également utilisés mais en

⁴² À l'époque où je créais *MITS*, *ServerGRIS* venait d'être rendu public. Il m'aurait permis une meilleure gestion de la verticalité et une meilleure gestion de la transmissibilité et de l'adaptabilité de la spatialisation. Toutefois, à l'heure actuelle il n'est pas encore disponible pour Windows.

moindre nombre), mais malgré le temps que cela exige, j'ai aimé travailler la qualité individuelle de la plasticité des objets.

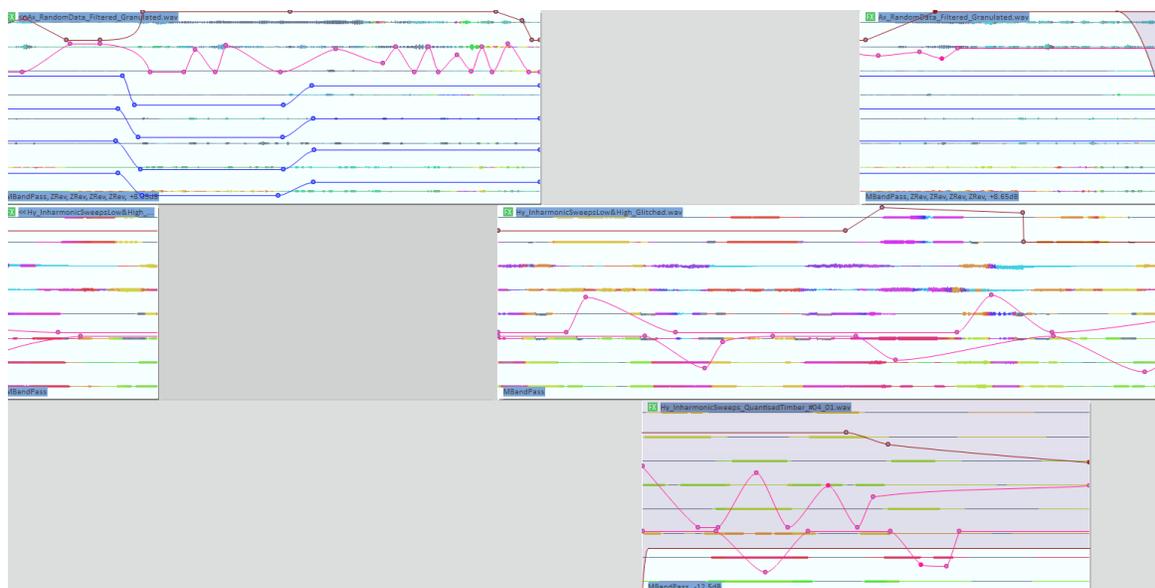


Figure 25 – Écriture d’enveloppes d’objets sur des fichiers octophoniques dans *Reaper*

Principalement, j’ai utilisé des filtres passe-bas et autres EQ (331 occurrences) et des réverbérations (494 occurrences). Les 189 effets restants sont divers effets de modulation, des distorsions, des *bitcrusher* etc.

L’autre technique d’écriture utilisée est le montage, dont un extrait est présenté à la Figure 26. Le montage est une des techniques fondatrices de la musique acousmatique. Il y a 1508 objets sur la table de montage du STAN pour *Machine in the Shell*. Assembler tout cela a été extrêmement chronophage, mais c’est une des tâches que je préfère. J’éprouve beaucoup de satisfaction à créer de toutes pièces des scènes complexes et je pense que cela sert le discours musical. Bien entendu, une pièce n’a pas besoin d’être constituée de milliers d’objets pour être intéressante. Je pense toutefois que le montage et l’articulation de nombreux objets demeure une technique reine en écriture acousmatique, plus encore aujourd’hui, alors qu’il suffit d’appuyer sur un bouton pour générer du flux musical à l’infini. Par le montage, on

s'applique à trouver des connections entre des objets. Il oblige à continuellement prendre des décisions. Même si la machine est aujourd'hui plus que jamais capable de créer des connections, le montage manuel donne l'assurance qu'un humain se commet à articuler le discours musical dans le temps, la dynamique, le spectre et l'espace⁴³.

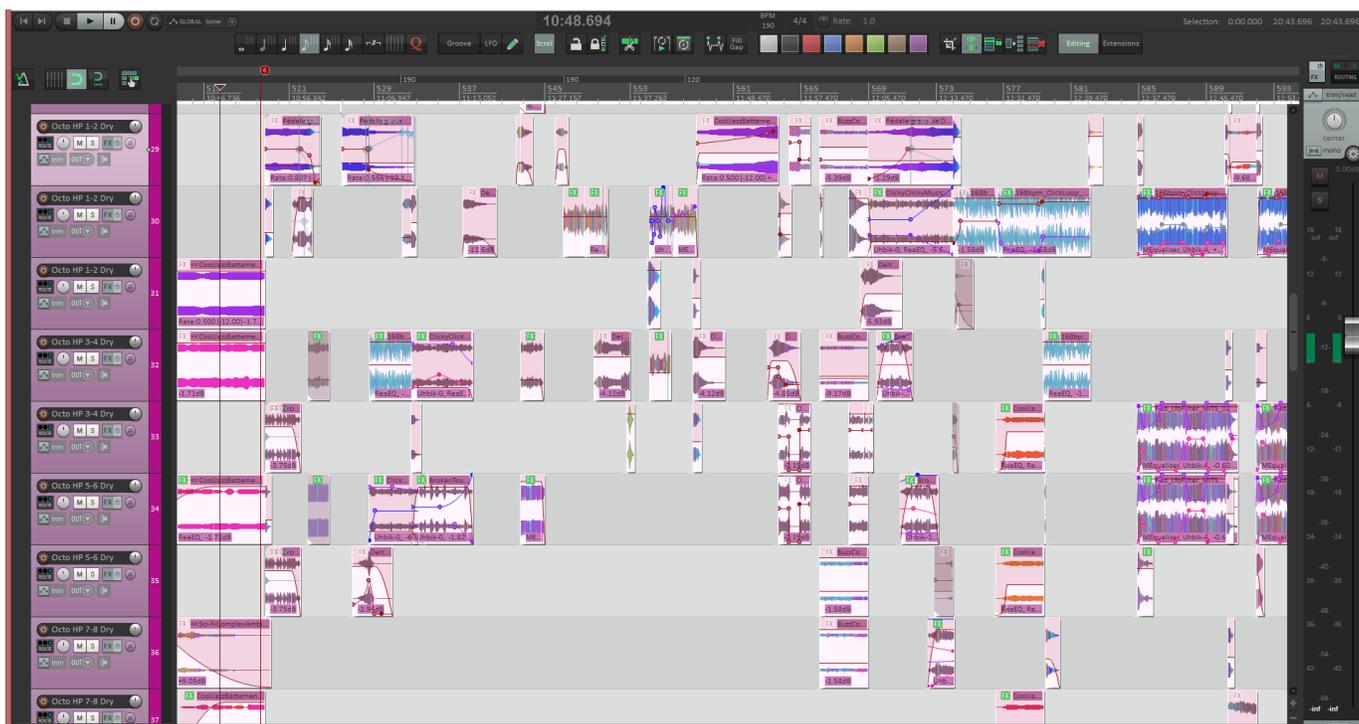


Figure 26 – Un extrait du montage dans *Maschine in the Shell*

⁴³ Il existe toutes sortes de techniques permettant de simuler le montage par le déclenchement automatisés d'évènements. Je parle bien sûr ici du montage traditionnel : couper, copier, coller, placer, déplacer...

CHAPITRE 4

Analyse de *Gu(I)t(A)rs*

Musique mixte pour guitare classique, guitare électrique, guitares virtuelles et intelligence artificielle. D'une durée de 22 minutes environ, l'œuvre emploie une série de *patch Max*, *Ableton Live 9.7.5*, un *Leap Motion* et un contrôleur *Ableton Push 2*.

Guitare classique : Christophe Pratiffi.

4.1 Genèse du projet et motivation à écrire pour la guitare

À mon adolescence, j'ai accédé au monde de la musique par la découverte de la guitare électrique et d'un *tracker*⁴⁴ sur ordinateur Amiga 500. La guitare et l'informatique musicale n'ont ensuite eu de cesse de cohabiter dans ma pratique. Au fil des années je me suis investi dans des genres musicaux radicalement différents mais j'ai toujours cherché à faire cohabiter ces deux éléments. Je souhaitais donc, pour mon dernier projet de composition à la maîtrise, créer une œuvre pour guitare et système numérique qui reflète cette diversité de parcours et qui mélange ces deux modalités de mon expression artistique.

Il y a dans *Gu(I)t(A)rs* des éléments idiomatiques de la guitare classique et du rock progressif. Il y a également des harmonisations issues de mon étude du jazz et des techniques de traitement du signal dans le domaine fréquentiel. J'ai employé des guitares virtuelles utilisant la modélisation physique et jouées par des algorithmes musicaux contrôlés en temps-réel par une caméra infrarouge. Enfin, il y a de la lutherie numérique et une intelligence artificielle.

⁴⁴ Les *tracker* étaient des séquenceurs musicaux populaires de la *demoscene* du début des années 90. Quelques échantillons sonores étaient stockés sur un support amovible. Dans le cas de *Fast Tracker II* que j'utilisais, les disquettes simples de 3 pouces et demi permettaient de stocker 720 ko. *FT II* disposait de 8 pistes permettant de séquencer le déclenchement des échantillons et de modifier leur hauteur.

Pour ce projet, j'ai collaboré avec le guitariste classique et concertiste Christophe Pratiffi⁴⁵ qui est un ami de longue date. Il a une passion telle pour son instrument qu'il m'a incité à m'inscrire au conservatoire en 3^e cycle de guitare classique lorsque j'avais 24 ans, âge où l'on quitte plus généralement le conservatoire. Christophe est particulièrement puriste dans son approche de la guitare. C'est à dire qu'il est spécialiste de la guitare classique et totalement dévoué à cet instrument. Pour ma part, j'ai utilisé la guitare dans des styles classiques, modernes et populaires. Je m'en suis également servi comme générateur sonore pour des pièces acousmatiques, comme instrument de contrôle dans des contextes d'algorithmie musicale en temps-réel ou bien dans le cadre de musiques mixtes. Ainsi, cette rencontre de visions différentes de notre instrument m'intéressait.

Les parties instrumentales de l'œuvre consistent en des duos pour guitare classique et électrique. Je souhaitais que cette création soit un point de rencontre entre ces deux instruments dont les communautés sont bien trop souvent en clivage, voire se dénigrent. En effet, ces deux instruments si proches dans leur lutherie sont en même temps parfois si éloignés dans leurs répertoires et leurs cultures, que les associer sur scène a été riche en rencontres esthétiques.

4.2 Analyse de la section 1

Gu(I)t(A)rs est divisée en quatre sections. Les sections 2 et 4 sont instrumentales et écrites, tandis que les parties 1 et 3 sont électroacoustiques et improvisées. Les parties électroacoustiques emploient différentes stratégies et technologies que je vais détailler.

La première partie est de type improvisée et libre. La seule contrainte est un compteur temporel dans *Max* afin de rester dans une durée approximative de 5 à 6 minutes.

⁴⁵ <https://www.christophepratiffi.net/>

Pour cette section de la composition, j'ai échantillonné des fragments d'enregistrements de Christophe Pratiffi afin de créer un instrument virtuel. Son parcours musical est très ancré dans la tradition instrumentale classique et j'étais intéressé à créer une version numérique de sa guitare afin qu'il puisse improviser avec en temps-réel. C'était pour lui une toute nouvelle expérience. Quant à moi, cela me permettait de tester comment un musicien professionnel, novice en électroacoustique, pouvait exprimer sa musicalité via l'instrument que j'avais créé et ainsi mettre à l'épreuve mes compétences en lutherie électroacoustique.

Je souhaitais volontairement que l'instrument soit très simple d'utilisation car nous savions que le temps consacré à son apprentissage serait d'environ une heure. J'ai édité 64 échantillons très courts. Toutes les durées sont des multiples de 80 et sont comprises entre 80 et 1280 ms. Chaque échantillon consiste en une note unique parmi les 12 chromatismes. Ils sont déclenchés via un contrôleur *Ableton Push 2* et sont identifiés par un code couleur. Une fois activé, l'échantillon joue en boucle jusqu'à ce qu'on l'arrête. Les échantillons proposent différentes nuances dynamiques qui sont organisées de façon croissante sur le contrôleur de haut en bas. Christophe peut déclencher les notes de son choix jusqu'à un total de 8 en simultané.

Les 8 pistes audio qui regroupent les échantillons sont envoyées vers des filtres à variable d'état (un filtre par piste) et l'ensemble est envoyé vers une unité de réverbération en auxiliaire. Enfin, le volume de chacune des 8 pistes est assigné à un contrôleur et quelques échantillons percussifs additionnels permettent d'ajouter des éléments purement rythmiques : il s'agit de percussions sur la table d'harmonie de la guitare.

Il était intéressant de constater comment Christophe et moi avions une approche radicalement différente de cet instrument. Lorsque je crée des instruments numériques de ce type, je les utilise avec une attitude expérimentale : je pose un geste au hasard, j'écoute le résultat, cela m'inspire un autre geste, puis je fais des ajustements avec les paramètres qui me sont disponibles et ainsi de suite. C'est une approche d'improvisation basée sur le jeu, la découverte et l'essai-erreur où chaque itération est unique et laisse une part importante au hasard. Christophe a tout de suite cherché à prendre quelques repères, à composer avec l'instrument; c'est à dire à mémoriser des séquences de gestes afin d'être en mesure de les reproduire pendant la performance. Je ne sais pas si c'est par habitude de jouer de la musique écrite ou tout simplement pour s'assurer de créer quelque chose de convaincant pendant la performance. Il disposait de peu de temps de pratique avec l'instrument (environ une heure au total avec un délai de deux semaines entre la répétition et la création de l'œuvre), Il a dû se plier aux exigences de l'improvisation libre. Ce type de performance ne fait pas tant appel à la mémoire qu'elle favorise l'écoute et la spontanéité.

L'instrument créé, aussi simple soit-il, me semble réussi dans sa conception. Il est suffisamment ludique et intuitif pour être pris en main en quelques minutes à peine mais assez profond pour créer des paysages guitaristiques d'une grande diversité pouvant se renouveler pendant des heures. Christophe Pratiffi a pris beaucoup de plaisir à l'utiliser et à écouter une version numérique de lui-même. L'instrument virtuel ne permet pas de reproduire les possibilités de son modèle acoustique (et ce n'était pas mon but), mais ce qu'il permet de créer est physiquement impossible à produire sur l'instrument original (du moins pas sur une guitare traditionnelle jouée par un humain).

Durant cette section, pendant que Christophe Pratiffi improvise avec l'instrument virtuel, j'improvise à la guitare électrique en utilisant des traitements spectraux⁴⁶ et un *ebow*⁴⁷. Ainsi, tandis que lui a accès à une palette de sonorités itératives, pour ma part, les sons que je produis sont entretenus. Mon rôle est toutefois secondaire dans cette section de l'œuvre où l'emphase est mise sur la guitare virtuelle.

4.3 Analyse des sections 2 & 4

Les parties 2 et 4 sont écrites en notation traditionnelle pour guitare classique et guitare électrique. Je n'ai pas suivi d'algorithme compositionnel ni respecté aucun processus réellement conscient et planifié. Tout est composé "à l'oreille". La méthode d'écriture pour ces sections a été de composer sur l'instrument puis de retranscrire le tout sur partition à l'aide de l'éditeur *Sibelius*.

Mes goûts guitaristiques sont assez variés. J'ai beaucoup joué et écouté de musiques rock et ses dérivés (métal, punk, *brit-pop*, etc.). J'ai également travaillé le funk, le blues, le jazz fusion et le jazz manouche, en autodidacte et auprès de plusieurs professeurs. Mes années de conservatoire m'ont donné la chance de découvrir et d'être touché par la beauté d'œuvres pour guitare classique de compositeurs espagnols et sud-américains dont Agustin Barrios Mangore, Francisco Tárrega, Leo Brouwer et Heitor Villa-Lobos pour ne citer qu'eux. Mon style est donc teinté de ses diverses influences.

⁴⁶ *Spectral Magic* est une suite de traitements spectraux temps-réel développés par Michael Norris <http://www.michaelnorris.info/software/soundmagic-spectral>

⁴⁷ Un *ebow* est un électro-aimant permettant de mettre en vibration les cordes d'instruments de musique. Cela permet à des instruments à cordes pincées comme la guitare d'avoir un mode d'excitation entretenu. <https://fr.wikipedia.org/wiki/EBow>

Pour ces sections purement instrumentales de l'œuvre, je n'utilise aucun mode de jeu étendu. L'écriture est traditionnelle et repose sur les hauteurs, les rythmes et les nuances. Le reste est laissé au soin de l'interprète, comme cela est généralement le cas dans le répertoire classique et dans la transmission des musiques populaires. Je n'ai aucunement cherché à diriger Christophe. Il s'agit de duos. Pour sentir et interpréter ensemble la musique que j'ai écrite, nous avons fait 2 séances de répétitions avant la première création.

J'ai souhaité conserver un son brut à la guitare électrique, en me limitant aux sons *clean*⁴⁸ et *crunch*. Dès les années 60, les techniques de traitement du signal opérées par les ingénieurs du son dans les studio d'enregistrement pour la musique populaire et par les musiciens ont évoluées en parallèle des découvertes électroacoustiques des studios de musique savante⁴⁹. Toutefois, pour contraster avec les parties 1 et 3 de l'œuvre où je fais l'emploi de multiples technologies, je voulais présenter dans ces sections instrumentales, la guitare dans son appareil le plus épuré.

4.4 Analyse de la section 3

Cette partie est entièrement électroacoustique. J'ai recours à diverses technologies mises en relations les unes avec les autres.

⁴⁸ Le son dit "*clean*" dans la terminologie de la guitare électrique ou "clair" lorsque francisé, indique le son naturel de la guitare, seulement coloré par le préampli, l'ampli de puissance et l'enceinte. Le son "*crunch*" est légèrement saturé, pour ajouter des harmoniques et obtenir un son plus soutenu.

⁴⁹ Des musiciens tels que Jimi Hendrix et Frank Zappa étaient à l'affût des dernières innovations pour travailler le son. Hendrix a élaboré hors-temps des œuvres sonores qui sont de réelles productions de studio ("*EXP*", qui ouvre l'album "*Axis : Bold As Love*" est une création de ce type). Zappa, en plus de travailler avec soin sa musique dans son studio d'enregistrement était un pionnier de l'orchestration audionumérique au *Synclavier* ("*The Black Page*" est un concentré du savoir-faire de Zappa sur cette machine qui précède nos stations de travail audionumériques modernes).

4.4.1 Guitares virtuelles

Deux guitares virtuelles de synthèse créées par modélisation physique⁵⁰ sont les instruments de cette section. L'une est un équivalent de guitare électrique (Figure 27) et l'autre de guitare classique (Figure 28). Je ne cherchais pas nécessairement à reproduire avec fidélité le son de ces instruments. En effet, un des avantages de la synthèse par modélisation physique est de créer des instruments fantaisistes et aux timbres originaux. Toutefois, je souhaitais conserver cette idée de duo de guitare et voulais que chacune d'elle soit une représentation virtuelle de Christophe et de moi. Ainsi, la guitare électrique virtuelle a des sonorités fines et plutôt tranchantes, tandis que la version numérique de la guitare classique possède un son rond et plus chaleureux.



Figure 27 – L'instrument *Tension* réglé pour la guitare électrique virtuelle



Figure 28 – L'instrument *Tension* réglé pour la guitare classique virtuelle

⁵⁰ L'instrument virtuel employé pour créer ces guitares est "*Tension*" d'*Ableton Live*. Ce générateur sonore repose sur l'algorithme *Karplus-Strong* pour modéliser des instruments à cordes pincées ou frappées.

4.4.2 Algorithmie musicale de *Gu(I)t(A)rs*

Les algorithmes de *Gu(I)t(A)rs* sont les générateurs d'événements MIDI qui jouent les guitares virtuelles.

Pour ce projet, je ne souhaitais pas utiliser mon programme *Agône* ni aucune instance externe de *Max*. Par soucis de simplicité, je voulais que tout soit inclus dans le projet *Ableton Live*. J'ai donc uniquement utilisé des modules *Max for Live* et des effets MIDI. Pour chacune des guitares virtuelles, l'algorithme se compose comme suit (Figure 29) :

- Une machine de Turing⁵¹ envoie des *note-on* MIDI
- Les *note-on* sont reçus dans un *rack* de chaînes (groupe de chaînes en parallèle)
- Chaque chaîne correspond à un comportement de jeu, dit "rôle" : mélodique, harmonique en triades ou en tétrades, arpèges ascendants ou descendants, soliste, etc. Pour chacune des 20 chaînes (10 chaînes identiques mais indépendantes pour chaque guitare), j'utilise dans plusieurs combinaisons, les effets MIDI suivants:
 - transpositeur à intervalle fixe
 - transpositeur aléatoire
 - générateur d'accords
 - arpégiateur
 - simulateur de *rasgueado*⁵²
 - générateur de *note-off*
- La sortie du *rack* de chaînes des comportements est ensuite envoyée dans un nouveau groupe de chaînes de quantification des hauteurs MIDI. Chaque chaîne correspond à 1 accord parmi 25 accords que j'ai arbitrairement choisis dans la section 2

⁵¹ J'utilise une machine de turing créée par Alessandro Petrone <https://gumroad.com/ap1#nKYxo>

⁵² Le *Rasgueado* est une technique de guitare utilisée dans la musique flamenco. Les cordes sont égrenées les unes après les autres bien trop rapidement pour parler d'un arpège, mais suffisamment distinctement pour percevoir chaque attaque. Cet effet est simulé grâce à la mise en mémoire tampon de notes entrantes MIDI et de délais MIDI.

de la pièce. Il s'agit des accords de : D6; Dm b9/11/13; Eb dim; Ebm add4; E b9; Em7 b9/11; E 9/13; EM7 #11; FM7 9/11; F 11/b13; F# 9/11/13; F#min7 11; G9; G7 9/b13; G 9/11/13; G #5/9; G#m7; A b9/b13; Am7; Bb 9/13; Bb b9/11; BM7/b5; B7 11; C7 9/#11; CM7 9/13.



Figure 29 –Une section de chaîne d'un rack dédié à l'algorithmie dans *Ableton Live*

4.4.3 Leap Motion

Le *Leap Motion*, commercialisé à la mi-2013, est un périphérique USB qui crée une zone invisible dans laquelle interagir. Équipé de caméras infrarouge, son champ de vision optimal porte jusqu'à 60 centimètres au dessus du dispositif, avec un angle de 150° de large pour 120° de profondeur (selon les informations fournies par le constructeur). Des algorithmes de reconnaissance de forme cherchent à détecter les avant-bras, les paumes et les doigts de l'utilisateur.

Je l'utilise conjointement avec un objet *Max*⁵³ qui accède à l'API⁵⁴. J'ai créé un *patch* *Max* qui permet de récupérer un certain nombre d'informations provenant du *Leap Motion* et de les convertir en MIDI afin d'interagir avec les algorithmes générateurs d'événements.

⁵³ Pour interfacer le *Leap Motion* dans *Max*, il existe à ma connaissance trois objets externes, *aka.leapmotion* de Masayuki Akamatsu <http://akamatsu.org/aka/max/objects/> ; *MRleap*, de Martin Ritter <http://www.martinritter.com/software/maxmsp/mrleap/> ; ainsi qu'un objet réalisé par l'équipe ISMM de l'IRCAM ismm.ircam.fr. Ce dernier se base sur une version plus récente du SDK et offre une ergonomie supérieure aux autres. Pour avoir essayé les 3, je préfère le dernier et c'est lui qui est utilisé dans l'œuvre.

⁵⁴ L'API est un ensemble de routines et de protocoles de communication permettant de créer des logiciels autour de diverses pièces d'équipement et d'autres logiciels communicants entre eux. C'est ce qui permet par exemple à *Max* de contrôler des éléments de *Live* comme sa matrice d'assignations ou sa palette de transport.

Le *Leap Motion* offre un grand nombre de degrés de liberté. Ceux que j'utilise sont (pour chaque main) :

- Position en x , y et z
- Vitesse en y
- Roulis (rotation en x)
- Tangage (rotation en y)

Chaque contrôle fourni par le *Leap Motion* est ensuite assigné à différents paramètres des algorithmes (comme le registre, la vitesse des arpégiateurs ou la durée des notes MIDI).

Ainsi, le jeu des guitares virtuelles est soumis à 3 influences :

- La partie autonome des algorithmes
- Mon intervention via le *Leap Motion*
- Le réseau de neurones artificiels

4.4.4 Réseau de neurones artificiels

J'ai voulu utiliser un réseau de neurones artificiels afin d'explorer une nouvelle avenue d'expression humain-logiciel. La possibilité d'obtenir, en sortie du réseau, des valeurs organisées mais imprévisibles, est une chose fascinante car elle est génératrice d'articulations et de timbres que je n'aurais pas envisagé sinon.

Le réseau de neurones artificiels utilisé est développé par Benjamin Day Smith⁵⁵. Il fonctionne en deux temps : une période d'apprentissage pendant laquelle le réseau interprète et organise des informations et une phase ultérieure pendant laquelle l'information enregistrée est sollicitée.

Durant la section 2 de *Gu(I)t(A)rs*, le réseau est en mode apprentissage. Il reçoit des listes de 30 paramètres fournis par les descripteurs audio⁵⁶ comme l'amplitude, la répartition de l'amplitude par bande spectrale, la fréquence fondamentale, le centroid, etc.

Le réseau dispose de 1024 neurones dans lesquels il va placer les listes entrantes. Le rôle de cette forme virtuelle d'intelligence est d'interpréter cette succession de listes et de les placer dans son réseau en les organisant en fonction de similitudes et de différences qu'elle reconnaît⁵⁷. L'objet *Max* dispose également d'un paramètre variable qui permet de simuler la plasticité cérébrale. Cela signifie qu'une fois qu'une liste est placée dans un neurone, elle pourra ultérieurement être modifiée sous l'influence des listes placées dans les neurones adjacents, ce qui confère au réseau un comportement dynamique.

Une variable permet d'influer sur la rapidité d'apprentissage du réseau. Les listes sont envoyées toutes les 50 ms et le réseau dispose de 1024 neurones⁵⁸. Puisque le réseau utilisé est

⁵⁵ Il s'agit d'un objet pour l'apprentissage machine développé par Benjamin Day Smith (<http://ben.musicsmiths.us/ml.phtml>) pour lequel j'ai créé un *patch Max* me permettant d'interfacer le réseau avec des descripteurs audio et le projet *Ableton Live*.

⁵⁶ En recourant au même programme que j'utilise pour *Verklärter Rohr* détaillé en pp. 31-33).

⁵⁷ La communauté scientifique exploite différentes formes de simulation de reconnaissance de forme et d'interprétation de données pour créer de l'intelligence artificielle. La technique employée dans l'objet *Max* de Benjamin Day Smith repose sur les cartes auto-adaptatives (*self-organising map*). Par cette méthode, le réseau va interpréter les données puis les cartographier : c'est à dire les répartir dans le plan selon leurs ressemblances et disparités. Dans ce système, chaque neurone est aux coordonnées x, y d'un plan à deux dimensions. https://fr.wikipedia.org/wiki/Carte_auto_adaptative

⁵⁸ Le nombre de neurones est variable et défini par l'utilisateur. Je me suis arrêté sur ce nombre par essai-erreur après une phase d'expérimentation.

de type cartes auto-adaptatives, chaque neurone se spécialise à représenter un type de donnée. L'apprentissage ne se fait pas en plaçant les listes dans les neurones l'un après l'autre, mais bien en comparant les listes entre elles au cours du temps et en les organisant selon la spécialisation dynamique des neurones. En ajustant la variable du temps d'apprentissage, le temps nécessaire pour occuper tout le réseau change grandement. La documentation de l'objet ne permet pas de savoir comment cela se produit. Est-ce parce que les listes sont comparées sur un temps plus long? Est-ce que des valeurs moyennes sont calculées? J'ai défini ce paramètre afin de laisser le réseau apprendre pendant une durée d'environ 5 minutes, ce qui correspond environ à la durée de la section 2 de l'œuvre.

Un autre paramètre du réseau permet d'ajuster la zone d'influence d'un neurone sur les neurones adjacents. Autrement dit, comment une liste placée sur un point du plan va irradier les points autour de lui dans une zone plus ou moins grande. Les paramètres de plasticité cérébrale, de temps d'apprentissage et d'irradiation sont donc intimement liés et définissent ensemble le comportement du réseau et le type de cartographie de données que l'on obtiendra. J'ai empiriquement calibré le réseau pour obtenir en sortie, des valeurs contrastantes certes, mais présentant suffisamment de continuité entre les neurones pour ne pas équivaloir à du pseudo-aléatoire.

À la Figure 30, on peut voir le réseau neuronal après 3 périodes d'apprentissage réalisées pour des tests. Chaque carte correspond à un fichier sonore différent. Le réseau de 32 par 32 neurones est bien visible par l'effet de pixellisation. Les 30 paramètres entrants dans le réseau sont convertis pour obtenir les 3 valeurs de rouge, de vert et de bleu qui représentent graphiquement chaque neurone. Cette représentation est arbitraire (la valeur de chaque couleur des pixels est le résultat de la somme de dix descripteurs). C'est la valeur comparée de ces différentes analyses qui est intéressante. En effet, cela donne un retour visuel utile lorsque l'on

paramètre le comportement du réseau : sa plasticité, sa rapidité d'apprentissage et l'influence mutuelle des neurones adjacents.

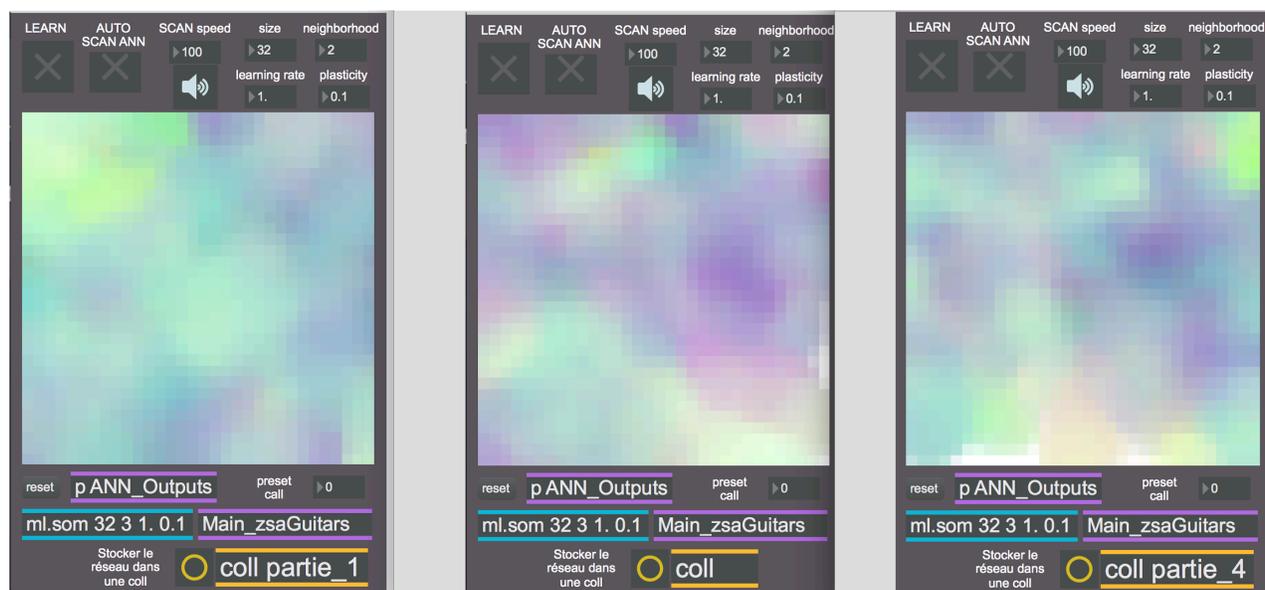


Figure 30 – Le réseau de neurones artificiels après 3 phases d'apprentissage

Pour la section 3 de *Gu(I)t(A)rs*, le réseau n'est plus en mode apprentissage et je le sollicite en utilisant une routine programmée dans *Max* qui va scanner les neurones les uns après les autres à une vitesse variable prédéfinie. Dans chaque neurone est placée une liste de valeurs dont la longueur est égale à la liste entrante fournie par les descripteurs audio mais interprétée, modifiée et organisée par cette simulation d'intelligence. Scanner le réseau revient à requérir les listes placées aux différentes coordonnées du plan.

Chaque élément de la liste est ensuite assigné à un paramètre des guitares virtuelles. Il n'y a pas de relation explicite entre les données fournies par les descripteurs audio et les paramètres des moteurs de synthèse de *Tension*. J'ai toutefois cherché à faire des assignations qui me semblaient logiques. La vue schématique de l'ensemble du projet *Gu(I)t(A)rs* ainsi que les assignations entre le réseau neuronal et les synthétiseurs sont représentées à la Figure 31.

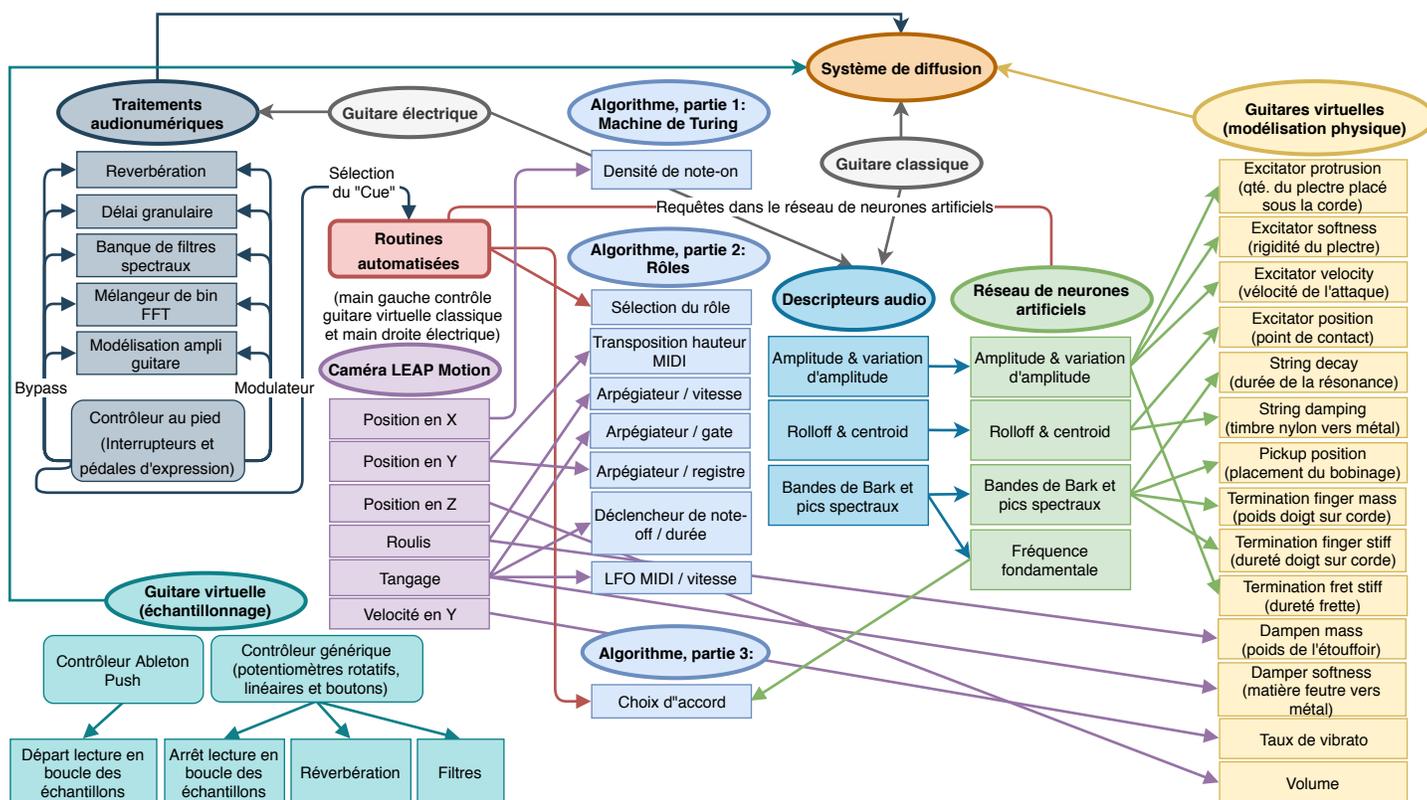


Figure 31 – Vue schématique de *Gu(I)t(A)rs* et mapping partiel

4.4.5 Critique de mon utilisation du réseau neuronal

Le réseau de neurones artificiels est en période d'apprentissage dans la section 2. Il analyse les signaux audio sommés des deux guitares, puis contrôle durant la section 3 certains aspects du timbre des guitares de synthèse. Utilisé avec les guitares virtuelles qui sont également sous l'influence d'algorithmes et de mon intervention avec le *Leap Motion*, il est trop complexe de comprendre la relation entre la phase d'apprentissage et la phase de jeu de l'intelligence artificielle. Les modulations qu'opère le réseau sur les moteurs de synthèse pourraient tout aussi bien provenir d'enveloppes ou d'un LFO que perceptiblement nous ne saurions faire la différence.

Mon emploi de cette technologie dans *Gu(I)t(A)rs* consiste en ma première expérimentation avec cette ressource. Lors de projets futurs, j'envisage de lui donner une place plus centrale, par exemple en remplaçant des algorithmes déterministes par des techniques où le réseau serait un générateur d'évènements et pas seulement un modulateur. Je vais chercher des stratégies pour rendre la relation apprentissage-exécution plus explicite, probablement en accordant un lien formel fort à cette relation et en simplifiant le système. Je pense aussi qu'il sera judicieux de faire l'apprentissage sur moins de paramètres.

Toutefois, grâce au recours à cette technologie, j'ai obtenu des variations de timbre qui sont le fruit de la machine et qui constituent une forme de surprise et de découverte. C'est là que se trouve je pense l'intérêt majeur de cette ressource pour l'art. Je souhaite poursuivre l'exploration de cette interaction entre organique et numérique grâce à l'intelligence artificielle dans mes prochaines créations.

4.5 Projet auxiliaire à *Gu(I)t(A)rs* : *RobotGuitar*

Je vais utiliser une guitare-robot dans cette œuvre. Cela n'a malheureusement pas pu être le cas pour la première de *Gu(I)t(A)rs* car j'ai rencontré beaucoup de conflits entre plusieurs logiciels. Aussi, par la diversité de ses modalités, la pièce présentait déjà un défi particulièrement élevé. Néanmoins, j'ai réalisé le prototype de cette guitare-robot pendant ma maîtrise est celui-ci est parfaitement fonctionnel. Il sera inclus dans une version future de *Gu(I)t(A)rs* puisque cela s'inscrit dans mon intention de représenter l'instrument sous différentes formes (classique, électrique, virtuelle et robotique).

Cet instrument présenté aux Figures 32 et 33 est posé sur un pied et occupe sur scène, le rôle d'un instrumentiste à part entière. Il n'est pas autonome à ce jour et il faut lui envoyer un signal audio pour le mettre en activité. À l'intérieur de la caisse de résonance, j'ai disposé

des solénoïdes. Lorsque je joue de la guitare électrique, un *patch Max* détecte les attaques et crée des séquences rythmiques qui sont envoyées aux solénoïdes par un micro-contrôleur *Arduino*. Un haut-parleur se trouve dans la caisse de résonance et un autre dans la rosace. Ce que je joue à la guitare électrique est enregistré dans une mémoire tampon. Un granulateur, dont la sortie est envoyée vers des chaînes de traitement, manipule ces enregistrements qui sont diffusés par les haut-parleurs de la guitare-robot. De la vidéo générative réagissant au son de la guitare électrique est projetée sur la table d'harmonie recouverte d'adhésif blanc. Enfin, des matrices de LED recouvrent le manche de la guitare-robot qui réagissent également au signal audio de la guitare électrique.

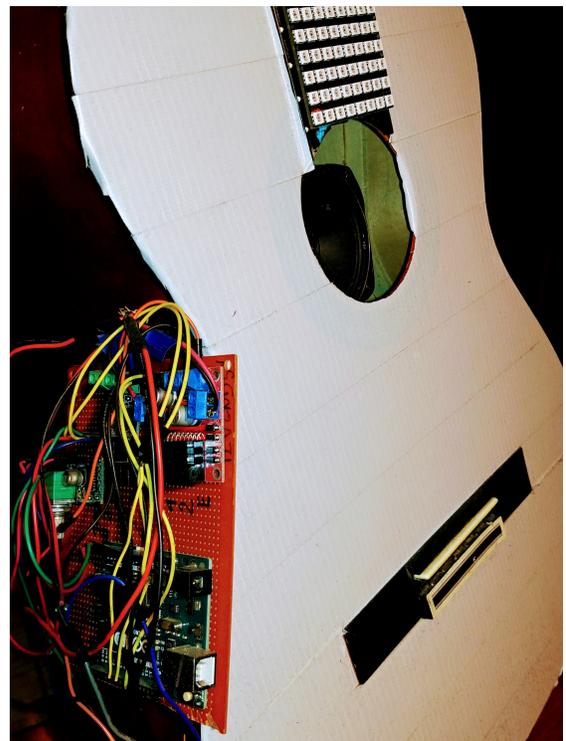
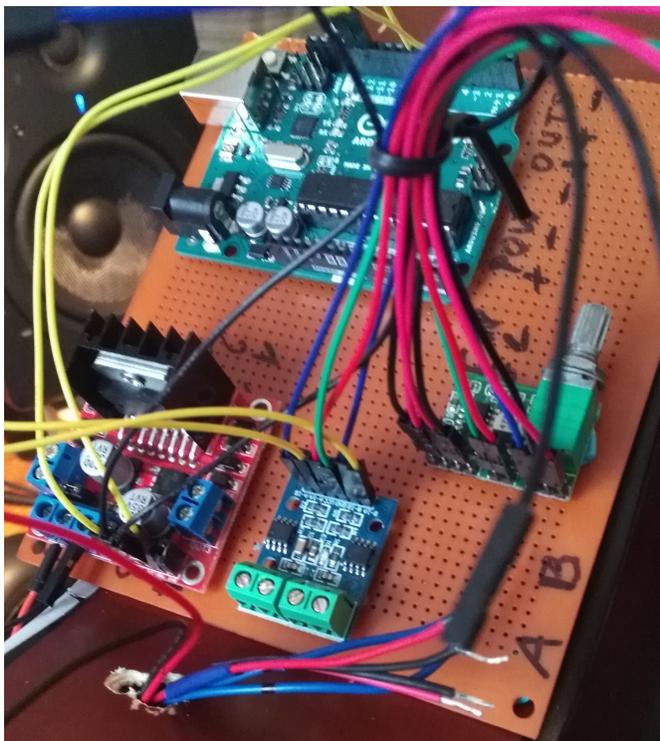


Figure 32 et 33 – Vues du prototype de RobotGuitar

Conclusion

Ce projet de maîtrise visait à explorer plusieurs types d'interaction humain-ordinateur. J'ai créé trois œuvres qui englobent les différentes modalités de mon expression artistique, soit : le jeu instrumental, les outils et techniques d'écriture électroacoustiques, l'électronique en direct, l'algorithmie, les processus génératifs et la vidéo. *Verklärter Rohr*, *Machine In The Shell* et *Gu(I)t(A)rs* sont trois pièces différentes dans leurs formes et leurs contenus mais toutes questionnent ces modalités. Elles convergent toutes vers mon centre d'intérêt qu'est l'utilisation de techniques génératives appliquées à la musique et la vidéo dans des environnements d'interaction humain-machine.

Pousser mes connaissances en techniques génératives m'a permis d'affirmer mon langage audiovisuel. L'apprentissage et l'application de ces nouvelles techniques numériques de création a changé la nature des matériaux avec lesquels je travaille : ceux-ci étant directement synthétisés ou manipulés par la machine pour une part importante du corpus que j'ai créé, ils portent en eux une signature numérique. En cela, ces trois œuvres répondent à mon exigence initiale de créer des pièces hybrides organiques et numériques.

Mes choix — les prises de décisions que doit faire un créateur à chaque instant du processus de création — m'appartiennent : ils sont le fruit de ma culture et de mon expérience, de mes goûts et de mes aspirations. Cependant, le recours à de nouvelles techniques de création m'a mis face à des choix nouveaux : d'autres matériologies audiovisuelles pour *Verklärter Rohr*, d'autres organisations spatio-temporelles pour *Machine In The Shell*, d'autres façons de penser un instrument pour *Gu(I)t(A)rs*.

Créer *PolWeiSky*, le synthétiseur visuel, a été une tâche importante de mon projet de maîtrise. J'ai depuis utilisé ce synthétiseur dans d'autres créations et il fait parti aujourd'hui de

mon langage visuel. On peut retrouver son utilisation dans des créations comme *Denise & Paula*⁵⁹ et *Hijack*⁶⁰. Je travaille actuellement à le transposer sur l'environnement de *Touch Designer*. Je pense à terme gagner en possibilités et en stabilité.

Travailler avec des instrumentistes de très haut niveau comme Charlotte Layec et Christophe Pratiffi fut un grand honneur et privilège. Composer pour des instrumentistes était nouveau pour moi puisque à part quelques expériences de lecture par des ensembles professionnels, mon travail consistait jusqu'alors à composer pour des machines ou pour moi-même. J'ai beaucoup appris de ces collaborations. Créer le dispositif numérique de *Verklärter Rohr* a pris près de deux années et n'aurait pas pu être réalisé sans la dévotion de Charlotte Layec dont je ne connaissais pas l'instrument. J'espère avoir encore l'opportunité dans ma carrière de composer pour des instrumentistes de leur stature.

Verklärter Rohr a été jouée à de nombreuses reprises au Canada, aux États-Unis et en Corée du Sud. Nous avons eu la chance de présenter le projet dans des contextes très variés et auprès de publics radicalement différents : des jeunes enfants en éveil musical, des adolescents en camp musical, des clarinettistes professionnels lors du festival international de la clarinette de Knoxville de 2019, des publics de festivals de musique d'avant-garde, le grand public (Nuit Blanche 2019 de Montréal à l'Espace OSM), des entrepreneurs du numérique (Startup fest MTL 2018), etc. Je suis sans cesse surpris de voir comment, peu importe le public, la pièce connecte avec lui. Les petits enfants s'émerveillent, les *geek* veulent savoir comment ça fonctionne, les clarinettistes écoutent Charlotte avec passion et le grand public semble transporté pendant 23 minutes.

⁵⁹ <https://jullianhoff.com/2019/01/05/denise-paula/>

⁶⁰ <https://jullianhoff.com/2019/01/08/hijack/>

Machine in the Shell, une pièce à la base acousmatique, vise à explorer les stratégies d'interaction humain-machine en art génératif. Alors que mes précédentes créations acousmatiques privilégiaient le tournage sonore et le montage d'objets transformés, j'ai pour cette œuvre utilisé presque essentiellement la synthèse sonore. Je cherchais à explorer des éléments de langage musical machinique et j'ai trouvé des stratégies de programmation des synthétiseurs pour obtenir des objets sonores pré-fabriqués par la machine et présentant des articulations surprenantes et complexes⁶¹. Le travail en amont sur la synthèse m'a permis d'améliorer mes compétences en programmation. Le temps passé au montage de la pièce à partir des matériaux pré-composés par la machine est resté néanmoins fidèle à une certaine tradition du genre acousmatique.

Gu(I)t(A)rs est un projet hybride, avec des sections purement instrumentales et d'autres purement numériques. De faire cohabiter dans une même création ces deux aspects était complexe mais je pense être parvenu à créer un tout cohérent. Je suis particulièrement satisfait de la troisième section de la pièce, pendant laquelle l'intelligence artificielle et moi-même, par le biais des gestes de mes mains dans l'air libre, agissons sur les algorithmes qui jouent les guitares virtuelles. Ce moment constitue la forme la plus aboutie d'hybridation humain-machine en musique que j'ai atteint à ce jour et a ouvert la voie pour la suite de mon travail.

Quel sera le futur de la création artistique? Le rôle de prise de décision de l'humain sera-t-il un jour supplanté par des agents artificiels? Ce rôle est sans conteste secondé et stimulé par la machine dans mon travail d'aujourd'hui. Toutefois, je n'accepterai jamais d'appuyer sur un bouton, de cliquer sur une icône *execute* d'un programme que je n'ai pas conçu, pour obtenir un résultat auquel j'apposerai mon nom. Les techniques génératives sont par contre un merveilleux moyen de s'affranchir de processus de production laborieux (comme la génération d'objets micro-montés complexes par exemple). Je prends cependant

⁶¹ À cet égard, les contrepoints et les processus spatiaux de l'Unité 5 de l'œuvre sont le fruit des synthétiseurs présentés en page 59.

plaisir à exécuter certaines tâches laborieuses et ne souhaiterais pas complètement les abroger : elles sont une conséquence de l'aspect artisanal de mon travail auquel je tiens. De plus, les techniques génératives stimulent mon esprit créatif en me permettant d'obtenir des matériaux originaux, dans leur facture, leur morphologie, leur articulation, leur agencement. Sans ces moyens de productions, peut-être que ces idées musicales et visuelles me demeureraient inaccessibles au mieux (en étant incapable de les produire), inimaginables au pire.

J'ai pu voir par moi-même l'évolution de l'informatique musicale sur 26 années. L'ergonomie s'améliore sans cesse et la puissance des machines augmente peu ou prou en respectant la loi de Moore. Les outils s'accumulent par centaines dans notre attirail de ressources en nous offrant toujours plus de choix (rendant peut-être le choix plus difficile; est-ce que cela nous incite à recourir au hasard et à accorder toujours plus de rôle décisionnel à la machine?). Cependant, force est de constater que fondamentalement, ce que l'on fait aujourd'hui était déjà ce que l'on faisait à mes débuts : on génère des événements et matériaux, on les organise, on traite des signaux, on les manipule et on les mélange. Lorsque l'on se plonge dans la littérature de la discipline, on constate que la plupart des idées de conception d'aujourd'hui que l'on retrouve en musique générative s'enracinent dès son origine.

Un des éléments qui par contre est une petite révolution en soi est très certainement l'intelligence artificielle. Bien que ses débuts théoriques remontent aux années 40 du siècle passé, son emploi est un enjeu majeur de notre temps. L'art — et la musique en particulier — ne fait pas exception. Le fait qu'un compositeur ait facilement accès à ce type de ressource pour composer, est une formidable opportunité et une promesse pour l'avenir.

L'intelligence artificielle, en art du moins, est aujourd'hui majoritairement employée pour analyser des corpus d'œuvres, afin par exemple, d'en générer des pastiches. Son emploi pour créer des formes nouvelles est encore très expérimental et c'est bien celui-ci qui m'intéresse.

Mon utilisation de cette technologie à ce jour reste à développer. Toutefois, je suis heureux d'avoir pu m'y initier. Car, j'ai pu grâce à cela entrevoir des possibilités très prometteuses s'inscrivant dans la continuité de mes travaux de recherche-crédation. Je sais maintenant que leur utilisation afin de chercher à créer des éléments nouveaux de langage audiovisuel, sera au coeur de mes projets futurs.

J'ai souhaité que mon travail de maîtrise ponctue et fasse la synthèse de ces 26 années à créer. Cela m'a amené à recourir à beaucoup de techniques dans des styles variés (chacune des trois œuvres a une singularité esthétique distincte des deux autres). Je suis d'ailleurs très reconnaissant d'avoir été supervisé par des artistes d'une grande culture et d'une ouverture d'esprit telle qu'ils ont pu me conseiller dans cette diversité tout en m'aidant à ne jamais me perdre. Finalement, il y a une partie de moi dans chacune de ces trois œuvres et toutes visent à leur manière ce but commun de l'interaction humain-machine pour la nouvelle création. Je pense avoir en partie accompli ce souhait de synthèse de mon parcours puisque ces trois œuvres rassemblent toutes les modalités d'expression et les techniques auxquelles j'ai eu recours depuis mes débuts. Mais plus important encore, j'ai découvert de nouveaux chemins (synthèse visuelle, intelligence artificielle, contrepoint spatial, musique mixte de type fusion organique-machinique) que j'emprunterai avec passion dans mes projets futurs.

Références

Tous les liens hypertextes ont été vérifiés en date du 10 Août 2019.

- BEAUGÉ, P. *Transposition didactique de la notion musicale de hauteur : du savoir au savoir à enseigner*. Recherche en éducation musicale, Revue de la faculté de l'université Laval numéro 22, Janvier 2004.
- BOUCHER, M. PICHÉ, J. *Sound/Image relationships in the context of abstraction : Towards a typological proposition*. *Seeing Sound* conférence, Bath Spa University, Bath, 23-25 Mars 2018.
- CAGE, J. Entrevue menée par Stephen Montague lors du sommet *American Music*, 1985. http://www.moredarkthanshark.org/eno_int_ammusic-sum85.html
- CHATEAURAYNAUD, F. *MARLOWE : vers un générateur d'expériences de pensée sur des dossiers complexes*, Bulletin de Méthodologie Sociologique, n° 79, Juillet 2003.
- CHION, M. *Audio-Vision*, éd. Nathan université, Paris, 1991.
- CHOMSKY, N. *Aspects of the Theory of Syntax*, Cambridge : The MIT Press, 1965.
- COLLINS, K. KAPRALOS, B. TESSLER, H. *The Oxford handbook of interactive audio*, Oxford University Press, New York, 2014.
- COLLINS, N. *Introduction to computer music* éd. John Wiley & sons, 2010.
- COLLINS, N. *Electronic Music* éd. Cambridge, 2013.
- COLLINS, N. *The analysis of generative music programs*, Organised Sound / Volume 13 / Issue 03, Décembre 2008, pages 237 - 248. DOI : 10.1017/S1355771808000332
- CONCHE, M. *L'aléatoire*, Les belles lettres, Paris, 2012.
- COPE, D. *Computer models of musical creativity*, MIT Press, 2005.
- COPE, D. *The algorithmic composer*, éd. A-R, 2000.
- COPE, D. *Computers and musical style*, éd. A-R, 1991.
- COURCIER *Théorie analytique des probabilités*, éd. Huzard-Courcier, Paris, 1812. p. 2, dédicace à Napoléon-le-Grand
- D'AREZZO, G. *Micrologus*, traduit du Latin par Marie-Noëlle Colette et Jean-Christophe Jolivet, éd. IPMC, 1993.
- DION, M. *L'éthique environnementale contemporaine, ses représentations du soi, du monde et de Dieu*, lectures inaugurales, GGC éditions, 2004.

- DUDAS, R. "Comprovisation" : *The Various Facets of Composed Improvisation within Interactive Performance Systems*, Leonardo Music Journal, Décembre 2010, Vol. 20, pp 29-31, 2010.
- ENO, B. [Evolving metaphors, in my opinion, is what artists do](#), conférence donnée à San Francisco le 8 juin 1996.
- FICHET, L. *Les théories scientifiques de la musique*, éd. VRIN, Paris, 1996.
- FISCHER, H. *Cyberprométhée*, éd. VLB, p. 355, 2003.
- FISCHER, H. *La planète hyper*, éd. VLB, 2004.
- FUKUYAMA, F. *Our posthuman future : Consequences of the Biotechnology Revolution*, éd. Farrar, Strauss & Giroux, NewYork, 2002.
- HARMAN, G. *L'objet quadruple : Une métaphysique des choses après Heidegger*, Collection Métaphysiques, éd. Puf, Paris, 2010.
- JIXITRON, (pseud.) *Cybernetic Music*, éd. TAB Books, 1985.
- LE MOIGNE, J.L. *Intelligence et conception*, in : Intelligence des mécanismes et mécanismes de l'intelligence; Intelligence Artificielle et Sciences de la Cognition, éd. Fayard-Fondation Diderot, 1986.
- LEWIS, G. E. *A power stronger than itself*, University of Chicago Press, 2008
- McCULLOCH, W. PITTS, W. LETTVIN, J. MATURANA, H. *What the frog's eye tells the frog's brain*, éd. William C. Corming, Martin Balaban, 1968. pp 233-258
- MAGENTA *Make Music and Art using Machine Learning*, <https://magenta.tensorflow.org/>
- MAGNUSSON, T. *Algorithms as scores : coding live music*. Leonardo Music Journal, Vol 21, pp. 19-23, 2011.
- MANOURY, P. *Descripteurs audio : Un enjeu majeur pour la composition en temps-réel*, conférence vidéo donnée en juin 2012 à l'IRCAM. <https://www.dailymotion.com/video/xryj96>
- MASATO, T. Site internet de l'artiste. <http://adsr.jp/>
- MIRANDA, E. R. *Evolutionary computer music*, éd. Springer, 2007.
- PEETERS. G. *A large set of audio features for sound description (similarities and classification)*, Rapport de projet de recherche, IRCAM, analysis/synthesis team, Paris, 2004. http://recherche.ircam.fr/anasyn/peeters/ARTICLES/Peeters_2003_cuidadoaudiofeatures.pdf
- PICHÉ, J. *Vers une mécanique de l'imaginaire... : réflexions étoilées sur la composition algorithmique*. Circuit, 4 (1-2), 103-112. 1993. <https://doi.org/10.7202/902069ar>
- PRUSKINKIEWICZ, P., LINDEMAYER, A., HANAN, J. S. *The algorithmic beauty of plants*, éd. Springer-Verlag, New York, 1990.

- REICH, S. *Music as a gradual process*, 1969. DOI :10.1093/acprof:oso/9780195151152.003.0004
- ROADS, C. KAUFMANN, W. *Composers and the computer*, éd. Curtis Roads, 1985.
- ROY, S. *L'analyse des musiques électroacoustiques : Modèles et propositions*, éd. L'Harmattan, Paris, 2003.
- SAMUELI, J. J. BOUDENOT, J.-C. *Une histoire des probabilités : des origines à 1900*, éd. Ellipses, Paris, 2009.
- SCHAEFFER, P. *À la recherche d'une musique concrète*, éd. du Seuil, Paris, 1952.
- SCHAEFFER, P. *Traité des objets musicaux : Essai inter disciplines* éd. du Seuil, Paris, 1966.
- SCHILLINGER, J. *The Schillinger system of musical composition*, éd. Da Capo Press, New York, 1978.
- SCHWANAUER, S. M. *Machine models of music*, éd. Spring, 1995.
- SMALLEY, D. *La spectromorphologie : une explication des formes du son*, dans : Esthétique des arts médiatiques, Tome II, éd. L. Poissant et al. Montréal: Presses de l'université du Québec, 1995. pp. 125-164.
- VAGGIONE, H. *Singularité de la musique et de l'analyse : l'espace d'intersection*, in Analyse en Musique Électroacoustique, Actes de l'Académie internationale de musique électroacoustique, vol. II, Bourges, Éditions Mnémosyne, 1996. pages 74-80.
- WINKLER, T. *Composing interactive music : techniques and ideas using Max*, MIT Press, 1998.

Annexe 1. Partition de *Verklärter Rohr*

Verklärter Rohr

Jullian Hoff

à

Charlotte Layec

Pour Clarinette basse en Sib et électronique (algorithmes temps-réel,
instruments virtuels, descripteurs audio, traitements audio et
vidéo générative)

Instructions complémentaires et présentation de « Verklärter Rohr »

Matériel nécessaire à l'interprète

Le musicien devra se munir d'un microphone adapté à la clarinette basse. Idéalement, un couple de microphones: un omnidirectionnel pour le tube et un cardioïde ou hypercardioïde pour le pavillon. Les deux signaux seront mélangés de manière relativement égale puis envoyée au Réalisateur en Informatique Musicale comme un signal mono. En cas de problèmes de Larsen, le micro omnidirectionnel pourrait être remplacé par un microphone cardioïde. Pour prévenir les problèmes de Larsen, l'instrumentiste devrait se placer derrière le système de diffusion principal et jouer avec aussi peu de retour que possible.

Commentaires généraux

« Verklärter Rohr » est une pièce dont l'électronique est très majoritairement temps-réel. Les instruments électroniques sont joués par des algorithmes qui réagissent au jeu de l'instrumentiste et également à des tables de probabilités. La vidéo est générée intégralement par la capture temps-réel de la clarinette et varie en fonction des informations fournies par les descripteurs audio. Enfin, les traitements appliqués à la clarinette sont mixés par le Réalisateur en Informatique Musicale durant la performance. Le musicien n'a aucune tâche autre que celle de jouer pour agir sur l'électronique. La majorité des processus sont automatisés, sinon assurés par le RIM.

Puisque la vidéo est générée en temps-réel par le jeu de la clarinette basse et que cela représente le canal privilégié du dialogue humain-machine, il est recommandé que le musicien se place sur un des côtés de l'écran et légèrement tourné vers celui-ci, de sorte à pouvoir l'observer et réagir à ce qu'il voit. Idéalement, le musicien disposera d'un retour vidéo.

La pièce se divise en 4 parties. La première partie, « Errance » est une improvisation basée sur une partition graphique. Cette partie se divise en 10 *cues*. Mis à part le *cue* 5 qui est très court et semblable au *cue* 4 au niveau de la vidéo, chacun à une identité propre. Ce sont autant de tableaux qui se succèdent et proposent différentes fantasmagories de la clarinette basse.

La deuxième partie, « Introspection » est un solo pour clarinette basse. Il n'y a donc pas de vidéo et le réalisateur lumière doit avoir pour instruction d'éclairer l'instrumentiste par une douche. Le RIM continue cependant d'appliquer des traitements audio. Les chiffres de 1 à 5 au dessus des portées sont à son attention.

La troisième partie « Frissons & Tremblements » est composée de 5 *cues* correspondant à autant de fichiers sonores. Il n'y a pas d'algorithmie mais la vidéo générative fait son retour et il continue d'y avoir des traitements en temps-réel.

Enfin, la dernière partie « Exaltation » est majoritairement écrite mais laisse place à quelques parenthèses improvisées. Elle se compose de 7 *cues*. Les *cues* impairs (11, 13, 15 et 17) sont écrits et les *cues* pairs (12, 14 et 16) demandent à être improvisés.

Les programmes qu'utilisent le RIM sont les suivants: (mis à part Ableton Live, ils sont tous développés par Jullian Hoff dans l'environnement Max).

« Agône » est un programme de génération de matériel musical MIDI basé sur des systèmes de tables de probabilité et est capable d'écoute (suivi de hauteur et suivi d'amplitude) développé pour créer des pièces permettant un dialogue humain-machine en musique mixte.

« PolWeiSky » est un synthétiseur visuel utilisant les bibliothèques jitter et OpenGL. Son nom est la contraction de Pollock, Weiwei et Kandinsky.

« Musical Gestures Converter » est un programme basé sur les descripteurs audio « Zsa descriptors » développés par Emmanuel Jourdain et Mikhail Malt auquel ont été ajoutés des interfaces utilisateurs, des filtres, des convertisseurs et outils d'interpolation et de rappel de scènes.

Enfin, Ableton live 9.x est utilisé comme hôte pour les instruments virtuels (échantillonneurs et synthétiseurs *built-in* et de tierce partie) et pour les diverses chaînes de traitement.

La version fixe fournie n'est donnée qu'à titre d'exemple et de support à la répétition sans RIM par l'interprète. Les sections improvisées sont assez libres et de manière générale, le style et le son de l'interprète doivent trouver leur place. La pièce veut favoriser un dialogue humain machine. Celui-ci est particulièrement plus prononcé dans la partie 1 de l'oeuvre mais reste valable pour l'entièreté de l'oeuvre.

La version fixée est jouée par Charlotte Layec, clarinettiste pour qui la pièce est dédiée.

Enfin, puisque les algorithmes embarquent une part d'aléatoire, il est normal et souhaité que chaque performance de l'oeuvre soit unique.

Commentaires additionnels par cue

(l'ordre n'est pas croissant mais reflète la progression réelle de la pièce)

Première partie « Errance »

Lancement de l'écran-titre

Cue 1 (durée comprise entre 20 et 40 secondes)

La partition graphique montre un accroissement d'intensité. Cependant, une dynamique plus sculptée et laissée libre à l'interprète est souhaitée. Les instruments électroniques jouent des sons venteux obtenus par traitement de sons éoliens de clarinette. Il y a une grande variété de ces sons. Le suivi d'amplitude agit sur des LFOs et le volume général. Pour la vidéo, hormis la génération de la forme qui est intrinsèquement liée à l'analyse du signal de la clarinette, l'interprète a une influence, d'après le suivi d'amplitude, sur la taille de l'objet, la saturation de la couleur et le niveau de flou.

Cue 2 (durée comprise entre 1 minute 10 et 1 minute 30)

Contrastes de sons doux (multiphoniques) juxtaposés à des sons éoliens (sons venteux). Le paramètre de rolloff (fréquence à laquelle 95% de l'énergie se situe) indique aux instruments virtuels s'ils doivent jouer des sons harmoniques et inharmoniques ou des sons bruiteux (ils suivront le caractère timbral de la clarinette).

Cue 3 (durée comprise entre 50 secondes et 1 minute 10 secondes)

Improvisation sur la gamme écrite. Préférer un registre moelleux. S'autoriser quelques trilles subtiles. Jouer legato, entretenir les notes, être contemplatif et délicat. Pour la vidéo, le niveau de fréquences grave contrôle la longueur (axe z) du cylindre, tandis que le rolloff gère sa rotation et que l'amplitude ajuste son volume.

Cue 4 (durée comprise entre 50 secondes et 1 minute 10 secondes)

Jouer la mélodie telle qu'indiquée. Pas de pulsation stable. Jouer lentement. Chaque dernière note de chaque fragment est progressivement éolisée. Pour la vidéo, l'amplitude gère le niveau de flou et la taille de l'objet.

Cue 5 (durée comprise entre 15 et 25 secondes)

Bourrasques venteuses jusqu'à l'extinction. Marquer une pause de quelques secondes

Cue 6 (durée comprise entre 1 minute et 1 minute 30)

Jouer comme un charmeur de serpent sur la gamme donnée, PoWeiSky étant le serpent. Progressivement ajouter des trilles, puis des sons de clés pour ne finir par n'utiliser que des sons percussifs et itératifs. Les instruments électroniques réagissent à cela. Si des sons entretenus sont joués, ils créeront un halo harmonique, si des sons itératifs sont joués, ils créeront des sons bruiteux et itératifs eux aussi. Répéter cette alternance (mélodie / itérations) 2 ou 3 fois selon l'inspiration. L'impact du jeu de clarinette sur la vidéo le plus important à remarquer est que plus les sons joués sont entretenus, moins il y a de réinjection, plus les sons sont itératifs (comme des claquements de clé) plus il y a de réinjection dans l'image.

Cue 7 (durée comprise entre 55 secondes et 1 minute 5 secondes)

Sons fendus, comme des cris de monstre. Alternés par des bourrasques parsemées de claquements de clés et de notes perdues dans un style très libre. Sur la vidéo, la profondeur de l'objet répond au contenu fréquentiel de la clarinette, sa rotation en y et le niveau de réinjection réagi à la variation d'amplitude et le niveau de flou à la quantité de graves.

Cue 8 (durée comprise entre 40 secondes et 1 minute)

Exécuter librement la mélodie. Libre à l'interprète d'inclure des ornements véloces entre les notes. Insister sur chacune d'elle comme des points d'ancrage. Préférer le registre médium. Beaucoup de connections entre la clarinette et l'objet visuel (orientation, taille, couleur et niveau de flou) mais le point le plus important est la vitesse de rotation. Plus le contenu est grave, plus l'objet tournera lentement.

Cue 9 (durée comprise entre 1 minute 30 et 2 minutes)

Improvisation libre sur la gamme. Faire contraster des mouvements véloces à des mouvements plus languoureux. Jouer dans différents registres. Préférer les sons purs et pleins. Jouer avec les trilles. Utiliser une grande plage dynamique. Faire de longs et amples crescendos sur des notes graves.

Cue 10 (dure approximativement 50 secondes)

À partir de la gamme proposée, faire des arcs dynamiques (crescendo-decrescendo avec une plage dynamique de plus en plus grande). D'abord en utilisant une note, puis deux, puis trois,

puis une. L'amplitude zoome sur l'objet visuel. Sur la dernière note, la forme doit occuper tout l'espace de l'écran.

Deuxième partie « Introspection »

Lancement de l'écran-titre

Cue 18 (dure approximativement 4 minutes)

Les notes en losanges pleins sont des *slaps*. À la dernière note, choisir un multiphonique et le tenir longtemps, en le bruitant progressivement pour finir sur du vent seul puis le silence.

Troisième partie « Frissons & Tremblements »

Lancement de l'écran-titre

Cue 19 (dure approximativement 25 secondes)

Laisser le temps au fichier sonore de conclure, ne pas presser le cue suivant, attendre un signal du RIM si nécessaire. Idem pour les *cues* suivants.

Pour la vidéo, le suivi d'amplitude, la variation d'amplitude et l'intensité dans le bas du spectre ont un impact sur la position en x, y et z de l'objet, sur sa vitesse de rotation et sur l'effet de blur et l'effet de bloom.

Cue 20 (dure approximativement 30 secondes)

idem à 19

Cue 21 (dure approximativement 1 minute)

idem à 19

Cue 22 (dure approximativement 40 secondes)

Cue 23 (dure approximativement 1 minute 25 secondes)

Quatrième partie « Exaltation »

Lancement de l'écran-titre

(Dans la mesure du possible, enchaîner ces *cues* sans interruption).

Cue 11

Jouer tel qu'écrit sur la partition. Le rolloff et l'amplitude agisse sur la rotation en x et z de l'objet.

Cue 12 (dure approximativement 30 secondes)

Improviser sur les notes du *cue 11*. Privilégier des motifs legato véloces.

Cue 13

Jouer tel qu'écrit sur la partition. Inutile de chercher à suivre absolument la pulsation de synthétiseur rythmique mais celui-ci est calé sur 78 bpm. L'amplitude agit sur la rotation en x et y, ainsi que sur la réinjection et l'effet de blur. Le contenu fréquentiel ajuste la taille de l'objet.

Cue 14 (dure approximativement 30 secondes)

Improviser sur les notes du *cue 13*. Privilégier des motifs rythmiques syncopés sur deux notes ou trois notes et en changer. L'improvisation doit laisser la place au rythme

Cue 15

Jouer tel qu'écrit sur la partition. L'amplitude agit sur la rotation en x et z de l'objet.

Cue 16 (durée comprise entre 30 secondes et 1 minute)

Improvisation libre

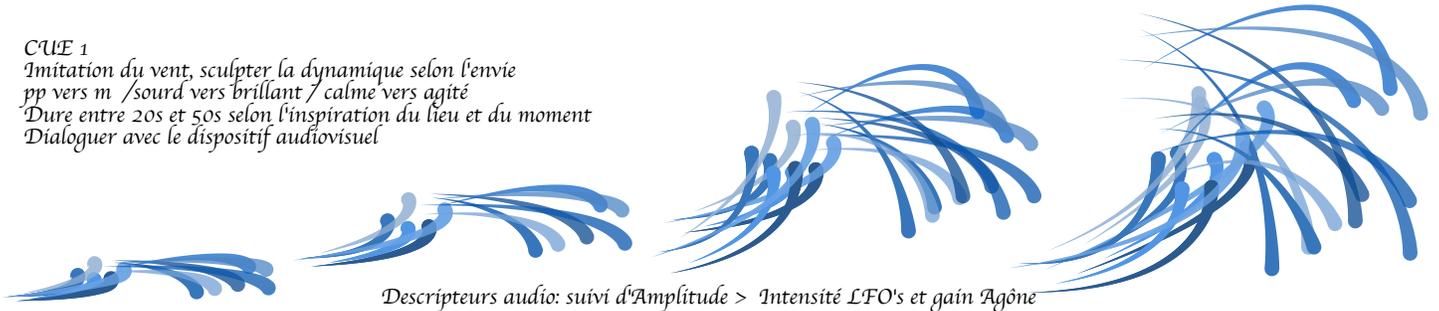
Cue 17

Tenir longtemps la dernière note, à la manière de la dernière note d' »introspection ».

Errance

CUE 1

Imitation du vent, sculpter la dynamique selon l'envie
 pp vers m / sourd vers brillant / calme vers agité
 Dure entre 20s et 50s selon l'inspiration du lieu et du moment
 Dialoguer avec le dispositif audiovisuel



Descripteurs audio: suivi d'Amplitude > Intensité LFO's et gain Agône

CUE 2

Antonymie de halos lumineux (multiphoniques doux) et de tempêtes agitées (sons éoliens)
 Prendre le temps de poser les multiphoniques
 Dialoguer avec PWS et Agône, être attentif à leurs retours
 Dure entre 1 minute 10s et 1 minute 30s

Descripteurs audio: suivi d'Amplitude > Intensité LFO's et gain
 RollOff > balance Agône Éolien / Harmonique

Même descripteurs pour l'audio que CUE 2 et 1.
 Pour PWS: Rolloff gère rotation en x et y, Amplitude gère taille en x et y
 Bark 1 (niveau de fondamentales graves) gère taille en z (longueur du cylindre, d'un disque à un tube)

CUE 3

Improvisation sur Si Lydien.
 Prendre son temps, entretenir les notes, être contemplatif, jouer très legato, s'autoriser quelques trilles légères
 Variations d'amplitude entre pp et mezzo selon le jeu des interactions avec les algorithmes
 Être particulièrement attentif aux subtiles réactions de PolWeiSky à l'amplitude des harmoniques
 Préférer un registre moelleux plutôt qu'aigu avec quelques incursions dans le grave

Durée approximative: de 1 minute

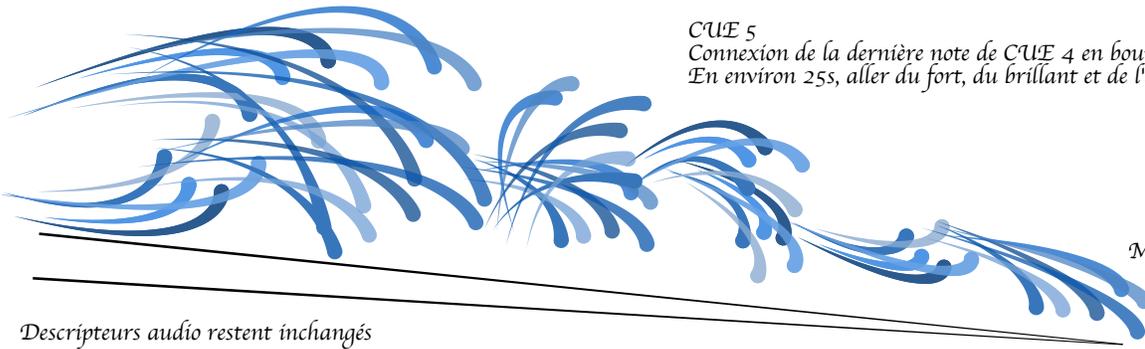


CUE 4

Prendre le temps d'exécuter chaque note, laisser le temps à PolWeiSky de les mettre en valeur
 la dernière note de chaque fragment sera progressivement éolisée.
 Les notes n'ont pas à être de durée égale
 Si pulsation il y a, celle-ci devra être lente et intérieure
 Dure approximativement 1 minute

Descripteurs identiques à CUE #

Sons réels: Si Lydien



CUE 5
 Connexion de la dernière note de CUE 4 en bourrasques éoliennes
 En environ 25s, aller du fort, du brillant et de l'agité vers le doux, le sourd et le calme

Marquer une pause de quelques secondes

Descripteurs audio restent inchangés

CUE 6
 Improviser comme un charmeur de serpent sur la gamme Jazz diminuée de 8 notes, PolWeïSky étant le serpent
 Jouer des notes sensuelles, faire des trilles délicates, jouer très rubato, pas de pulsation stable, amplitude ondulante
 Interrompre ces scènes par des interventions itératives en utilisant les clés comme des percussions
 Attention en jouant les trilles à ne pas faire claquer les clés (suiveur de changement d'amplitude très sensible)

Descripteurs audio: suivi de Flux > Paramètres de résonance du Vocodeur
 Balance Porteuse / Modulante
 Densité de déclenchement des samples
 Rotation en z de la caméra
 Saturation du bleu
 niveau d'accumulation (persistance des images)

Répéter la séquence 2 ou 3 fois selon l'inspiration et la qualité du dialogue Humain /Machine

CUE 7
 Sons fendus, fortissimo, comme des cris distordant l'image
 Alternier avec des déluges itératifs de sons de clés mêlés à des sons éoliens qui se raréfient pour finalement s'éteindre
 Inclure des notes perdues dans un style très libre
 Allongement progressif de la séquence à chaque réitération
 Descripteurs audio: Idem à CUE 6 + réintroduction du RollOff
 Flux gère l'orientation en y de PWS et Bark 1 la longueur (taille en z) de l'objet visuel

CUE 8
 Exécution libre de la mélodie. Broder librement
 Durée approximative de 50 secondes
 Préférer le registre médium
 Prendre son temps mais se permettre des ornements véloces

Descripteurs audio: commun Idem à CUE 7 (Flux, Amplitude & Rolloff)

Descripteurs audio: particulier à CUE 8: Bark 1 (graves) ajuste la vitesse de rotation
 niveau de blur

Flux & Rolloff ajustent la saturation des couleurs

Pour CUE 9, idem, sauf que la saturation des couleurs de PWS est fixe
 Aussi, pour CUE 9 l'amplitude gère la taille de l'objet visuel

CUE 9
 Improvisation libre sur la gamme
 Faire contraster des mouvements véloces et des sons entretenus
 Préférer les sons purs et pleins.
 Jouer avec des trilles
 S'autoriser des changements de registre, des sauts d'octaves
 Préférer une grande plage dynamique, du pp au f-ff
 Durée approximative de 1 minute

CUE 10
 Choisir 1 note parmi celles proposées, la jouer de pp à mp quelques secondes
 Puis faire un mouvement de 2 notes, de pp à mf, un peu plus long
 puis 3 notes, plus long, plus fort
 Choisir une dernière note, la jouer sur la plus grande plage dynamique possible, sur une douzaine de secondes

Amplitude redimensionne l'objet
 Fin du 1er mouvement

1 note

2 notes

3 notes

1 note

Introspection

5 \longleftarrow \longrightarrow 2 \longleftarrow

récitatif (slap) *accel.* *rall.* faire des "trilles" irrégulières au 1/2t inférieur

mf p mf

2 3 \langle γ 1 + 4 \longleftarrow 5 \longleftarrow faire varier la dynamique de façon irrégulière et soudaine entre **p** et **mf**

p < f mf

3 3 \langle γ 3 \langle γ 9 *rall.* . . . *accel.* *rall.* 1 + 2 + 5 \bullet \bullet \bullet \bullet \bullet 1 choisir un multiph. puis éoliser le son progressivement

fp fp

4 3 jouer le + rapidement possible. poco rit. sur dernières notes

mp

5 faire ressortir les harmoniques aigues, le son n'a pas à être stable

mixer 1 + 4 + 5

mp

6 en accélérant, comme le rebond d'une balle. (smorzato)

mp mf

7 faire varier la dynamique de façon irrégulière et soudaine entre **p** et **mf**

mf **mixer 1 + 4 + 5**

8 $\text{♩} = 76$ 3 7

9 bien faire ressortir les accents 3 3 3 6 3

10 , poco 3 +1 6 +4 6

11 3

12 subito STOP *f*

13 3 7 2 7 *rit.*

14 3 2 7

15 *a tempo* poco 2 2 7 la phrase amène le nouveau tempo qui arrive sans rupture *f*

poco 3

♩ = 56

16

mp *mf*

17

mp *mp* *mf*

18

mp *mf*

19

p *mp* *rit..*

mixer 1 + 2 + 4 + 5

choisir un multiph.
, puis éoliser le son progressivement

20

p *ppp*

Frissons & Tremblements

♩ = 54 approx.

19

mp

Handing diagrams: 4 fingers, 4 fingers, 4 fingers, 4 fingers.

Exercise 19 consists of a single staff in treble clef with a key signature of one flat. It begins with a tremolo on a whole note, followed by a slur over a half note and another tremolo on a whole note. The piece concludes with a long, sweeping tremolo on a whole note.

20

Handing diagrams: 4 fingers, 4 fingers, 4 fingers.

Exercise 20 consists of a single staff in treble clef with a key signature of one flat. It features a sequence of tremolos on whole notes, with slurs connecting some of them. The exercise ends with a long, sweeping tremolo on a whole note.

21

mf *p* *mf* *pp*

Exercise 21 consists of a single staff in treble clef with a key signature of one flat. It features a series of slurs over eighth notes, with dynamic markings of *mf*, *p*, *mf*, and *pp* indicated below the staff.

Handing diagrams: 10 fingers, 4 fingers, 4 fingers, 4 fingers.

mp

Exercise 21 continues with a single staff in treble clef with a key signature of one flat. It features a slur over a half note, followed by a long, sweeping tremolo on a whole note. Handing diagrams are provided above the staff.

22

p *mf* *p*

Exercise 22 consists of a single staff in treble clef with a key signature of one flat. It features a series of slurs over eighth notes, with dynamic markings of *p*, *mf*, and *p* indicated below the staff.

Frissons

2

Handwritten musical notation on a single staff. It features a treble clef and a key signature of one sharp (F#). The notation includes a series of notes with fingerings indicated by numbers 16 and 14. There are also dynamic markings such as *mf* and *pp*. The staff is decorated with various symbols, including circles and lines, and a large bracket spans across the notes.

Handwritten musical notation on a single staff. It features a treble clef and a key signature of one sharp (F#). The notation includes a series of notes with fingerings indicated by numbers 16 and 15. There are also dynamic markings such as *mf* and *pp*. The staff is decorated with various symbols, including circles and lines, and a large bracket spans across the notes.

23

Handwritten musical notation on a single staff. It features a treble clef and a key signature of one sharp (F#). The notation includes a series of notes with dynamic markings such as *mf* and *pp*. The staff is decorated with various symbols, including circles and lines, and a large bracket spans across the notes.

Handwritten musical notation on a single staff. It features a treble clef and a key signature of one sharp (F#). The notation includes a series of notes with fingerings indicated by the number 10. There are also dynamic markings such as *mp*. The staff is decorated with various symbols, including circles and lines, and a large bracket spans across the notes.

Handwritten musical notation on a single staff. It features a treble clef and a key signature of one sharp (F#). The notation includes a series of notes with fingerings indicated by the number 16. There are also dynamic markings such as *mf* and *pp*. The staff is decorated with various symbols, including circles and lines, and a large bracket spans across the notes.

Handwritten musical notation on a single staff. It features a treble clef and a key signature of one sharp (F#). The notation includes a series of notes with fingerings indicated by the numbers 16 and 5. There are also dynamic markings such as *mf* and *pp*. The staff is decorated with various symbols, including circles and lines, and a large bracket spans across the notes.

Exaltation

11 ♩ = 78

The musical score consists of 11 staves of music in 4/4 time, with a tempo of ♩ = 78. The key signature has one sharp (F#). The score includes various dynamics: *f* (forte), *mp* (mezzo-piano), and *f* (forte). Articulations include accents and slurs. Fingerings are indicated by numbers 1-6 above notes. The score is divided into measures, with measure numbers 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, and 11 marked on the left. Measure 9 contains sub-measures 12 and 13, which are boxed. The music features complex rhythmic patterns, including sixteenth and thirty-second notes, and rests.

Musical score for guitar, measures 12-20. The score consists of two staves per measure. The key signature has one sharp (F#). The music features sixteenth-note runs, often with slurs and accents. Dynamic markings include *f*, *mf*, *p*, and *mp*. Measure numbers 14, 15, 16, 17, and 19 are boxed. Measure 19 contains boxed numbers 16 and 17. Measure 14 has a circled measure number 14. Measure 15 has a circled measure number 15. Measure 16 has a circled measure number 16. Measure 17 has a circled measure number 17. Measure 19 has circled measure numbers 16 and 17. Measure 20 has a circled measure number 20.

21

22

23

24

ALGOS

25

26

27

Annexe 2. Analyse de niveau neutre et fonctionnelle de *Machine in the Shell*

Cette analyse fonctionnelle et le découpage formel de l'œuvre reposent sur le modèle proposé par Stéphane Roy et la grille fonctionnelle⁶² qui l'accompagne. Cette grille comporte quatre catégories. La catégorie d'orientation décrit les fonctions temporelles : le déroulement du discours musical et sa structure formelle. La catégorie de stratification s'intéresse à la verticalité de l'écriture. Cette verticalité concerne aussi bien la différenciation des différentes typomorphologies des objets en présence que la gestion des plans et du mixage. La troisième catégorie regroupe les différents processus qui s'inscrivent sur une durée variable. Enfin, la catégorie de rhétorique, divisée en deux sous-catégories (relationnelle et de la rupture), s'intéresse à la description des rapports entre deux fonctions contigües, simultanées ou éloignées, dans le cas de la rhétorique relationnelle, ou à la description du rapport entre ce qui précède et ce qui suit une fonction dans le cas de la rhétorique de la rupture. La catégorie de stratification a ici été écartée car l'emphase de mon projet est mise sur la rhétorique.

Pour chaque minute, nous avons une représentation stéréo du sonagramme de l'œuvre. En dessous, les formes d'ondes⁶³ des 16 canaux correspondants aux pistes *master* des 16 hauts-parleurs donnent une indication supplémentaire sur les processus spatiaux⁶⁴ et l'organisation spatio-temporelle du discours. Enfin, les icônes des différentes unités fonctionnelles sont placées en dessous de ces visualisations, parfois accompagnées de notes.

⁶² On trouvera la description des unités fonctionnelles dans : *L'analyse des musiques électroacoustiques : Modèles et propositions* (Roy, S. 2003 pp. 351-364)

⁶³ Il s'agit en fait de *spectral peaks*. Introduite à la version 5.32 de *Reaper*, cette forme de représentation est un hybride entre la représentation typique du domaine temporel qu'offre la forme d'onde et une représentation sommaire, mais utile, du domaine fréquentiel donné par la couleur. En ce qui me concerne, je ne m'attarde pas à savoir à quelle couleur correspond telle région du spectre (il s'agit d'un gradient allant du bleu pour les graves au jaune puis pour les aigus, possiblement basé sur le *centroid*), c'est plutôt d'un indice utile pour rapidement voir les changements et les similitudes.

⁶⁴ Note concernant les *processus spatiaux*. Il va de soi que pour une œuvre pensée en fonction d'une diffusion sur un dôme de 16 haut-parleurs, les progressions spatiales sont nombreuses. Pour ne pas alourdir l'analyse, seules les plus significatives sont rapportées.

Légende

Catégorie d'orientation	Catégorie de processus	Catégorie de rhétorique relationnelle
Introduction	Accumulation et Dispersion	? A > > ! R Appel et Réponse
Déclenchement	Intensification et Atténuation	> A > < R < Annonce et Rappel
Interruption	Accélération et Décélération	> « « Thème et Variation
Conclusion	Progression spatiale	A > → Anticipation
Suspension	Catégorie de rhétorique de la rupture	> ! Affirmation
Appoggiature	> ∨ Déviation	⇒⇒ Réitération
Engendrement	() Parenthèse	> > > Imitation
Extension	< > Indice [extra-musical]	> < Antagonisme successif
Prolongement	Articulation	> < Antagonisme simultané
Transition	Rétention	
	Rupture	
	Spatialisation	

Des cadres sont parfois tracés autour des *spectral peaks* ou du sonagramme pour aider le lecteur à identifier la fonction décrite. Un code couleur permet de distinguer certains types:



Le rouge réfère à l'accord initial de *Machine in the Shell* composé de sinus



Le violet identifie les voix des astronautes de la mission Apollo 11



Le fuchsia identifie les sonorités de synthèse utilisées dans l'Unité 5 et annoncées à différents endroits de l'oeuvre



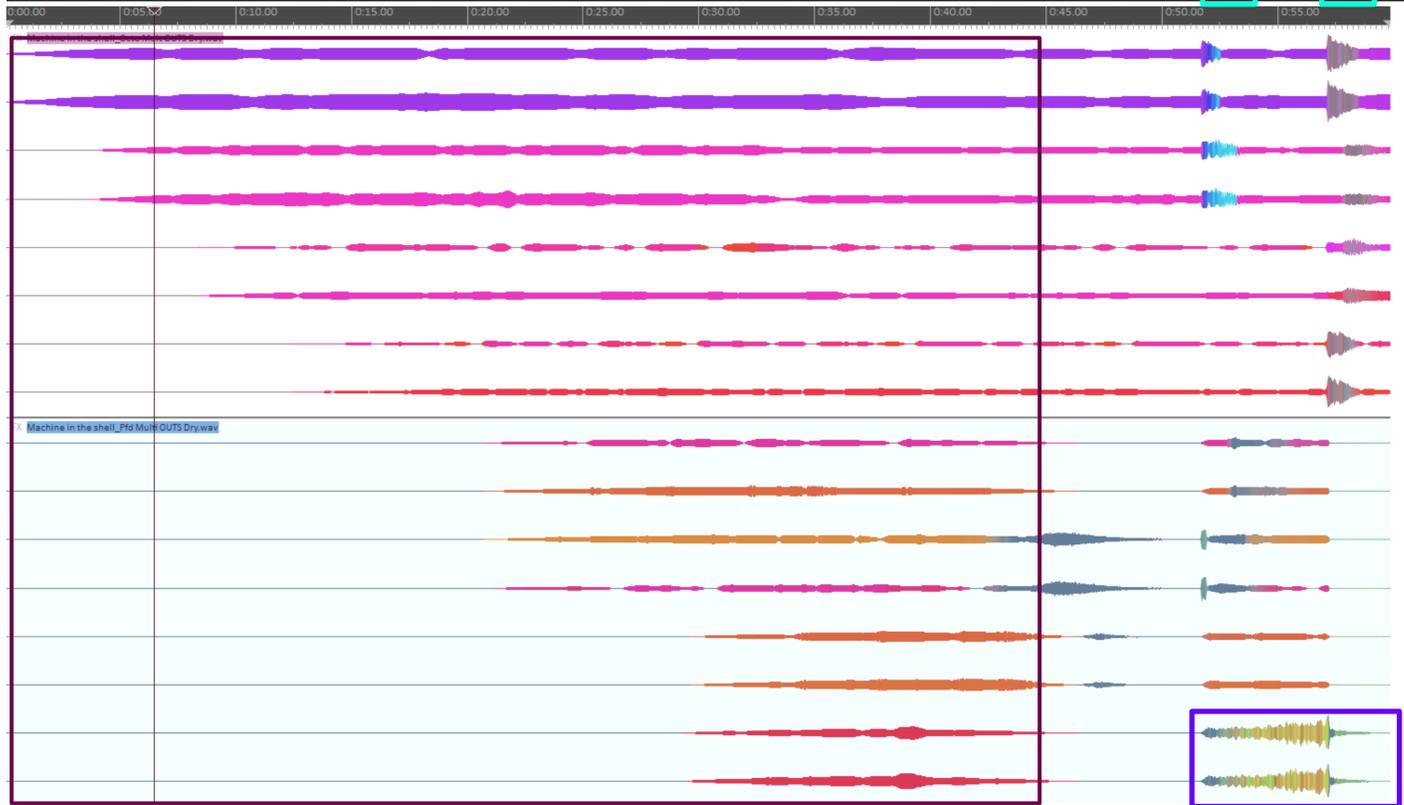
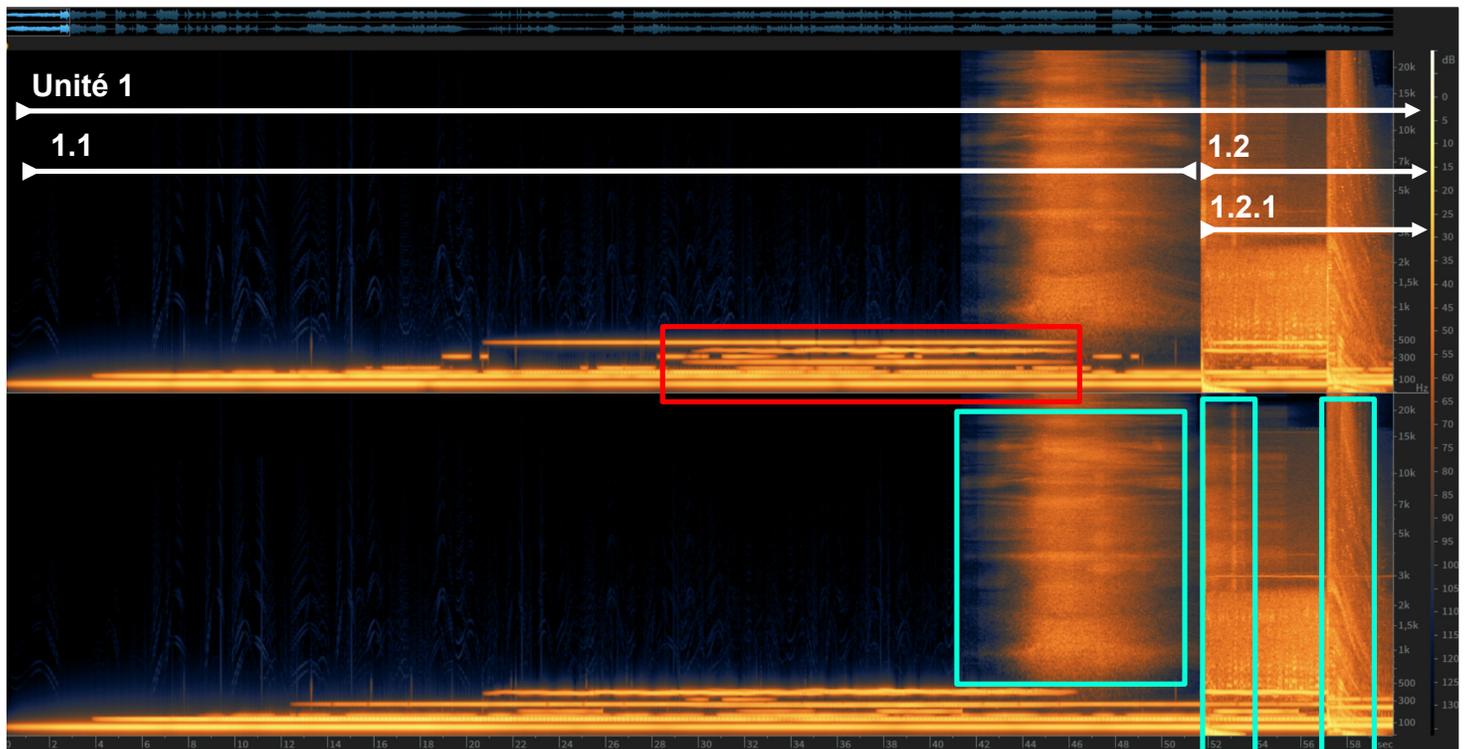
Le jaune identifie les réitérations thématiques de l'Unité 1 et son affirmation finale



Le bleu-vert entoure les fonctions de rhétorique non-identifiées par le rouge, le violet, le jaune ou le fuchsia



Le bordeaux sombre entoure les progressions spatiales et quelques appoggiatures

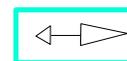


La lente introduction avec l'ouverture progressive des canaux de diffusion symbolise l'immersion dans la coquille et le monde machinique qui s'y déroule.



L'inspiration agit comme *Rétention*

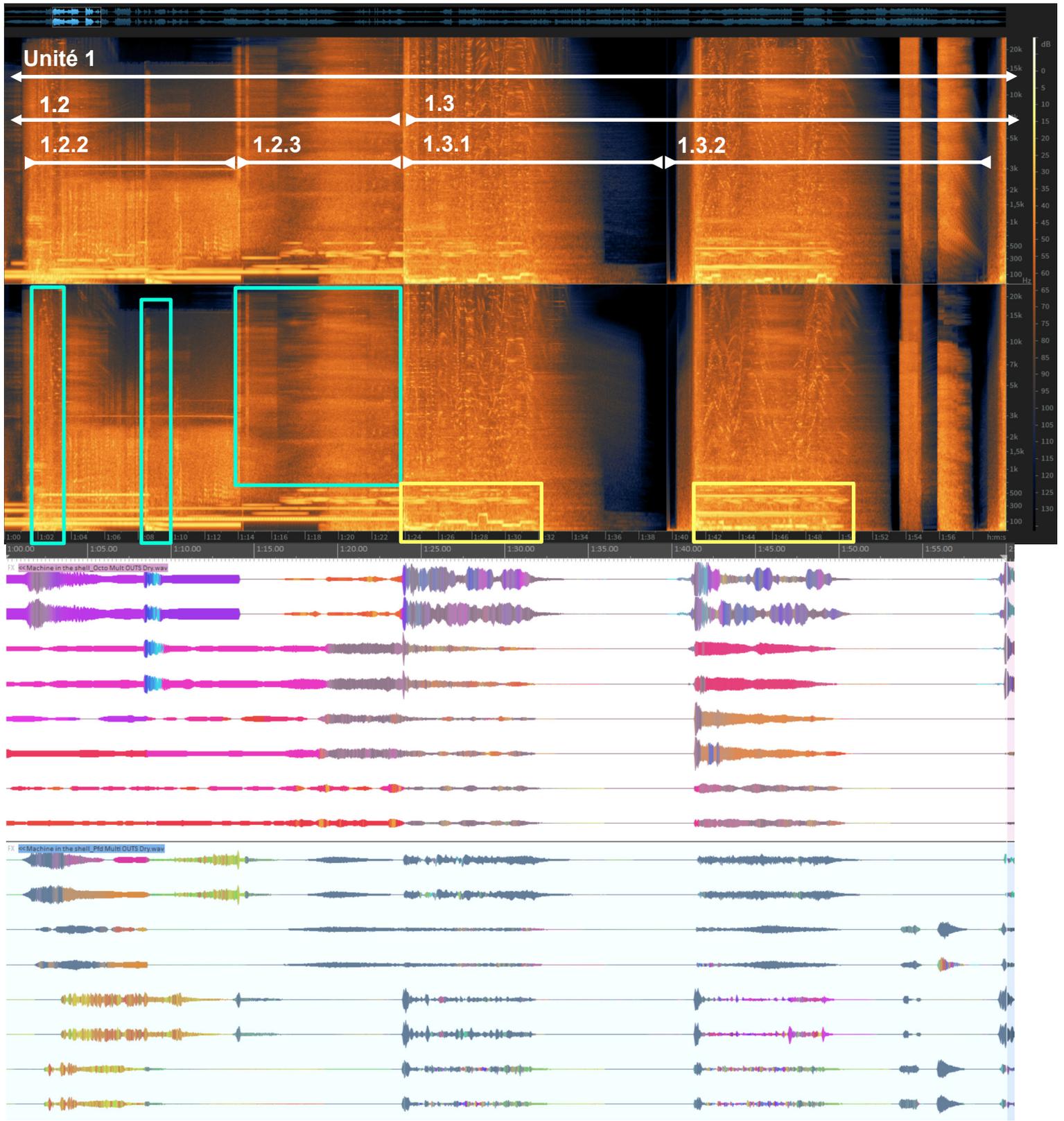
Couple *Appel Réponse*



Accord constitué de sinus. Cette signature timbrale caractéristique se retrouve à tous les changements d'unité de Machine in the Shell (MITS) ainsi qu'à certains moments épars en guise de parenthèse de *Rappel*.

Entouré de mauve se trouvent des extraits de conversations de l'équipage enregistrés durant la mission Apollo 11 et fournis par la NASA. Ces voix sont les seules traces humaines de MITS.





Même couple fonctionnel que pour l'Unité 1.2.1

Fonction similaire qu'à la fin de l'Unité 1.1

? A >

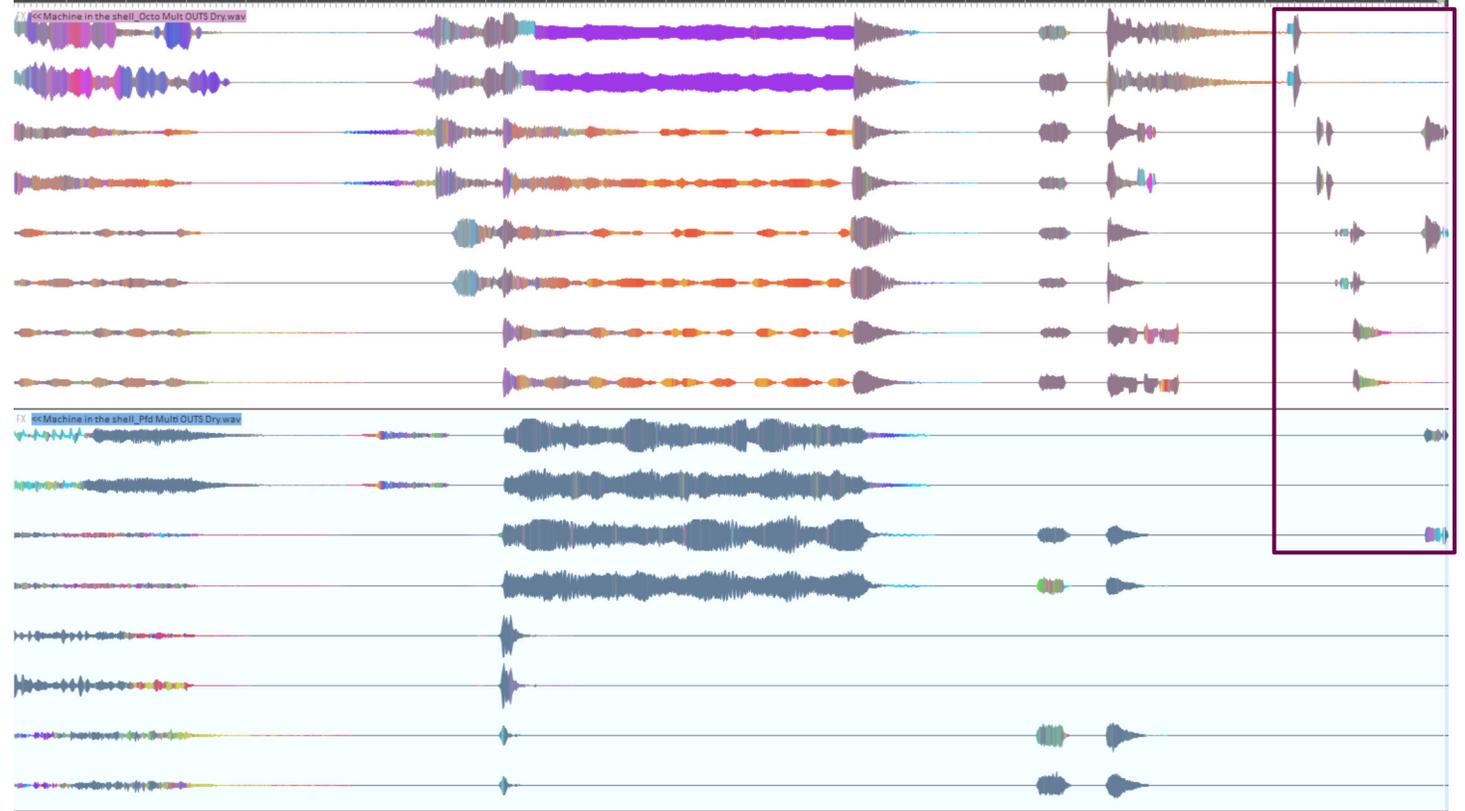
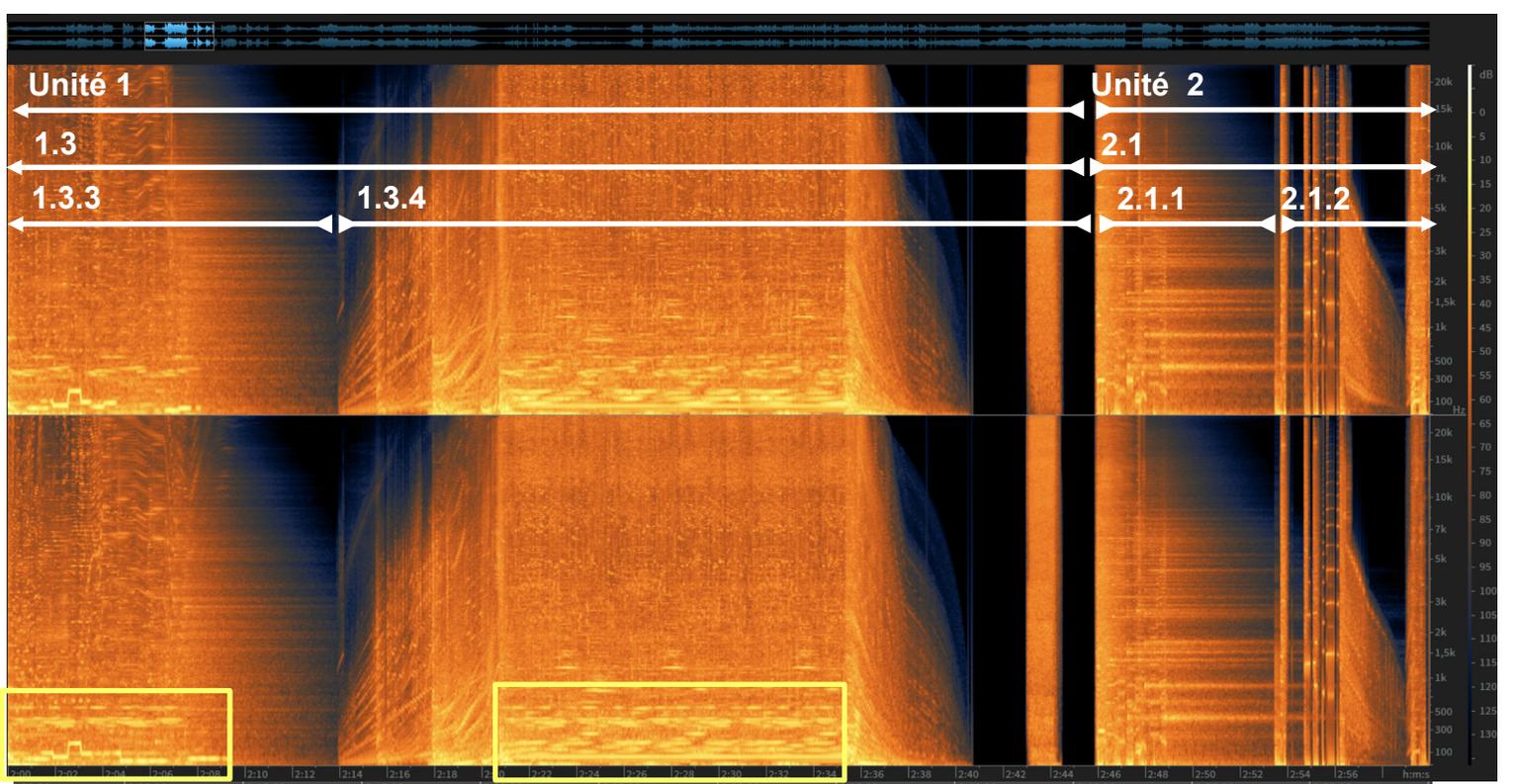
> ! R

← ▷

>>>

>>>

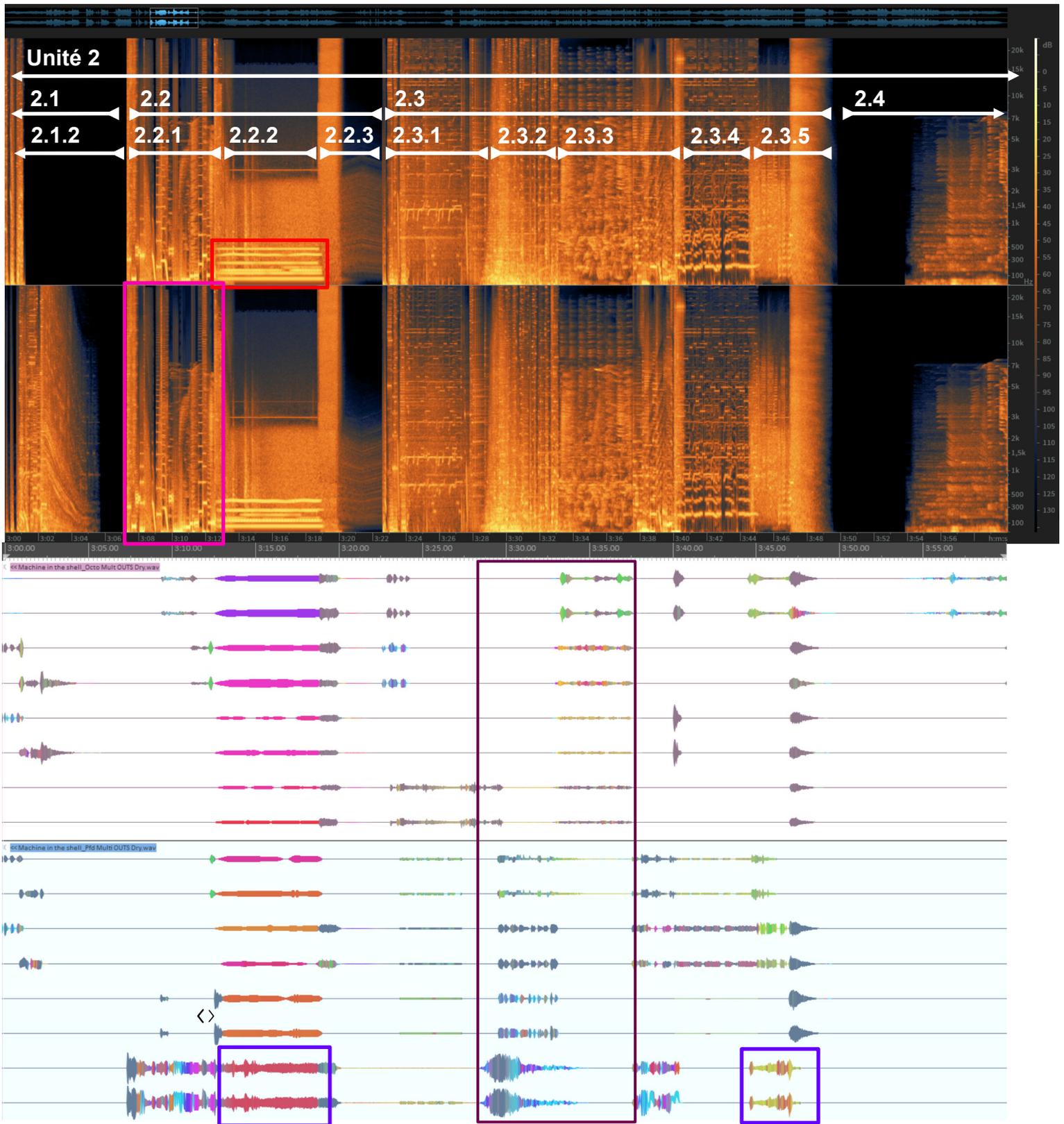
Cette masse complexe est *Réitérée* (dans une forme légèrement variée) à 1.3.2 et 1.3.3 puis *Affirmée* à 1.3.4



→ ↪ ↳



»« «« «
 Court *Thème* suivi de multiples
Variations au cours de l'Unité 2.1



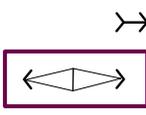
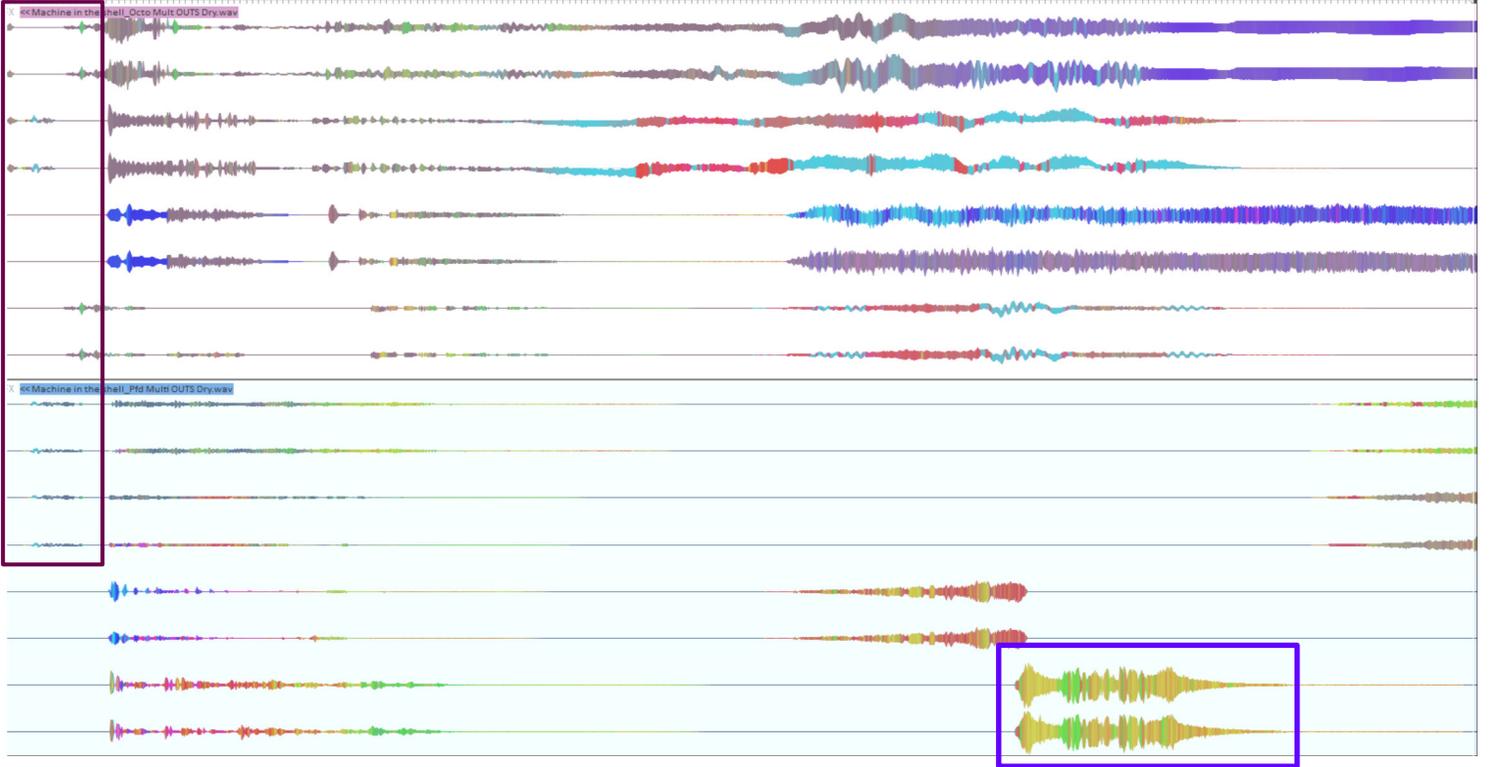
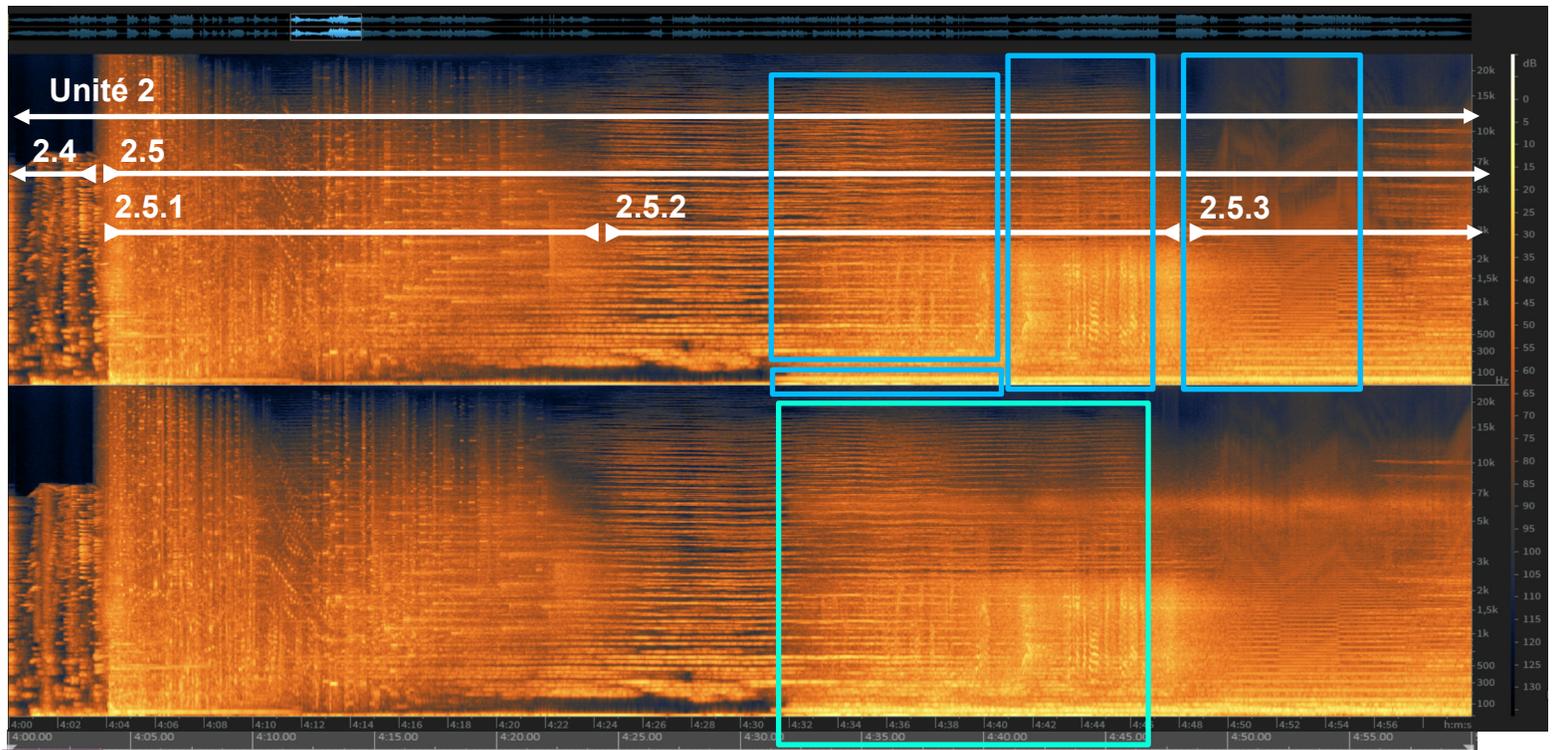
Première intervention par *Announce* de sons mélodico-rythmique de synthèse FM qui reviendront par moments durant MITS et constituent l'essentiel de l'Unité 5.

> A >

< R <

> <<< <<< <<<
Autre *Thème* suivi de différentes *Variations*

< R <



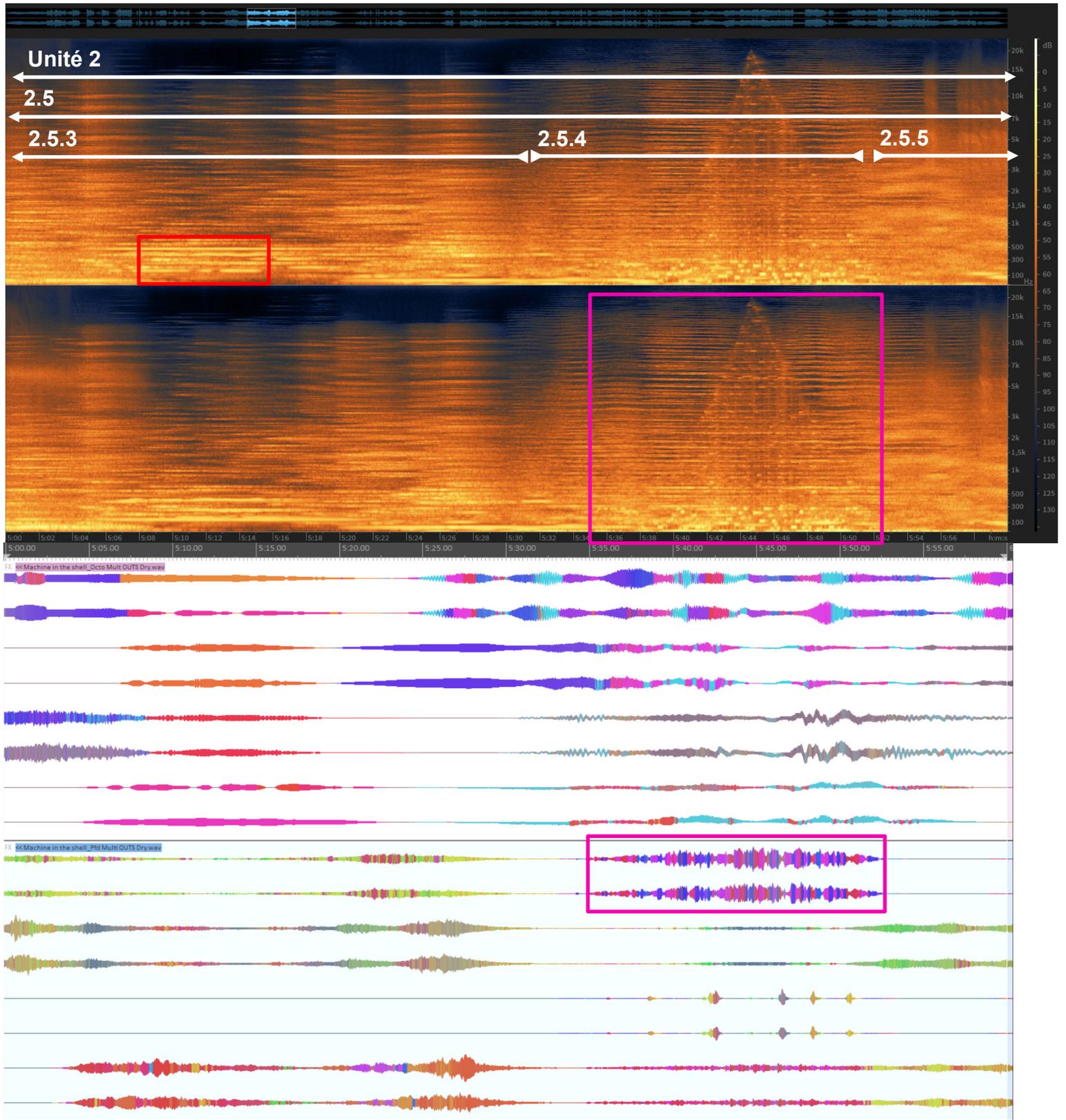
→
Dispersion des itérations numériques
▲

À la texture aérienne présente en 2.5.2 vient s'ajouter une basse tellurique Antagoniste. ⊗

La texture apaisante laisse place à son Antagoniste inquiétant. ⊗

Annnonce du Rappel de 14'11 dans l'unité 4.3
> A >

<> Indice extra-musical: "Look at that stuff all around the place, look at this [mot incompréhensible] ...Beautiful" Niel Armstrong



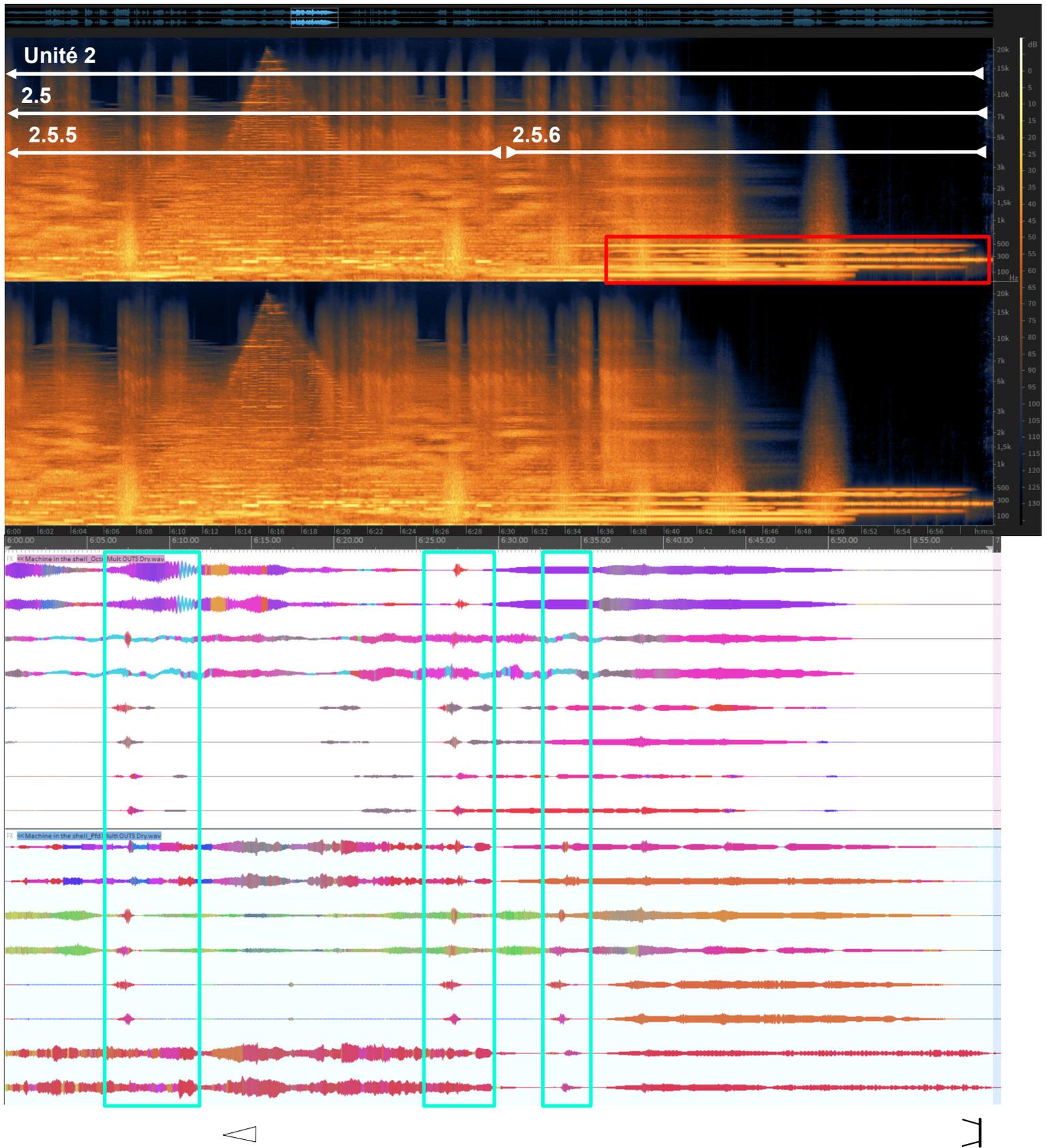
L'unité 2.5 recourt beaucoup aux fonctions d'Intensification et d'Atténuation



< R <

> A >

Dans les haut-parleurs 9 et 10 sont entendus des cellules mélodico-rythmiques qui seront le matériau de base de l'Unité 5.

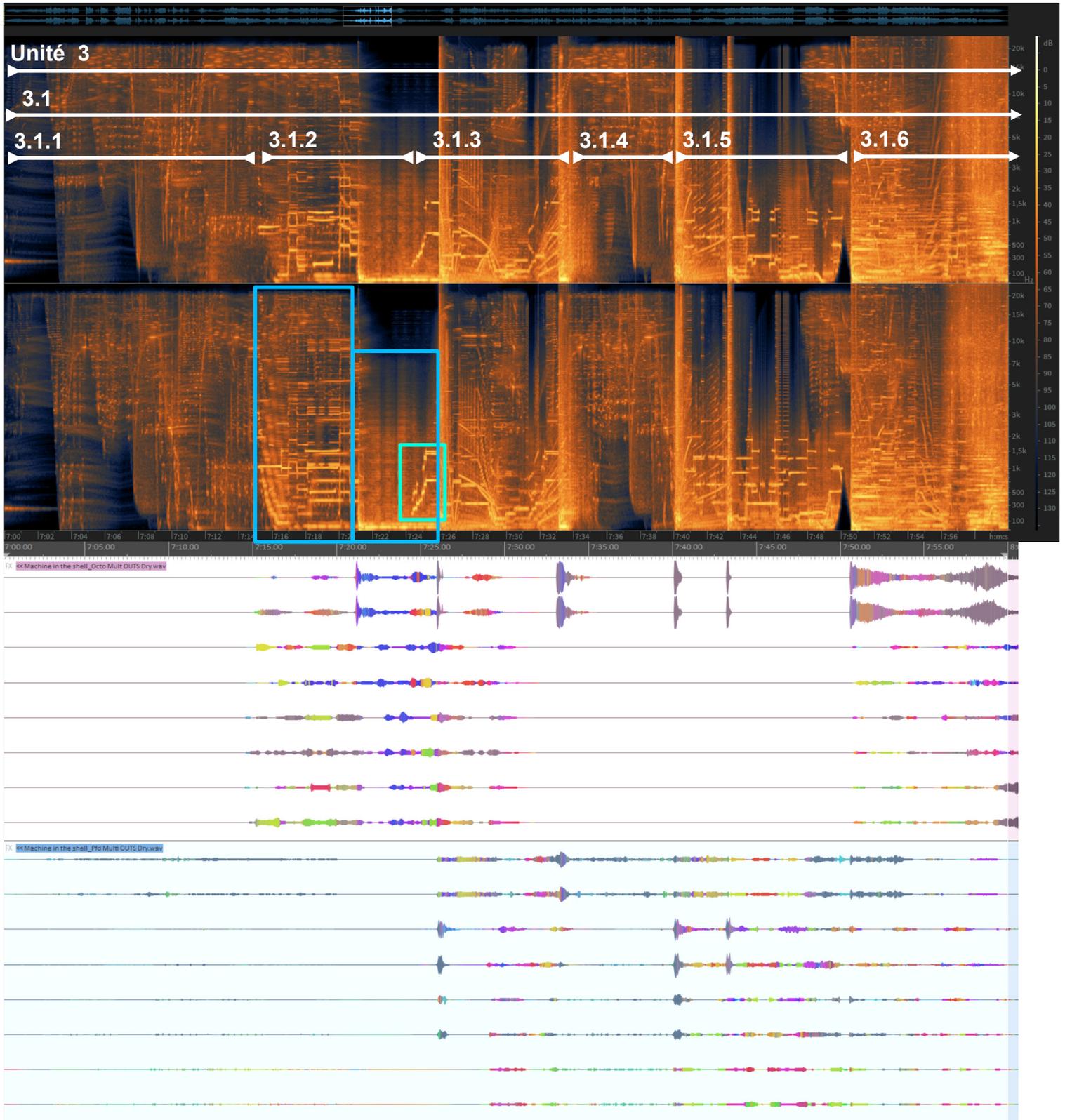


Tel un oiseau dans la "volière" du dôme de *Machine in the Shell*, cet objet sonore fait des *Progressions spatiales* discursives.

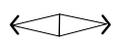
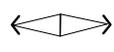
< R <

> A >

L'oiseau reviendra sous forme de *Rappel* dans l'unité 3.2 puis sous une forme mécanisée dans l'unité 3.3.6
xxx



K

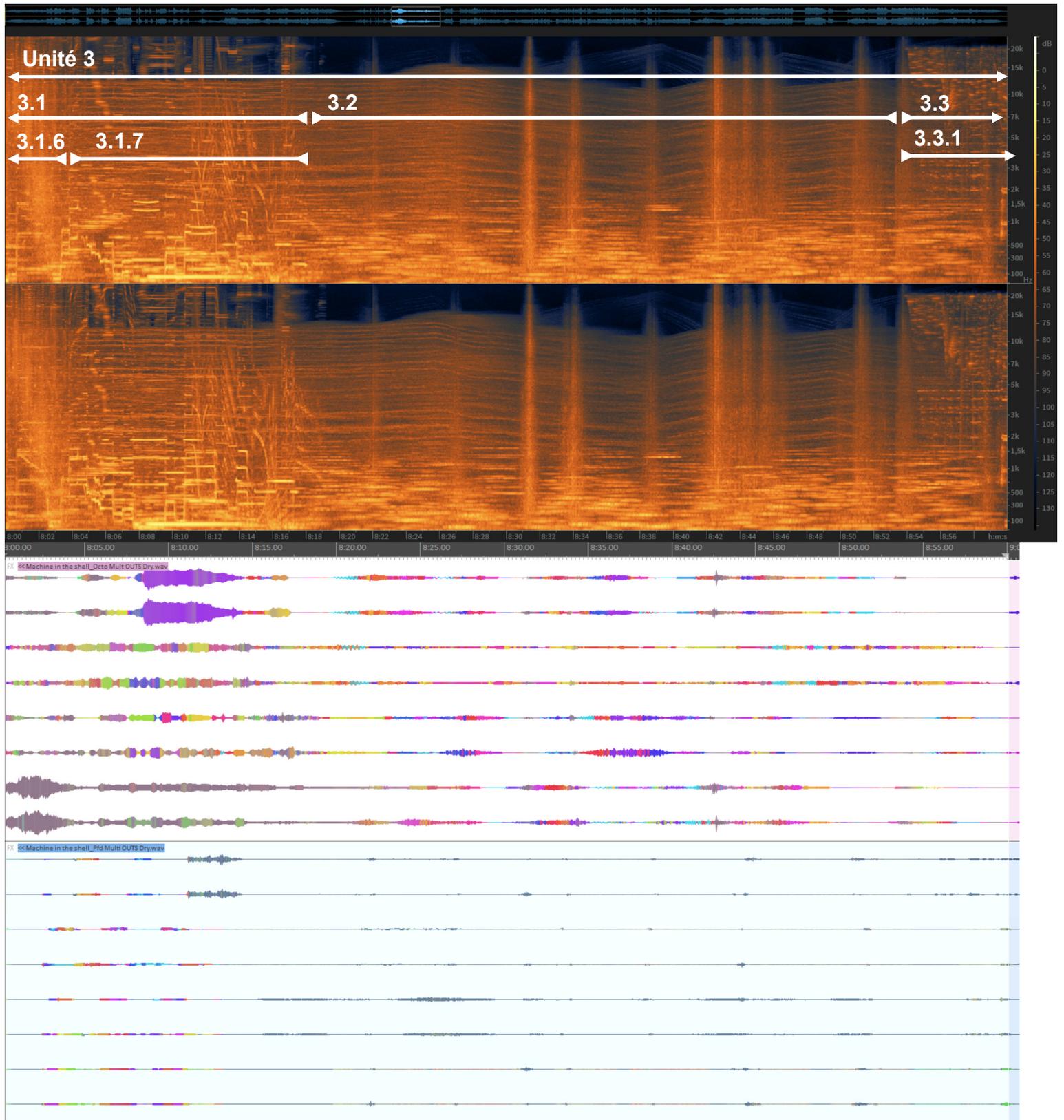


→ | () ⇨ 3.1.4 présente une *Parenthèse* dont les impacts qui l'entourent font office d'*Interruption* et de *Déclenchement*

⊗ 3.1.2 présente l'*Antagonisme successif* d'une masse volatile au grain fin et d'une masse sombre grave et au grain rugueux

><< <<< <<<
 Le *Thème* présenté en 3.1.2 sera varié tout au long de l'Unité 3 pour finalement être *Affirmé* en 3.3.5

⊗ A ⊗ Annonce de la figure rappelée en 3.3.6

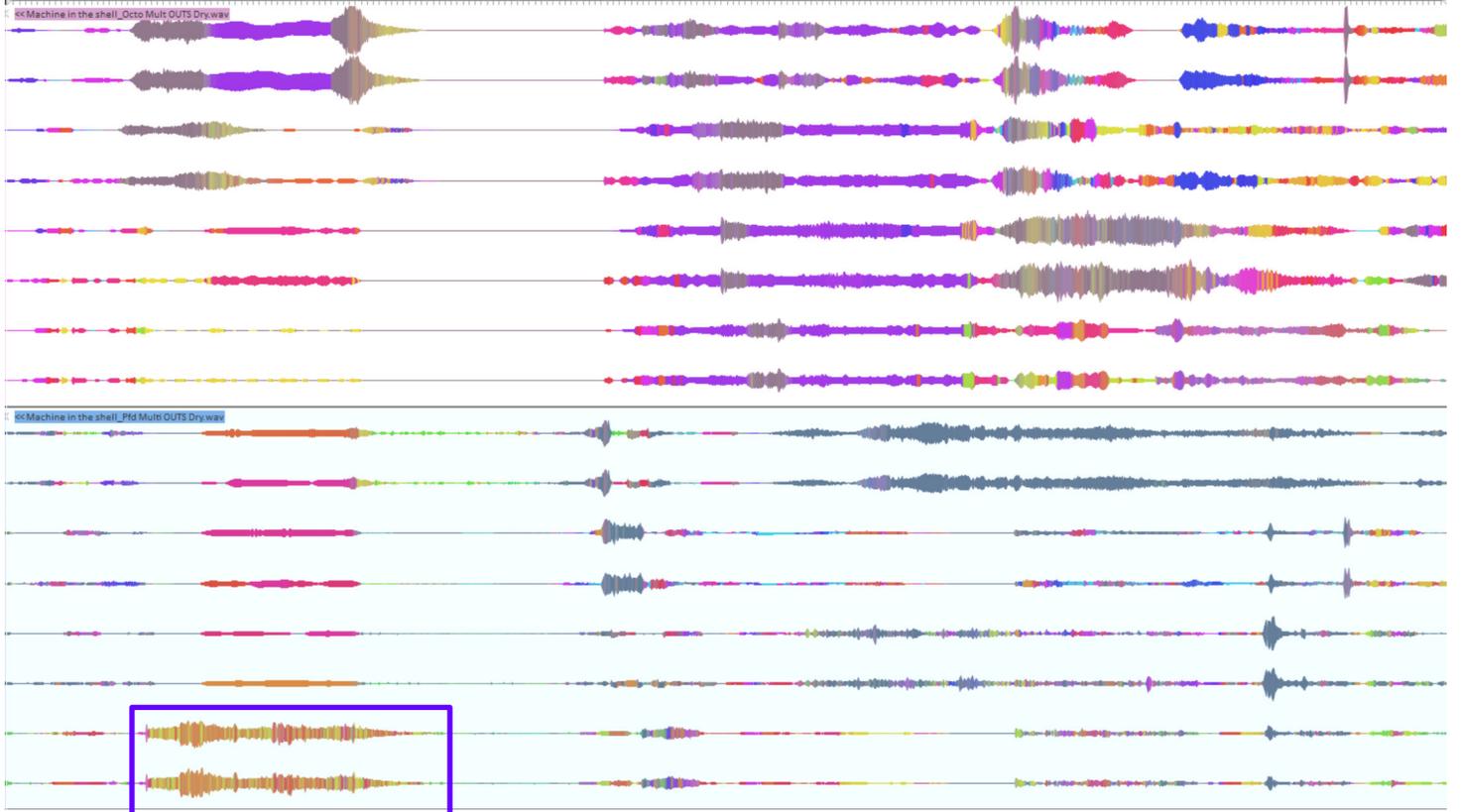
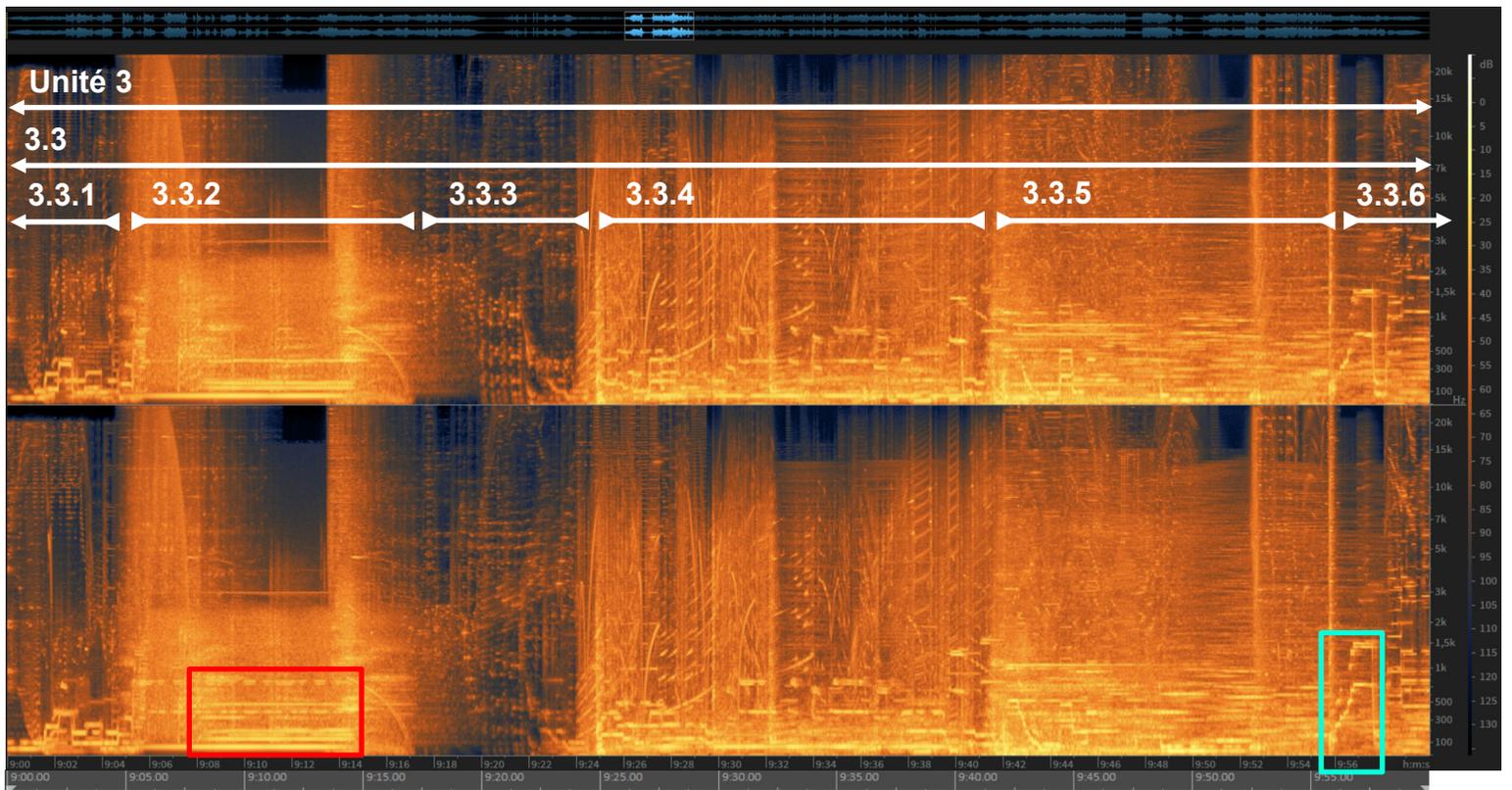


➤ L'unité 3.2, particulièrement tramée,
recours aux *Transitions* pour connecter
avec les unités adjacentes



< R <

L'oiseau, ici en *Rappel* de
l'*Annonce* de l'unité 2.5.5



→| () ↪ Même mécanique de *Parenthèse* que pour l'Unité 3.1.4

◄ ◃ Des fonctions de *Décélération* et d'*Accélération* entourent l'unité 3.3.3

Une soudaine interruption laisse place à la figure annoncée à 3.1.2

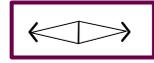
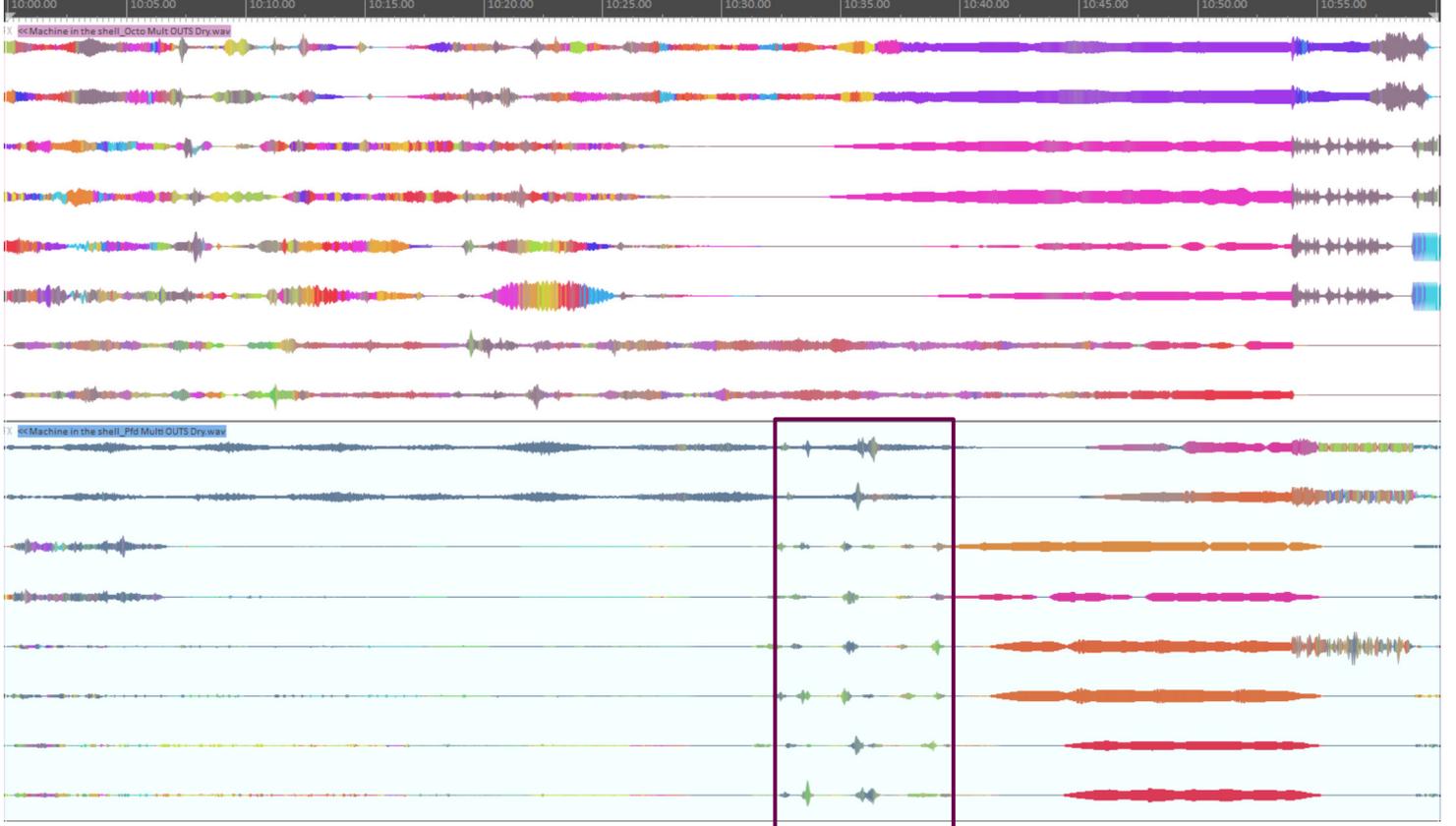
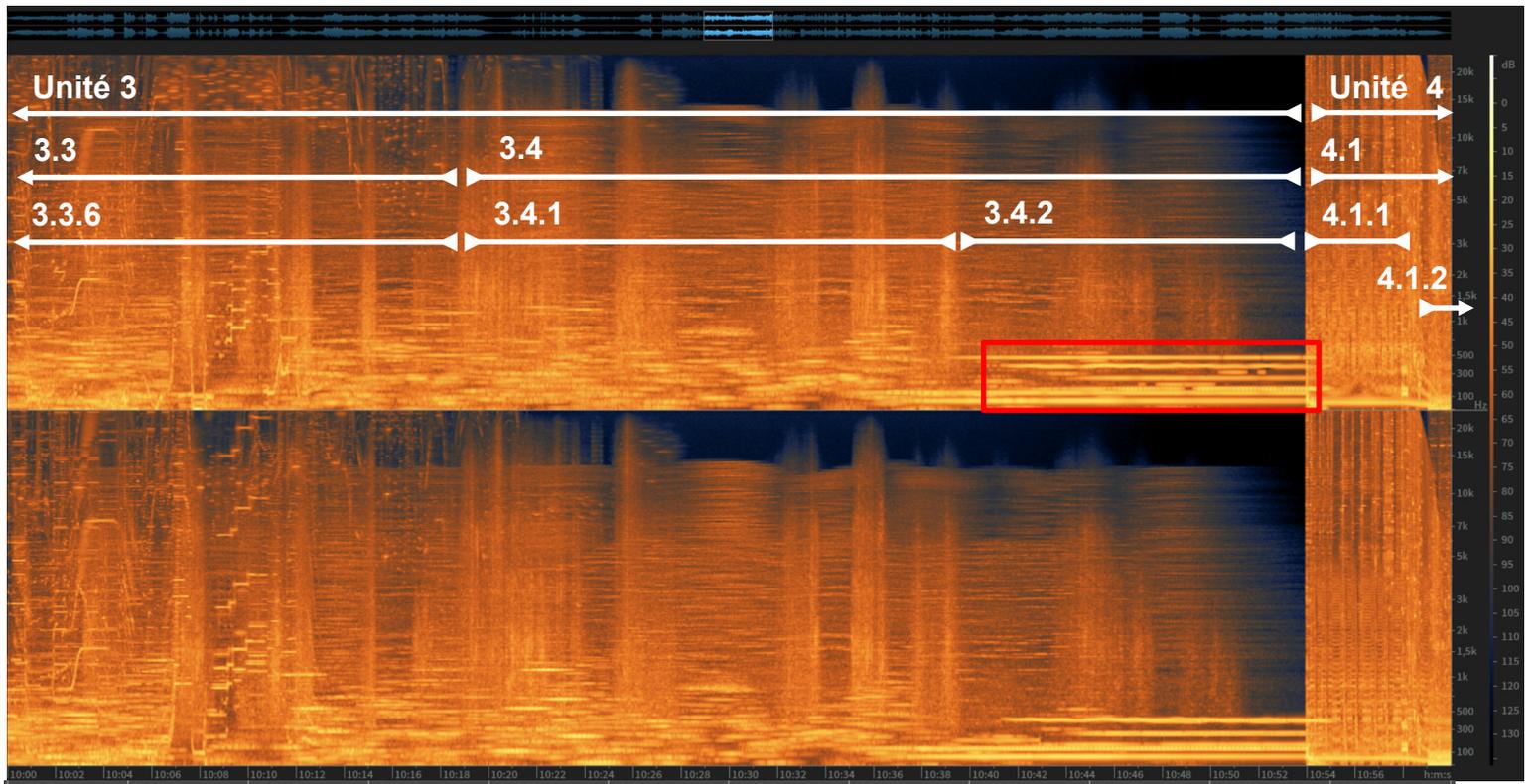
« « **< R <**

Double *Rappel* des voix d'Apollo et de l'accord d'ouverture de MITS

« « > !

Affirmation du thème varié tout au long de l'unité 3

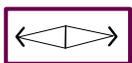
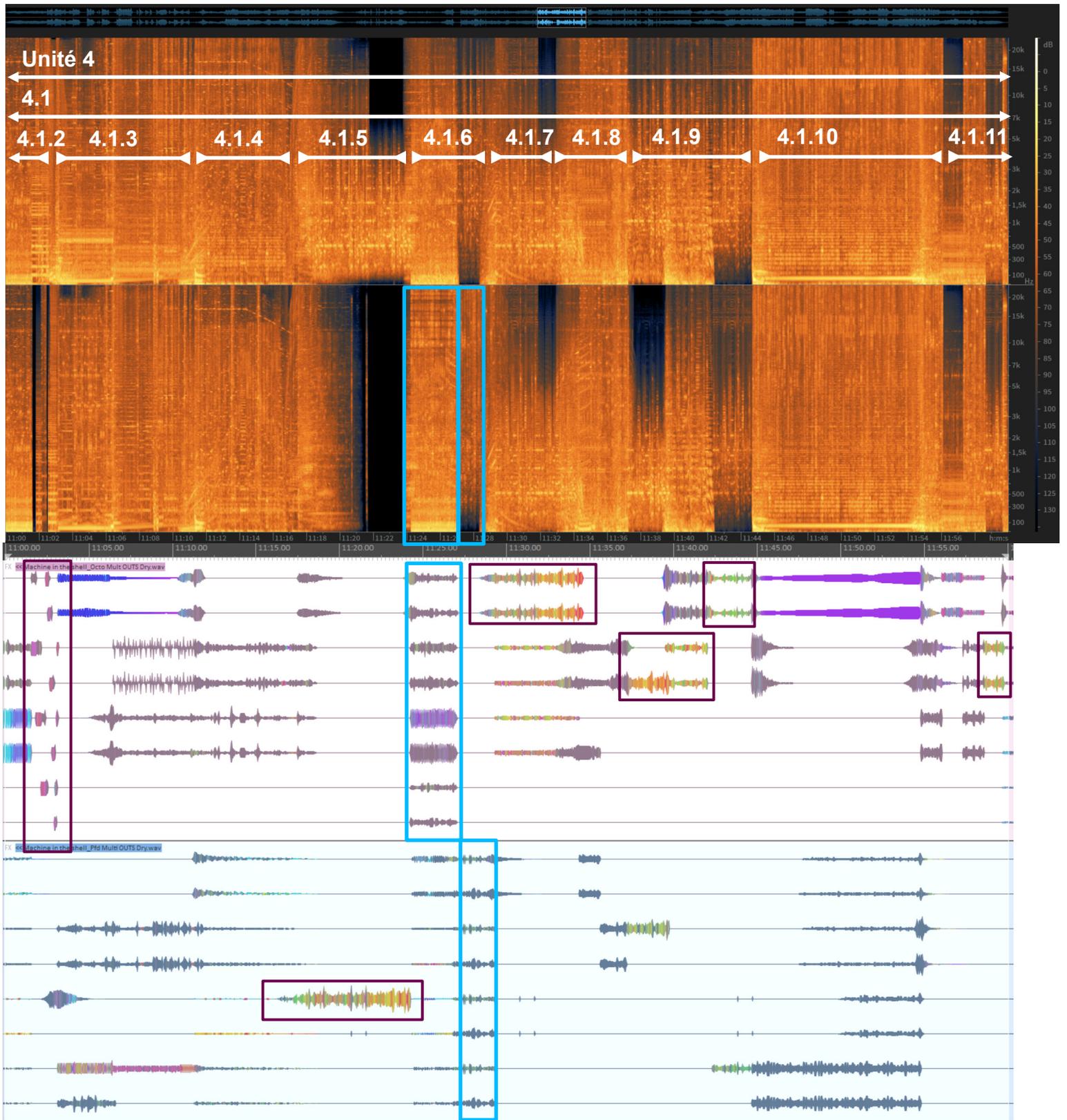
< R <



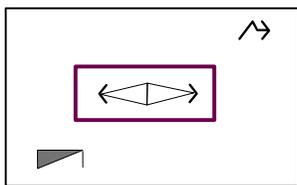
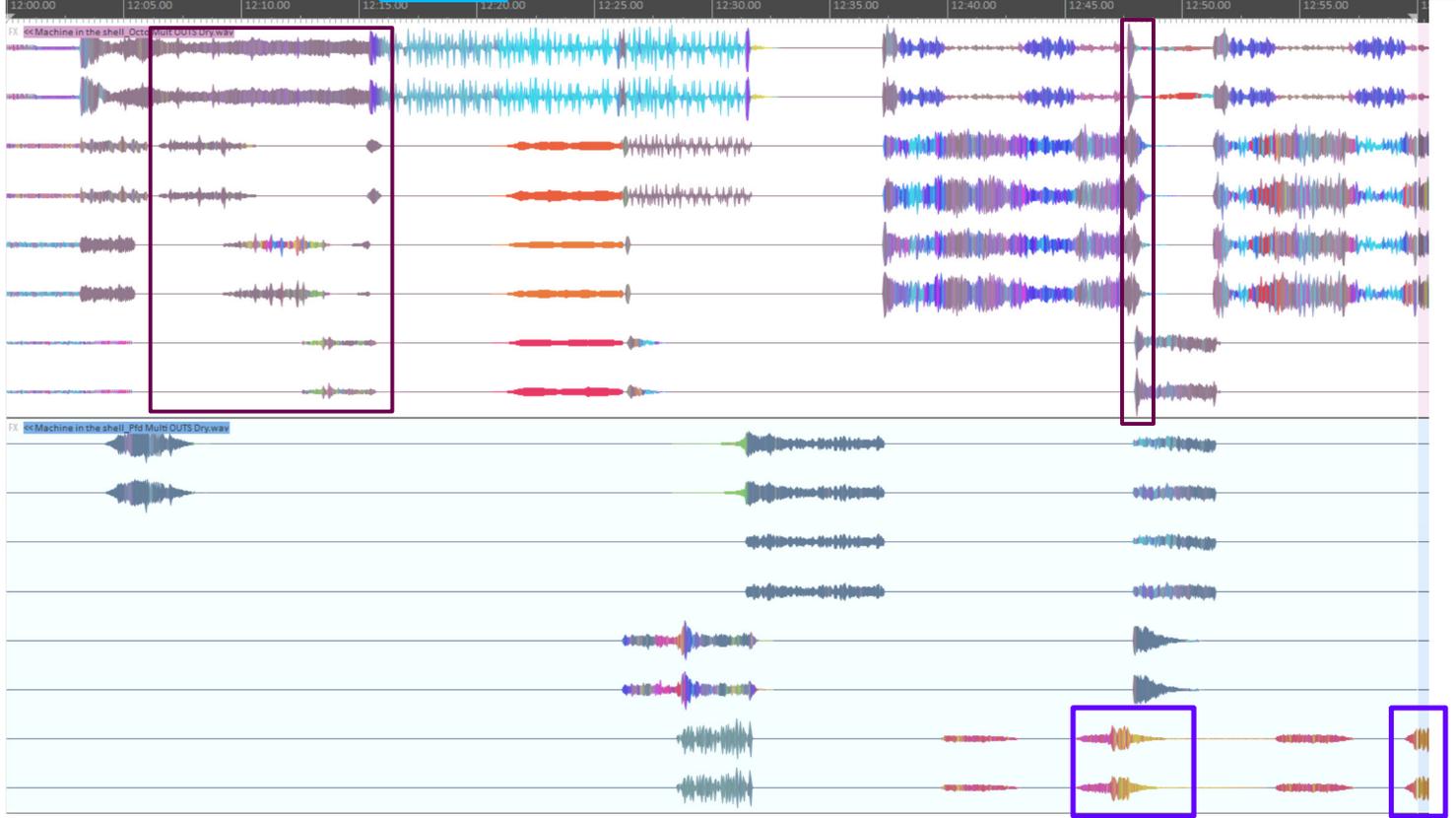
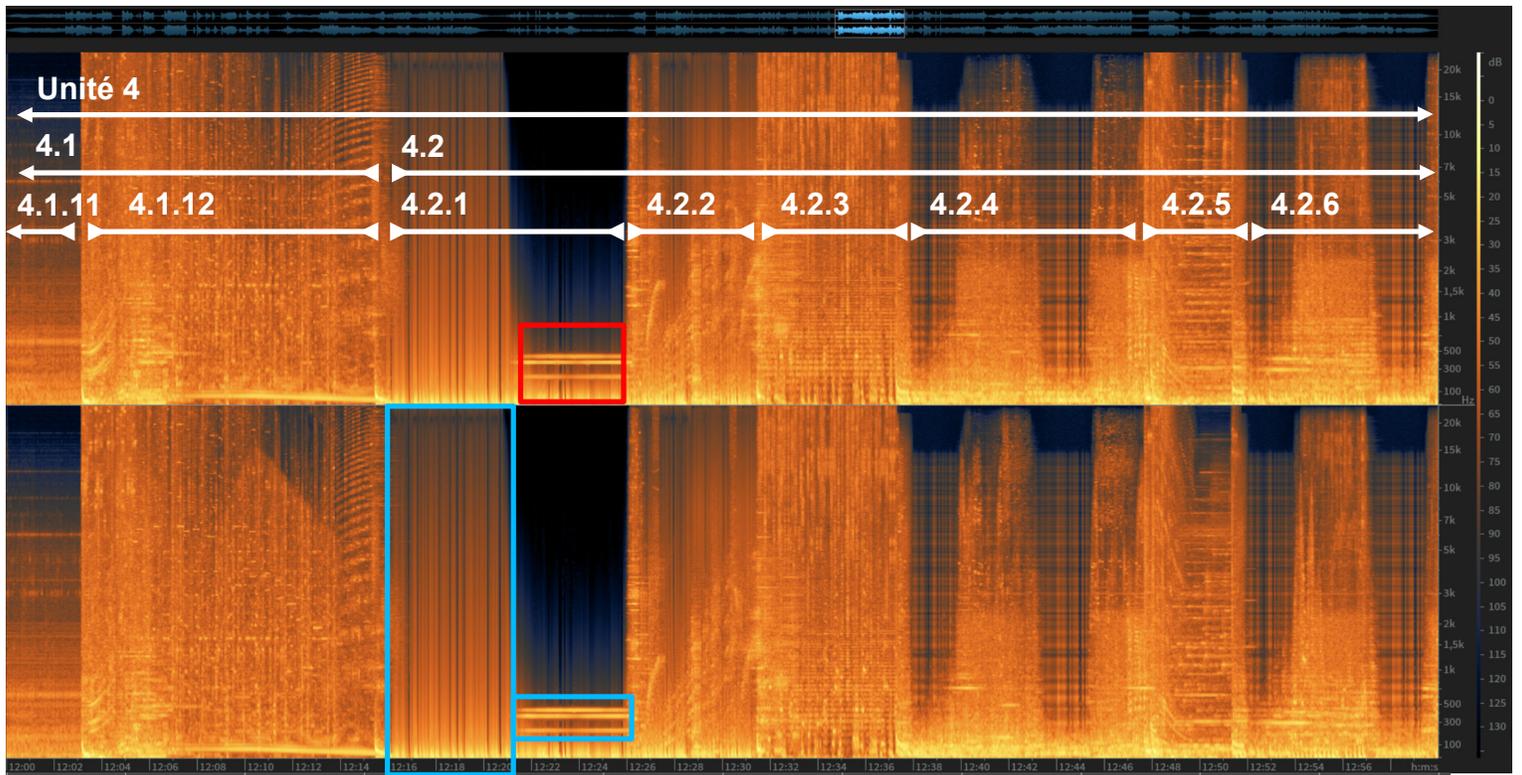
< R <
L'oiseau, en *Rappel* de l'Annonce de l'unité 2.5.5, cette fois-ci sous sa forme mécanisée

Le "Pigeon mécanique", lâché dans la volière du dôme, effectuée une *Progression spatiale*

L'unité 4 regorge de micro-montage. Des *Articulations* très vives contrastent avec les trames de l'Unité 3



L'unité 4.1.5 présente un objet sonore qui va être le sujet de multiples *Imitations* tout au long de l'Unité 4.1



La *Décélération* ainsi que la *Progression spatiale* favorisent l'*Engendrement* de l'Unité 4.2



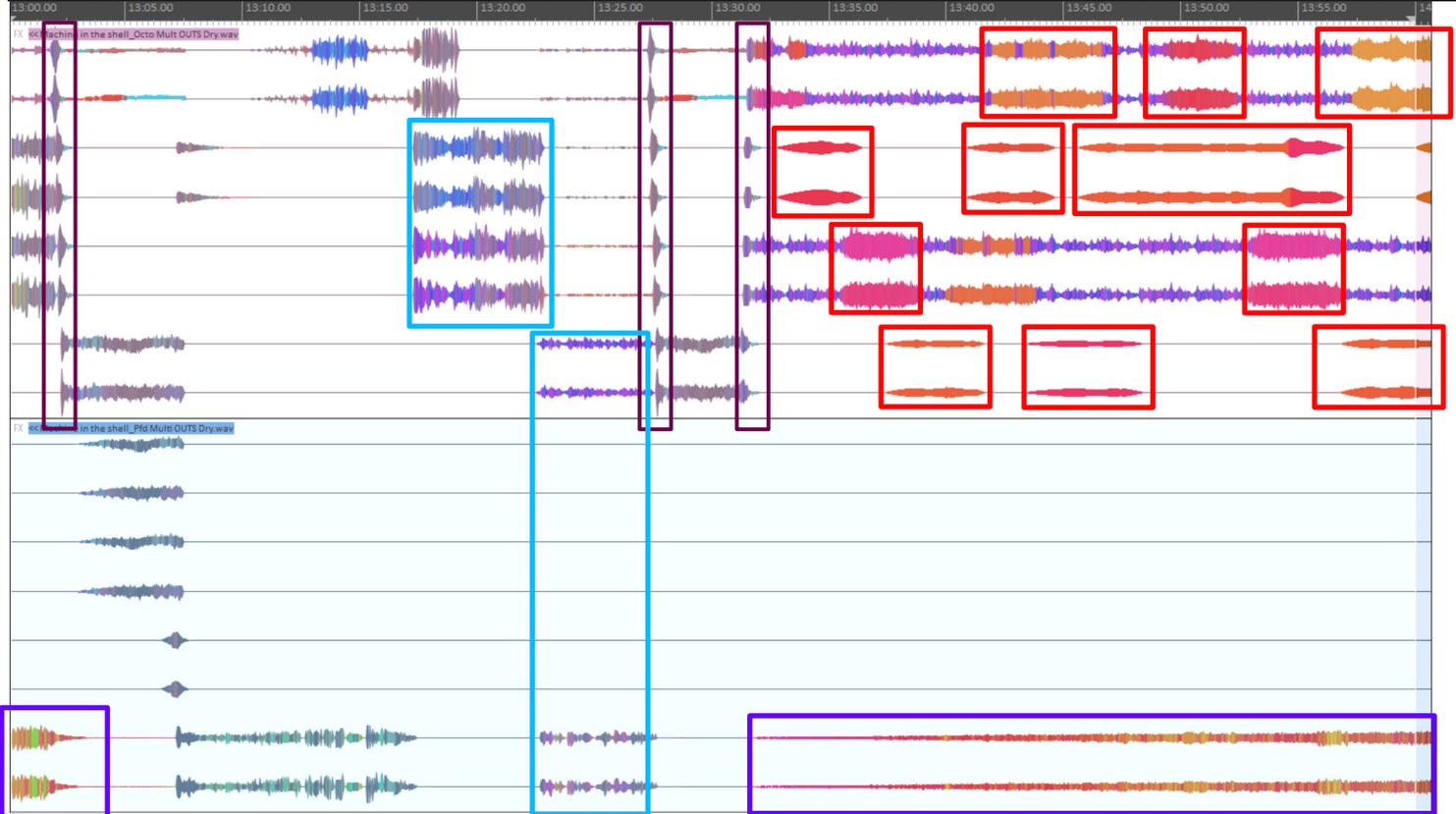
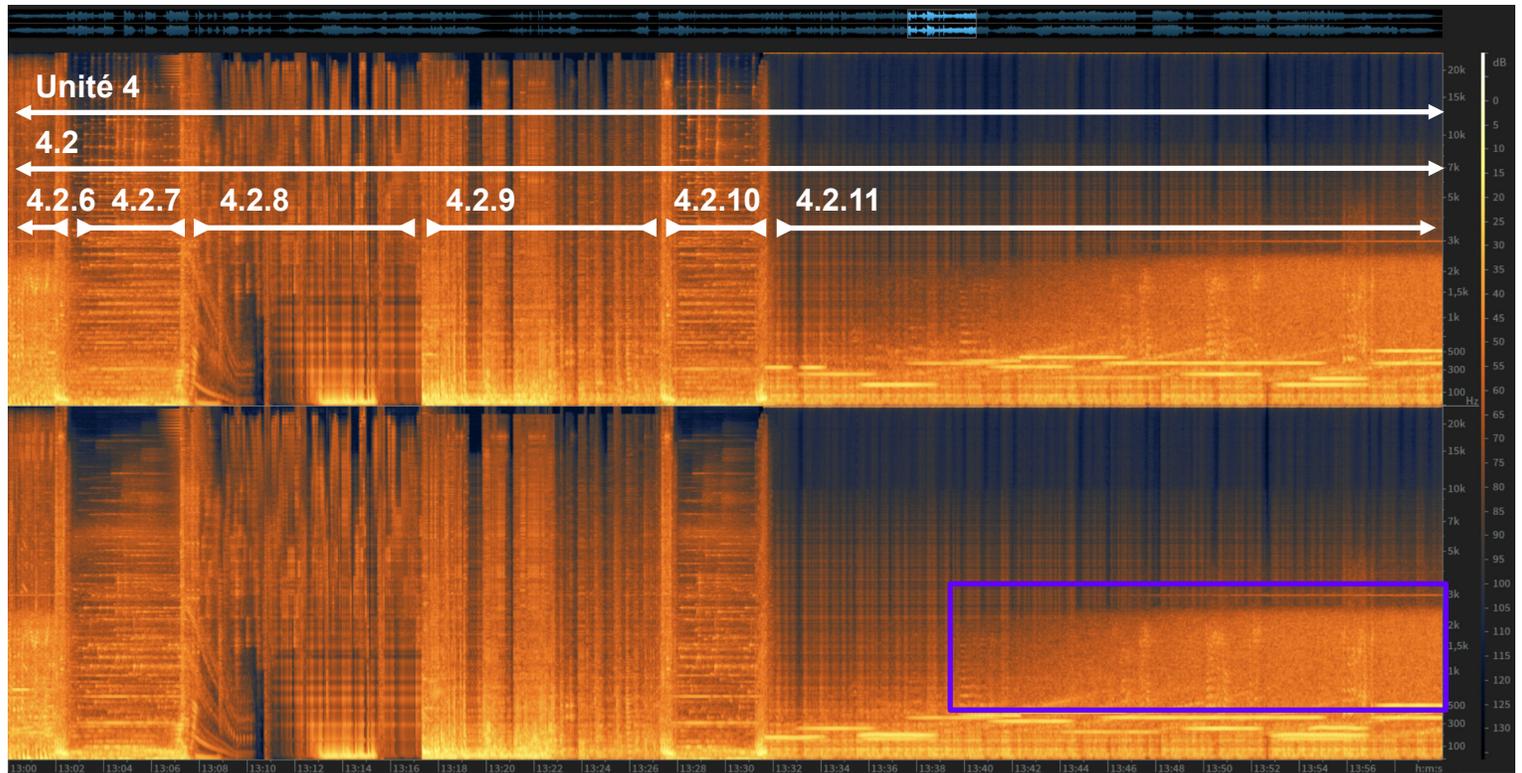
La voix, ici presque avortée, du membre de l'équipage d'Apollo sert ici d'*Anticipation* à celle, non-interrompue, qui conclut l'Unité 4.2.6

xxxvi



L'Unité 4.2.5 va être *Réitérée* en 4.2.7 et 4.2.10. Elle est introduite par une vague d'impacts qui parcourt les couples de haut-parleurs de 1-2 à 7-8





↳



↳

↳



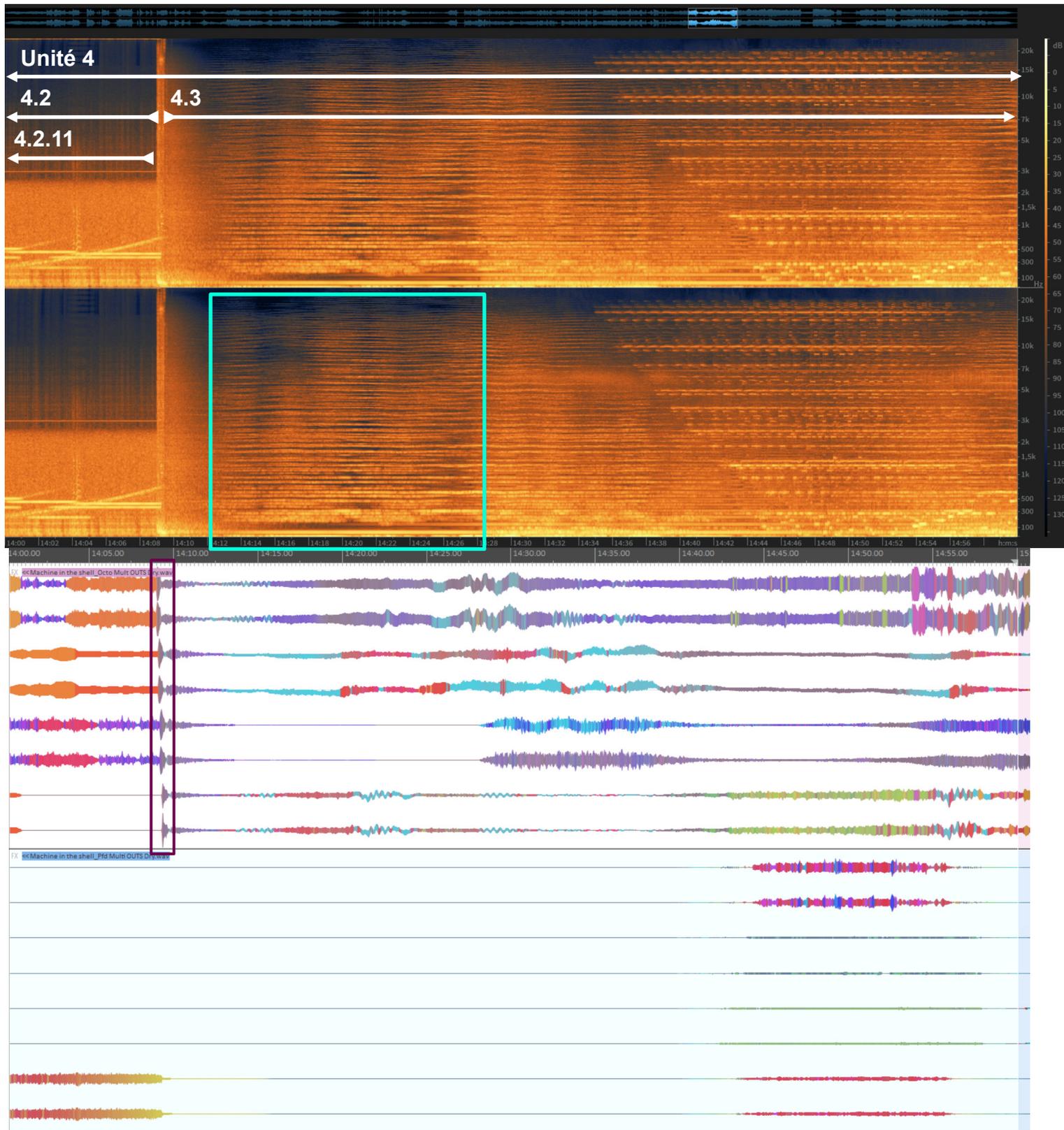
< R <

Les voix d'Apollo ainsi que des fragments de l'accord d'ouverture sont Rappelés tout au long de 4.11



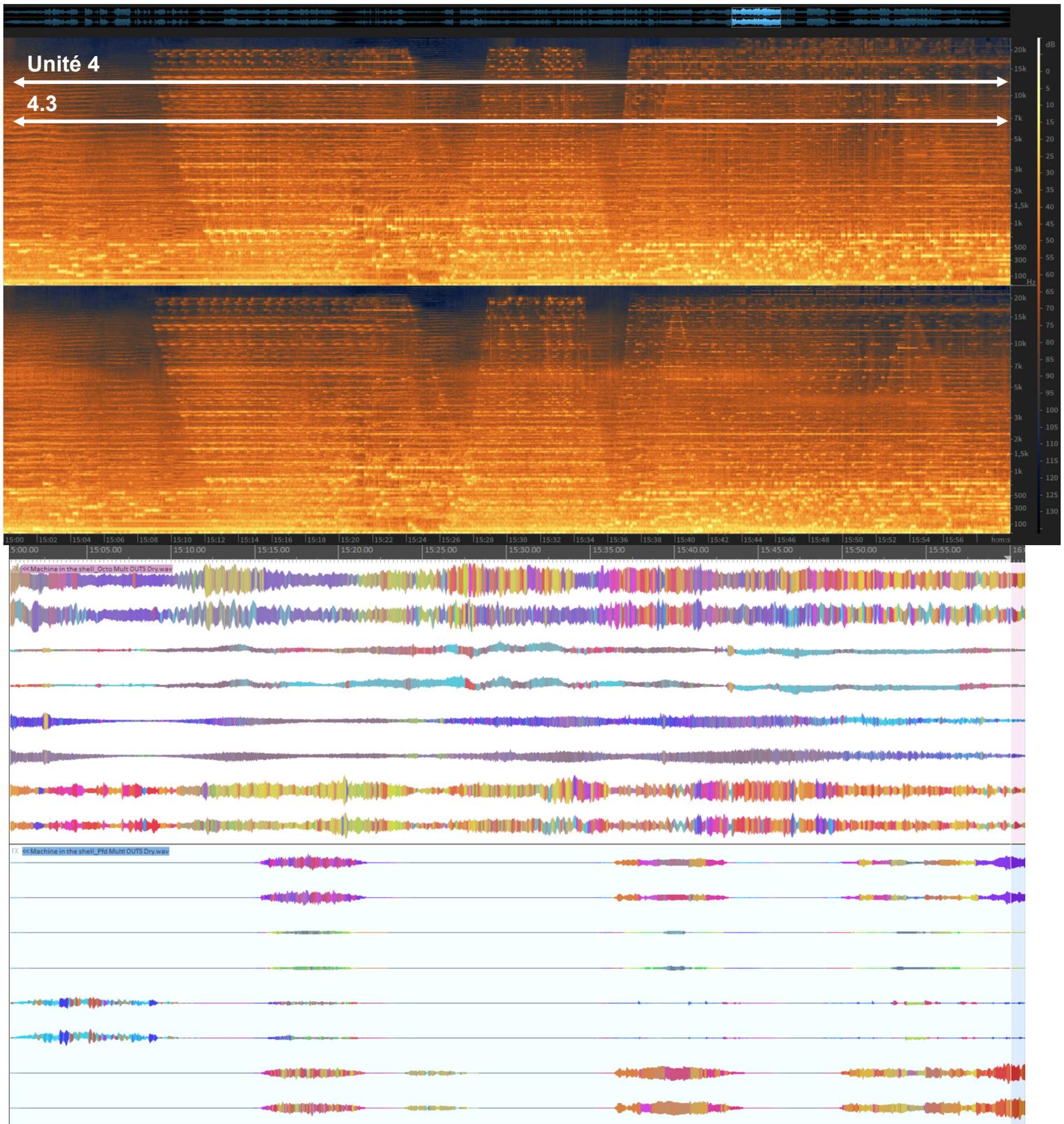
> X <

L'Unité 4.9 présente des morphologies antagonistes successives qui la divisent en deux sous-unités. L'objet micro-monté est en effet présenté dans des registres de masse et de plans spatiaux radicalement opposés



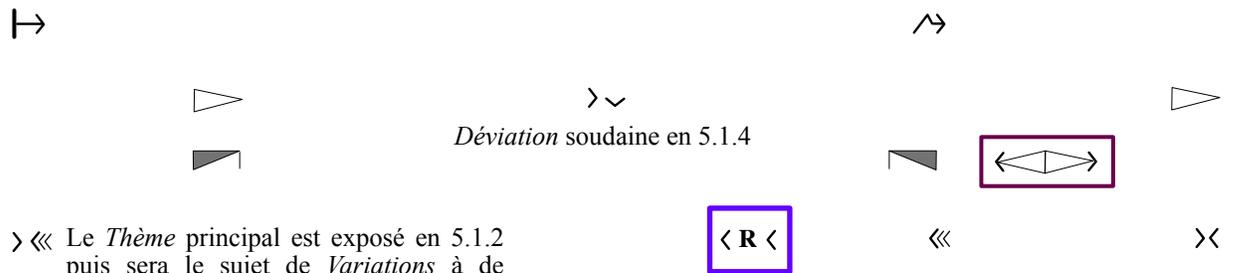
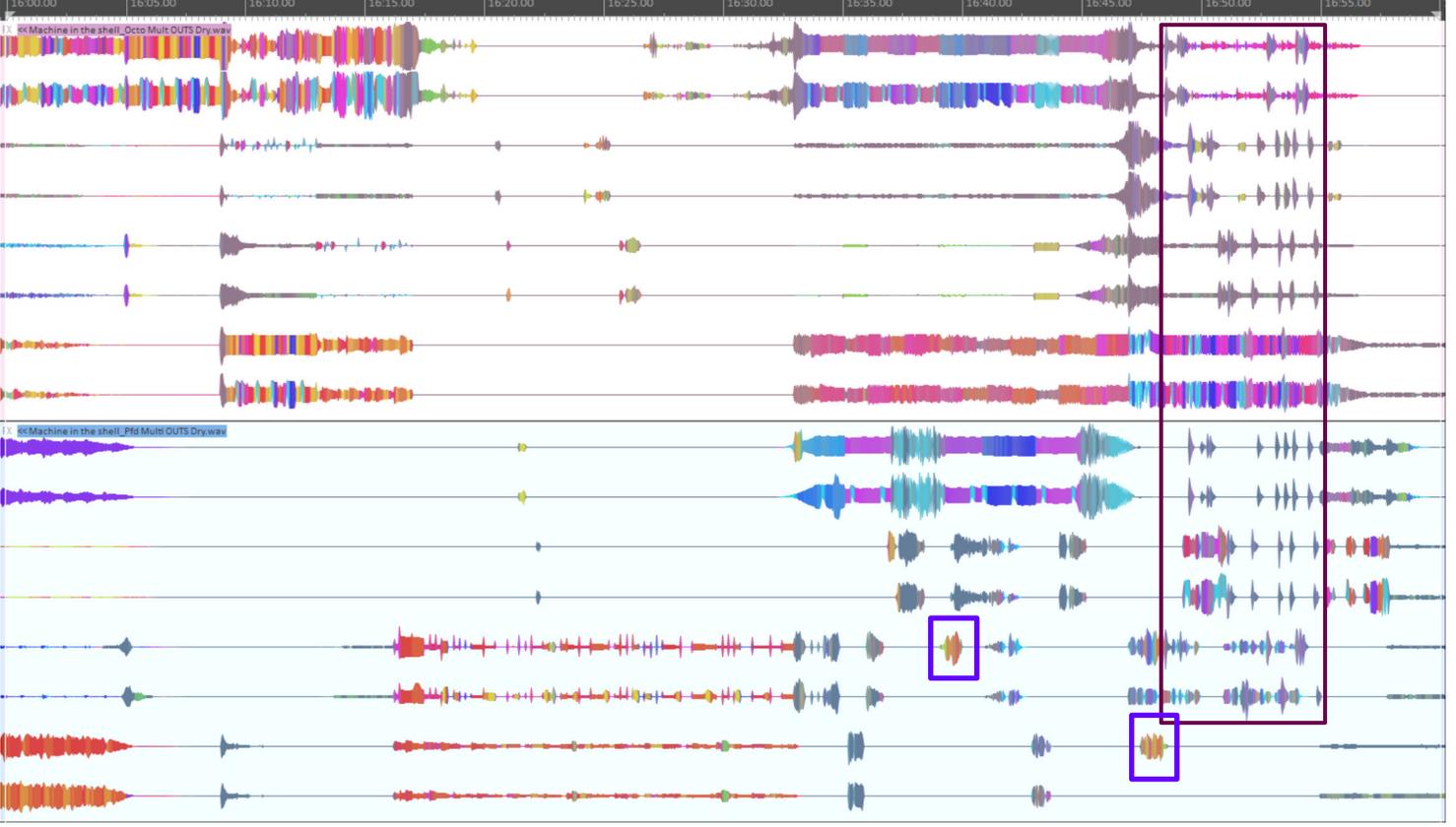
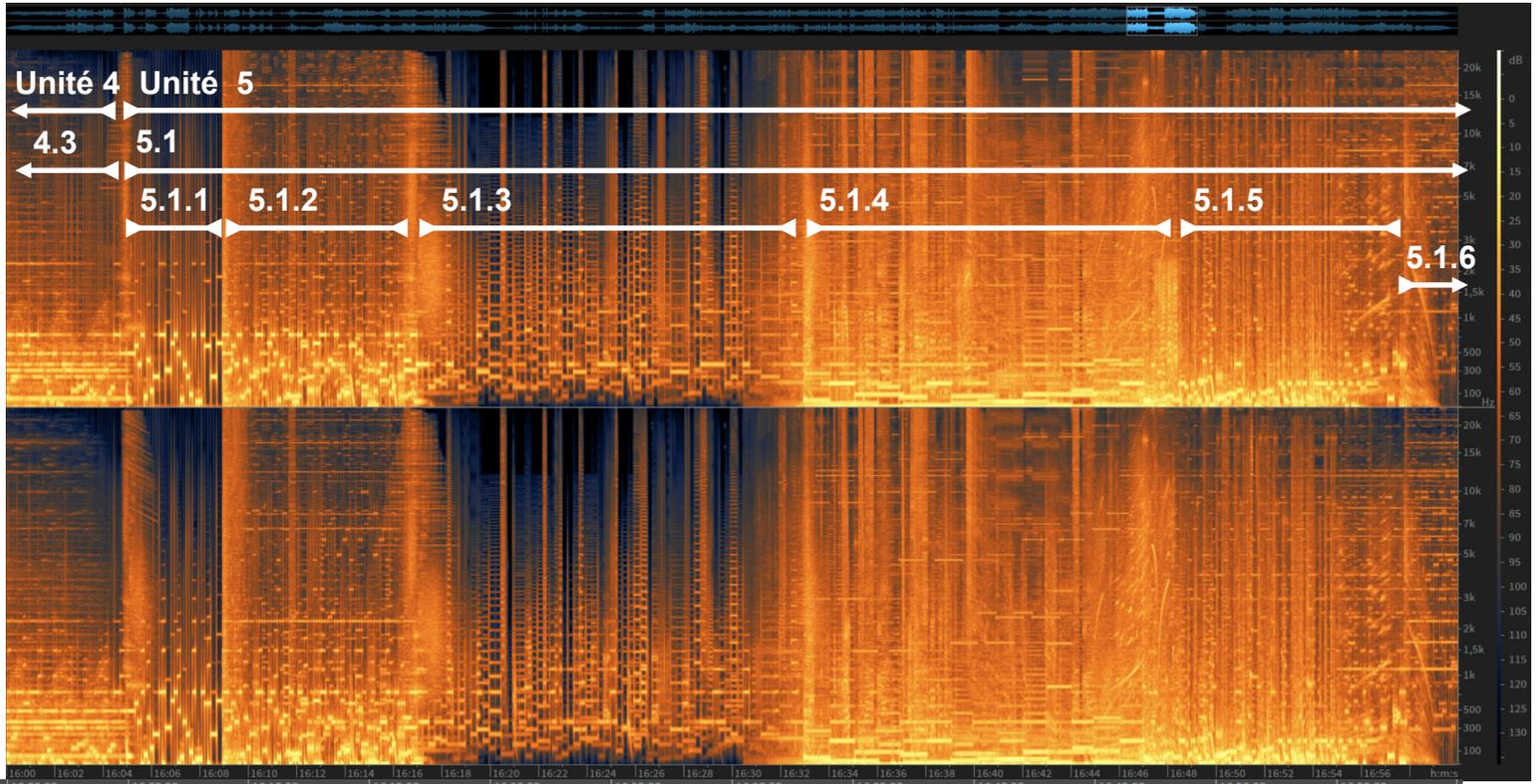
Ces textures de synthèse sont un *Rappel* de l'*Annonce* faite durant l'Unité 2.5.2





Entre 14'09 et 16'04 s'opère une longue transition qui permet d'introduire la 5^e et dernière Unité de l'oeuvre. En effet, les dernières typomorphologies présentées détonnent avec les autres objets de la pièce. Étant obtenues par les même synthétiseurs, les signatures timbrales sont similaires et cela aide à ne pas rendre ces objets incohérents. Toutefois, leurs propriétés mélodico-rythmiques très prononcées exigent une préparation particulière. Ils ont donc été annoncés par fragments tout au long de MITS et cette transition va les introduire l'un après l'autre en usant de sons en delta (filtre + amplitude + réverbération). Ces sonorités expriment une autre facette du langage machine tel que je l'imagine. Très organisées, elles font également écho à ma culture du jeu vidéo rétro et aux sonorités chiptune qu'on leur associe, presque humoristiques dans leur timbre. Elles sont une trace de la relation ludique que j'ai entretenue avec les machines.

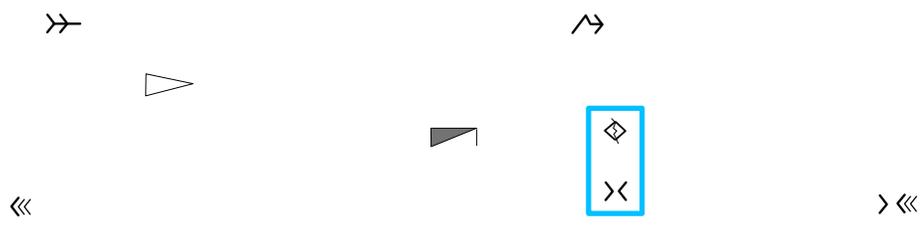
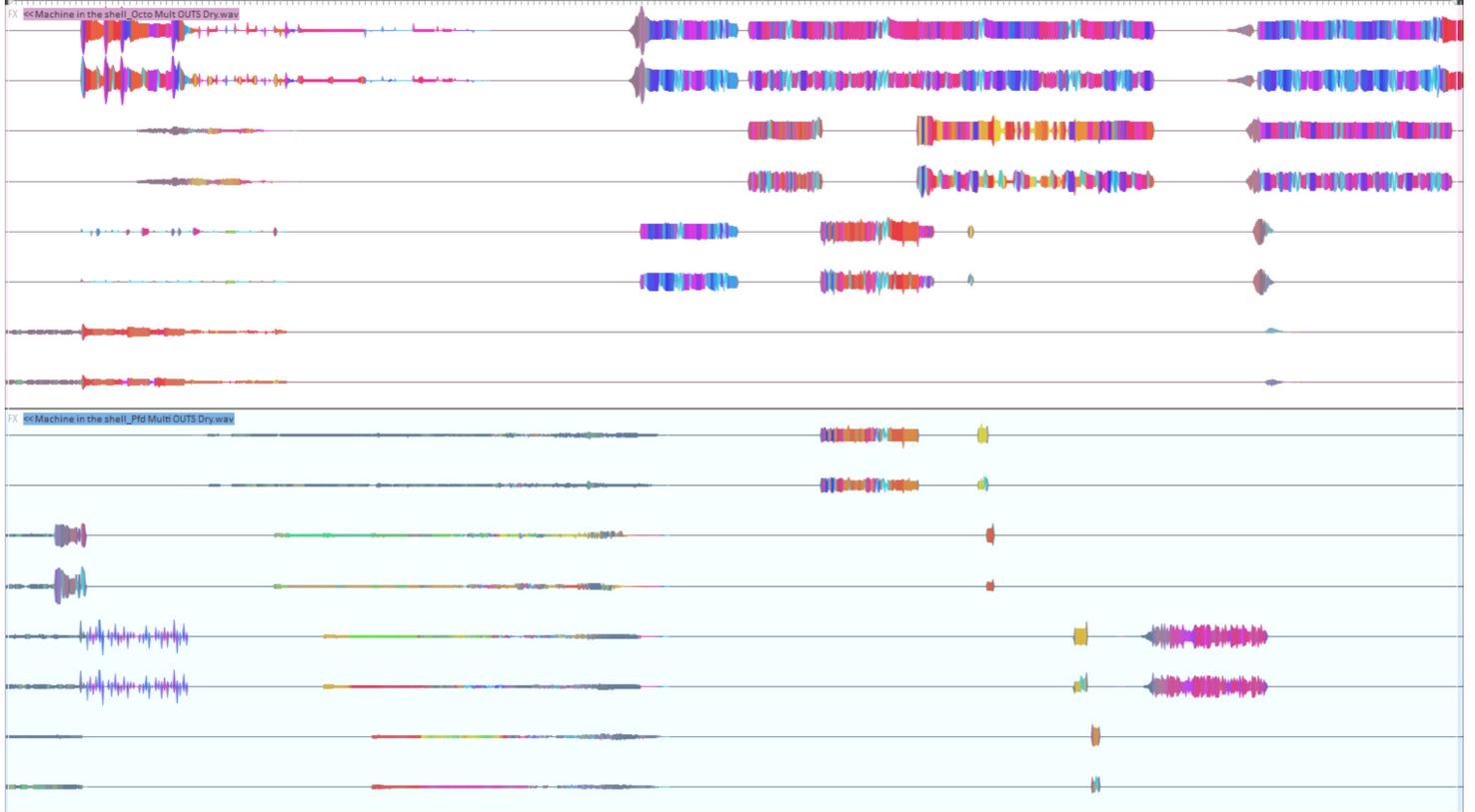
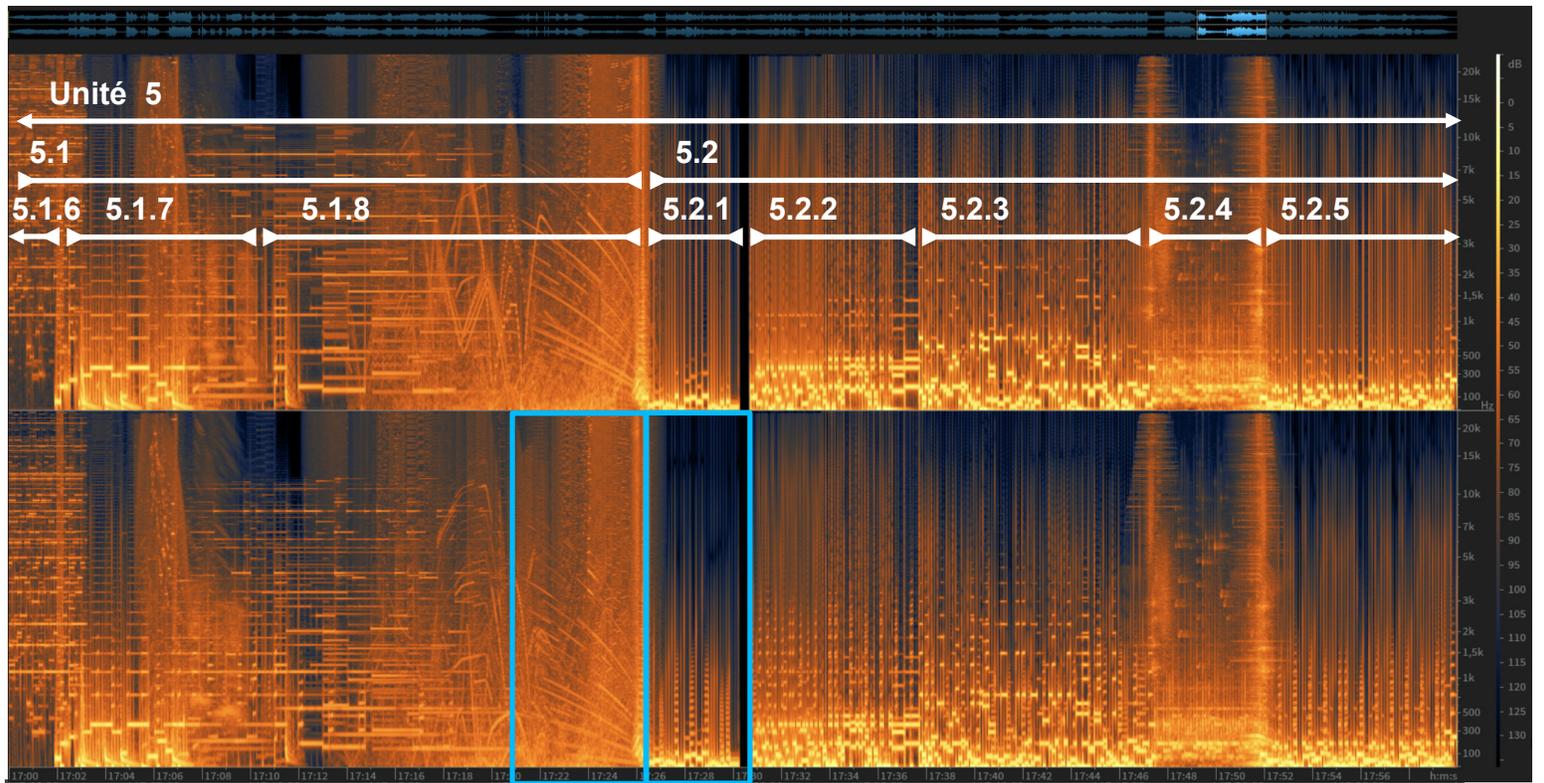
Il n'y a pas vraiment de fonction rhétorique à relever pendant cette transition. C'est une écriture par vagues. Il y a de nombreuses masses qui s'entremêlent. Certaines vont jaillir quelques instants à la surface pour replonger et se fondre dans les autres. Cette transition finit par une modulation par fondu enchaîné entre 15'36 et 16'04 de fa# majeur à si majeur.



> < Déviation soudaine en 5.1.4

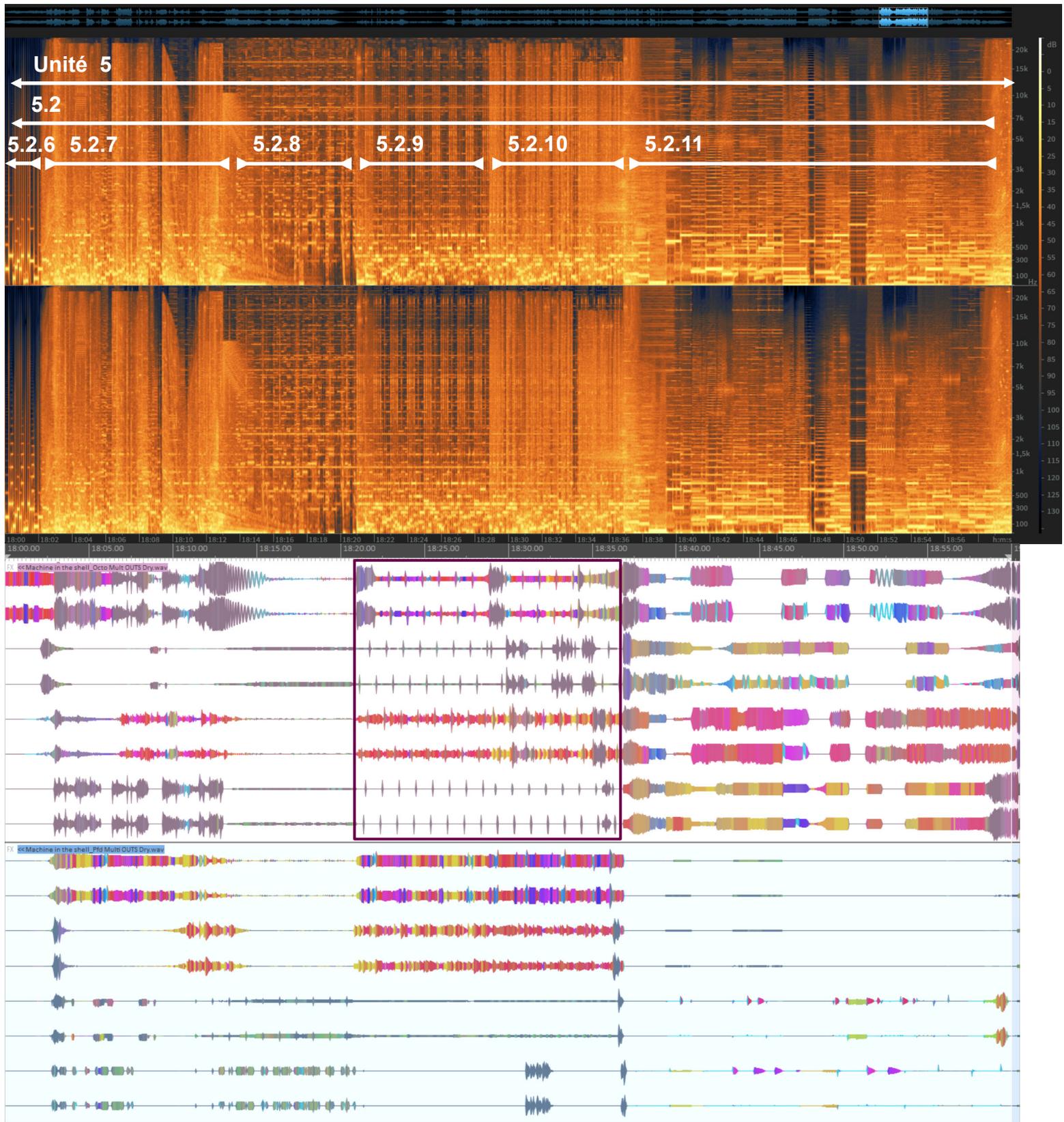
> << Le *Thème* principal est exposé en 5.1.2 puis sera le sujet de *Variations* à de multiples reprises durant 5.1 et 5.2

< R >



Des objets sonores qui font office d'*Appoggiature* et dont la facture fugace est bien visible dans le sonagramme introduisent et clôturent une parenthèse en 5.2.4

L'unité 5.2.1 est à la fois un *Antagonisme successif* à ce qui précède mais également une *Rupture* qui introduit l'Unité 5.2
xli



↳

Les tics d'horloge de l'Unité 5.2.9 et 5.2.10 crée un mouvement circulaire dans le dôme

L'écriture est dense en 5.2, présentant de nombreuses fonctions et des phases d'Articulation par micro-montage



««

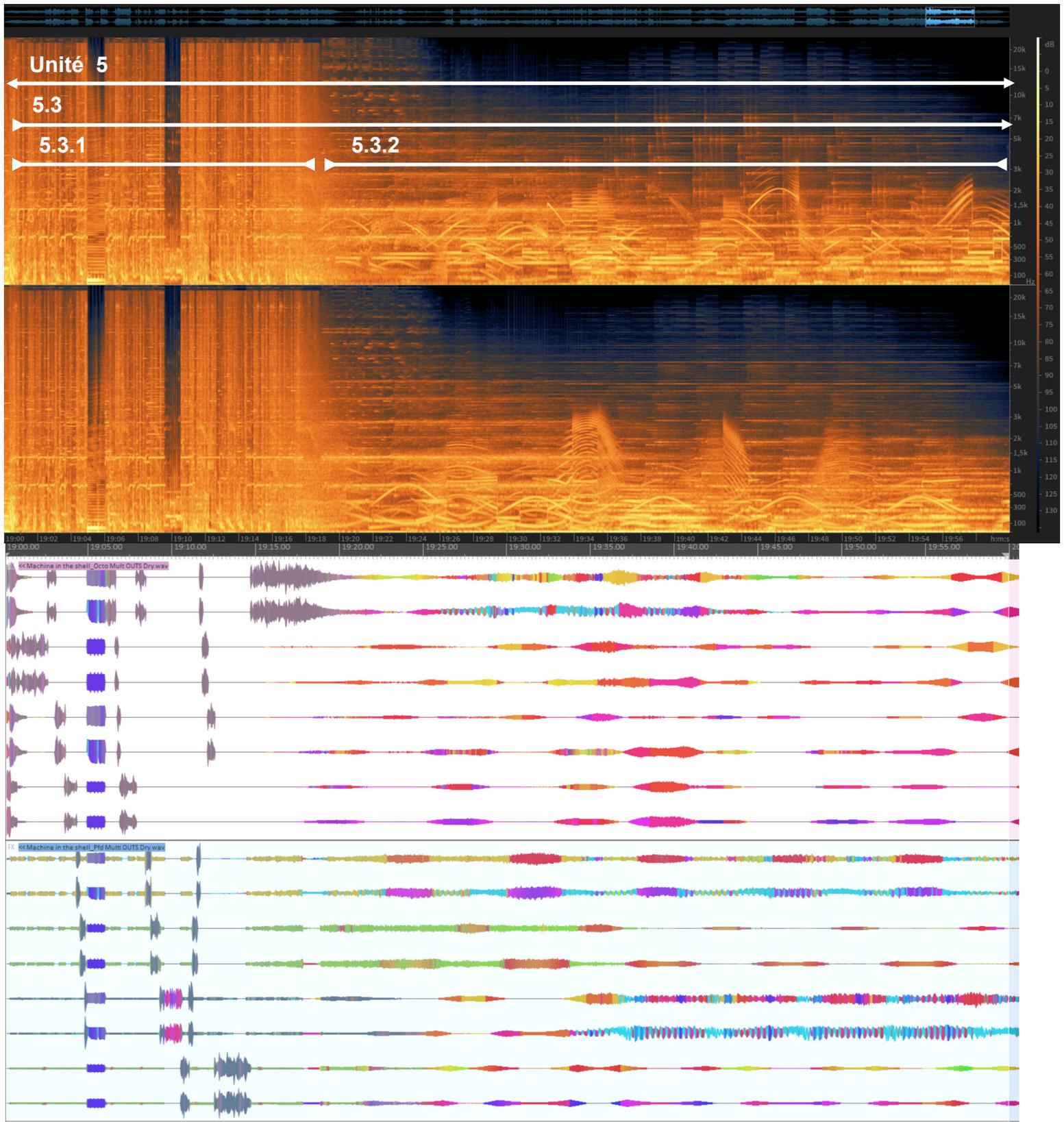


>>>

>∨

L'Unité 5.2.8 crée l'attente, par *Rétention* rythmique, de l'Unité 5.2.9

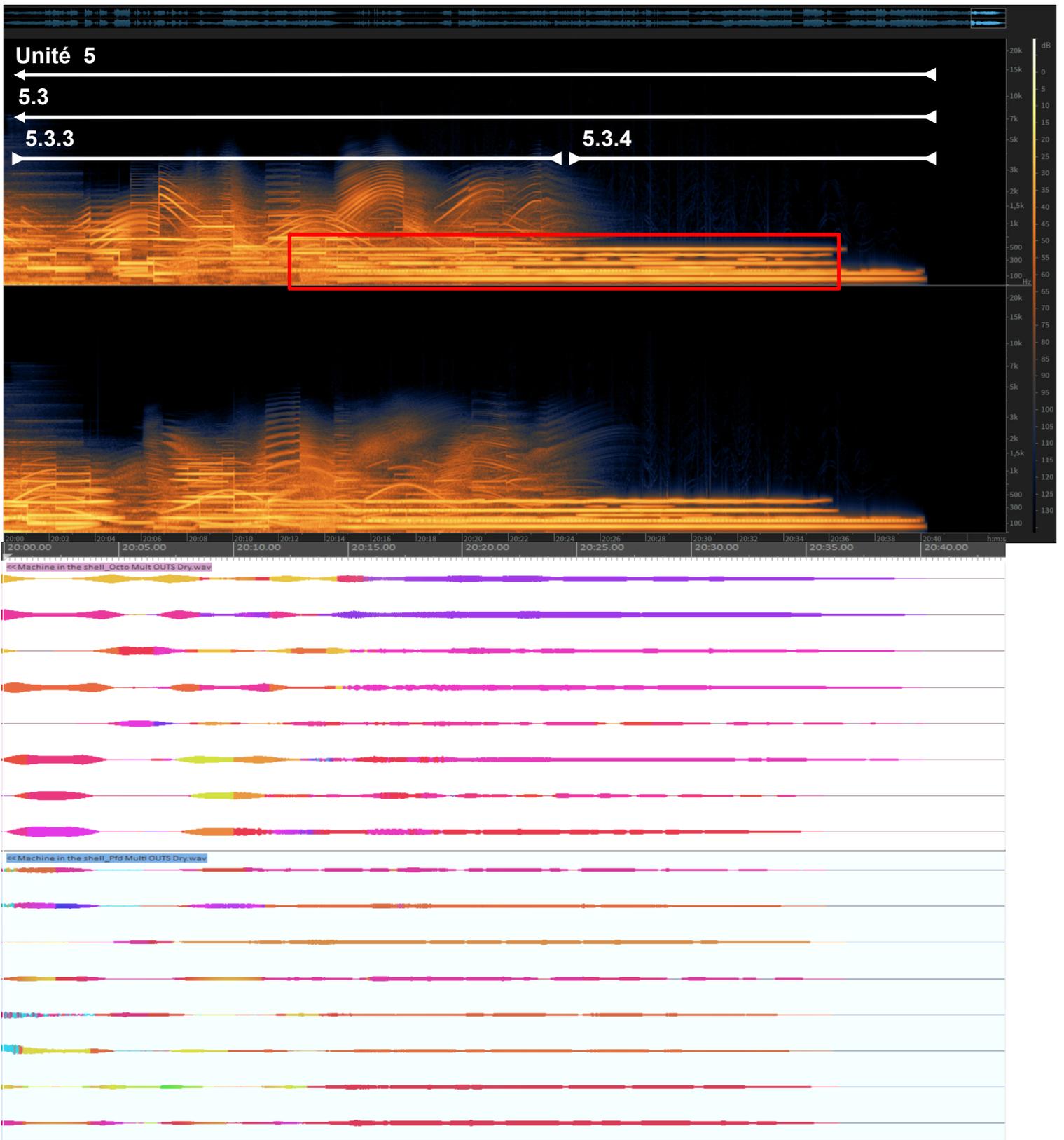
Déviaton soudaine en 5.2.11
xlii



()

Micro *Parenthèse* d'une
seconde à peine





Fermeture du dôme dans un mouvement symétrique à l'introduction, bien que plus rapide.

Annexe 3. Partition des sections instrumentales de
Gu(I)t(A)rs

Gu(I)t(A)rs partie A

© = D

A

♩ = 65

Classique

Electrique

mf

mf

Cl.

El.

rit. *cii*

a tempo

gliss.

sul tasto *cii*

gliss.

Cl.

El.

rit.

ord.

gliss.

legato

gliss.

Cl.

El.

a tempo

poco rit.

sul tasto *rit. cii*

mp

sul tasto *3 cii*

3 let ring

mp

mp

2

B a tempo

7 *ord.*
 Cl. 1 2 4 3 4, 1 2 3 2, ③ CIV
 El. *ord.* 3 3
mf

9 CIII CV
 Cl. ③ ④ 3 1 2 2
 El. 3
 ⑥

11 *poco rit.*
 Cl. 1 3 2 ⑥ 2 4 1 ④ ②
 El. ③

A' a tempo

13 *rit.*
 Cl. 0
 El. CII *gliss.*

15 **a tempo** *legato* 3

Cl.

El.

17 **poco rit.** *rit.*

Cl.

El.

mp *3 let ring*

B' **a tempo**

19 *mf*

Cl.

El.

mf

21

Cl.

El.

23 Cl. *slap* *f*

El. *f*

26 Cl. *ord.* *gliss.*

El. *f*

P.M.-----

28 Cl. *legato*

El.

P.M.----- | P.M.-----

30 Cl. *4* *3* *1*

El.

P.M.----- | xlix | P.M.-----

33

Cl. *mp* *f* *gliss.* *gliss.*

El. *mp* *f* P.M.

35

Cl. *p* *f*

El. *p* *f* CV

37

Cl. CXI CX CVI ①

El.

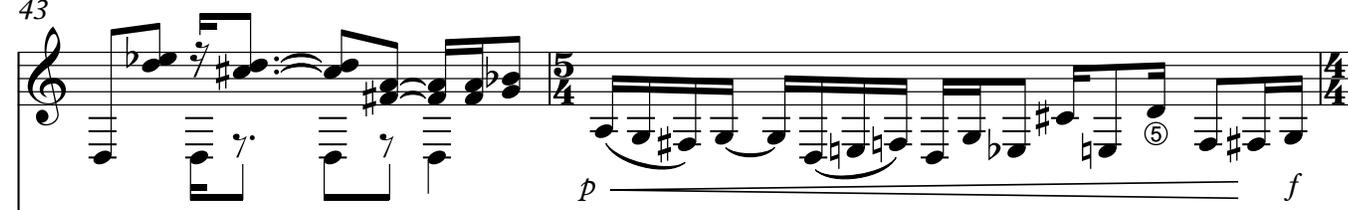
40

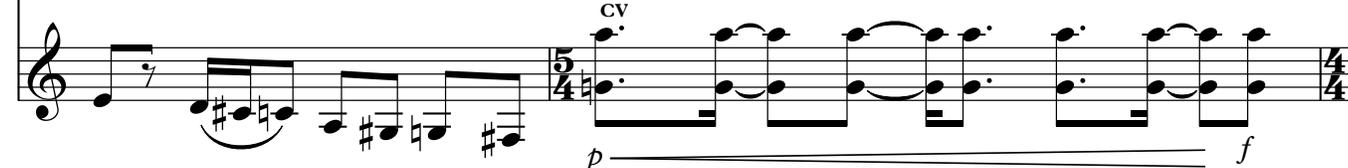
Cl. *mp* *f*

El. *mp* *f*

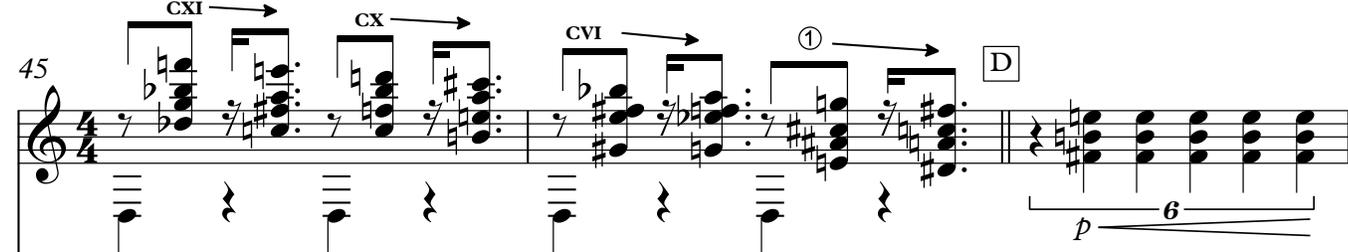
1

43

Cl. 

El. 

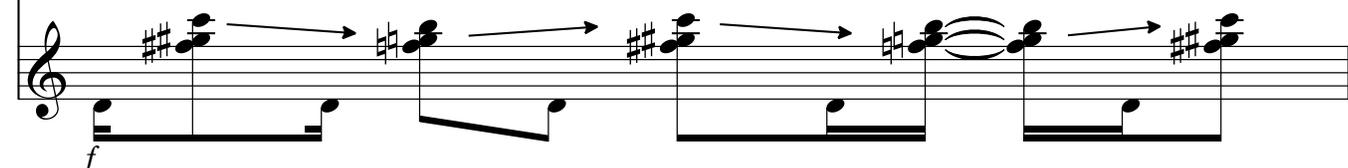
45

Cl. 

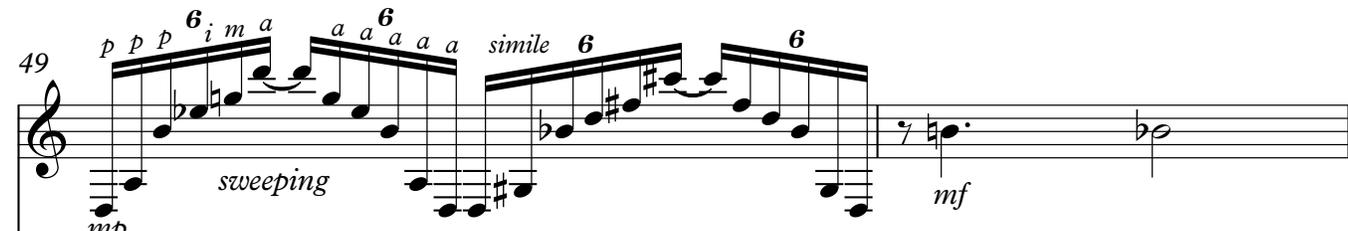
El. 

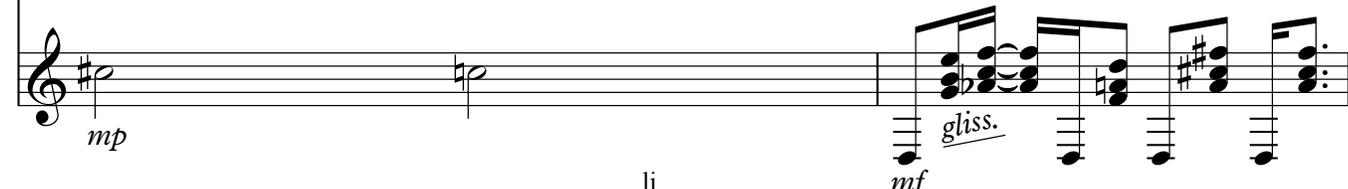
48

Cl. 

El. 

49

Cl. 

El. 

51
Cl. *mp* 6 6 6 6
El. *mp* 6

52
Cl. 6 6 6 6 *mf*
El. *mf* gliss. CII

54 CIV *p* i m a 3 4 E *p* m i a 6
Cl. *p* let ring-
El. *p*

57 *simile* 6 CV *p* i m a 3 3 3 3 CVI 3 3
Cl. *p* *mf*
El. *mf*

61 CVIII 3 3 3 3
Cl. 3 3 3 3
El.

64
Cl. *m* *i* *a*
El.

67
Cl. *m* *i* *a* 1/2CIV
El.

69
Cl. *p* *civ*
El.

73
Cl. let ring
El. 1/2CVII

76
Cl.
El. *ppp*

The musical score is written for Clarinet (Cl.) and Euphonium (El.). It consists of six systems of music, each with two staves. The key signature is one sharp (F#). The time signature is 3/4. The score includes various musical notations such as triplets, slurs, and dynamic markings. Measure numbers 64, 67, 69, 73, and 76 are indicated at the beginning of their respective systems. Fingerings and breath marks are provided throughout the score. The piece concludes with a *ppp* (pianissimo) dynamic marking.

♩ = 65

Guitare

Guitare jazz

A ② ③ 1/2CVIII 2 4 3 4 3 4 2 ② ④ ②

let ring-----|

gliss.

Gtr.

Gtr. J.

3 ① ② ③ CVIII ②

gliss. *gliss.* *gliss.*

Gtr.

Gtr. J.

5 ②

gliss.

Gtr.

Gtr. J.

7 ② ③ ④ ② ③ ② ①

let ring-----|

④ *gliss.* ⑤ *gliss.*

This musical score is for guitar and bass guitar, spanning measures 9 to 17. It is written in a key with one sharp (F#) and a common time signature. The score is divided into two systems, each with a guitar (Gtr.) and bass guitar (Gtr. J.) part.

Measure 9: The guitar part features a melodic line with fingerings 1, 3, 2, 2, 3, 3, 1, 2, 2 and includes a 'CX' (crescendo) marking. The bass guitar part provides a rhythmic accompaniment with a 'simile' marking.

Measure 11: A section labeled 'B' with a circled 2 begins. The guitar part has fingerings 2, 3, 3, 4, 2, 3 and includes a 'CX' marking. The bass guitar part includes a 'gliss.' marking and a circled 4.

Measure 13: The guitar part has fingerings 2, 3, 2 and includes a 'CX' marking. The bass guitar part includes a 'gliss.' marking and circled 3, 1, 2.

Measure 15: The guitar part features two chords labeled 'CVII' and 'CVIII'. The bass guitar part includes a 'let ring' instruction with a dashed line.

Measure 17: A section labeled 'C' with a circled 1 begins. The guitar part has fingerings 2, 4, 4, 5, 3 and includes a circled 1. The bass guitar part includes three 'gliss.' markings.

19 **A'** ②

Gtr.

Gtr. J.

21 ③ **CXII** **CV** **CI**

Gtr.

Gtr. J.

23 *m p i m i* *simile* ④ *gliss.*

Gtr.

Gtr. J.

24 ① ① ② *gliss.* *gliss.* *gliss.* *gliss.*

Gtr.

Gtr. J.

25 **B'** ② *gliss.* *gliss.*

Gtr.

Gtr. J.

27

Gtr.

Gtr. J. *gliss.*

29

Gtr.

Gtr. J.

32 \square D $\text{♩} = 96$

Gtr.

Gtr. J. *gliss.* *gliss.*

34

Gtr.

Gtr. J. *gliss.*

36

Gtr.

Gtr. J. *gliss.*

38

Gtr.

Gtr. J.

Detailed description: This page of a musical score contains measures 27 through 38. It is arranged in systems of two staves each, labeled 'Gtr.' (Guitar) and 'Gtr. J.' (Double Bass). The key signature has one sharp (F#) and one flat (Bb). Measure 27 starts with a guitar part featuring eighth-note patterns and a double bass part with a glissando. Measure 29 continues with similar rhythmic patterns. Measure 32 is marked with a 'D' chord symbol and a tempo of quarter note = 96. Measures 34, 36, and 38 show further development of the rhythmic and melodic ideas, with glissandos in the double bass part. The guitar part in these measures is mostly rests.

40

Gtr.

Gtr. J.

42

Gtr.

Gtr. J.

44

Gtr.

Gtr. J.

46

Gtr.

Gtr. J.

48

Gtr.

Gtr. J.

51 ^① ^③ ^①
 Gtr. let ring-----|
 Gtr. J.

54 *p m i* ^③
 Gtr.
 Gtr. J.

56 ^④
 Gtr.
 Gtr. J.

58
 Gtr.
 Gtr. J.

60
 Gtr.
 Gtr. J.

62 *p* F ₁ 0 4 0 ^b2 0 0 ^b 0
^④
 Gtr.
 Gtr. J.

lix

64 ^④1 *simile*

Gtr.

Gtr. J.

65 *rasguado* *de percussions* *ou* *percussions ongles* *sur éclisse*

Gtr.

Gtr. J.

66

Gtr.

Gtr. J.

67 ^④ ³ ^④1 ^b

Gtr.

Gtr. J.

69 ^② ³ *CIX* ¹ ^③ ^②

Gtr.

Gtr. J.

71 ^④1 ² ^b ³

Gtr.

Gtr. J.

73

Gtr. ^②

Gtr. J.

75

Gtr. ^④ 0 4 2 3

Gtr. J.

77

Gtr. ^①

Gtr. J.

79

Gtr.

Gtr. J. 6 6 6 6

80

Gtr.

Gtr. J. 6

