Ecriture du son, du temps et de l'espace dans l'interaction entre instruments et dispositifs numériques synchrones

Lara Morciano

▶ **To cite this version:**

Lara Morciano. Ecriture du son, du temps et de l'espace dans l'interaction entre instruments et dispositifs numériques synchrones. Art et histoire de l'art. Université Paris sciences et lettres, 2018. Français. NNT : 2018PSLET038 . tel-02270028

HAL Id: tel-02270028
https://theses.hal.science/tel-02270028

Submitted on 23 Aug 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THÈSE DE DOCTORAT

de l'Université de recherche Paris Sciences et Lettres
PSL Research University

Préparée au Conservatoire national supérieur de musique et de danse de Paris

Écriture du son, du temps et de l'espace dans l'interaction entre instruments et dispositifs numériques synchrones

École doctorale n° 540
ECOLE TRANSDISCIPLINAIRE LETTRES - SCIENCES
Spécialité SACRe, COMPOSITION MUSICALE

Soutenue par **Lara MORCIANO**
le 20 décembre 2018

Dirigée par **Gérard ASSAYAG**
(Ircam UMR STMS)

COMPOSITION DU JURY :

Mme D'ANDRÉA-NOVEL Brigitte
Mines ParisTech, Présidente du jury

M. COUPRIE Pierre
Sorbonne Université, Rapporteur

M. POTTIER Laurent
Université Lyon/Saint-Etienne, Rapporteur

M. GERVASONI Stefano
CNSMDP, Membre du jury

Mme SEDES Anne
Université Paris 8, Membre du jury

M. ASSAYAG Gérard
IRCAM, Directeur de thèse

CONSERVATOIRE NATIONAL SUPÉRIEUR DE MUSIQUE ET DE DANSE DE PARIS PSL

Remerciements

Mes plus chaleureux remerciements vont à Gérard Assayag qui a accueilli ce travail de recherche en le dirigeant avec une grande attention et un soutien constant, depuis l'élaboration du projet de thèse jusqu'à sa finalisation. Son enthousiasme, sa présence attentive, ses conseils avisés, sa disponibilité et sa bienveillance ont permis la réalisation de ce projet et marqué considérablement cette expérience professionnelle et humaine. À lui, toute ma reconnaissance et ma gratitude la plus profonde.

Mes remerciements les plus fervents vont bien sûr à José Miguel Fernández qui a été le partenaire d'explorations et d'aventures musicales enthousiasmantes qui ont nourri ma curiosité et suscité le débat, le partage et l'avancement de mes travaux musicaux et de recherche, permettant la réalisation des œuvres présentées dans cette thèse.

Je souhaite adresser mes remerciements sincères à Bruno Mantovani pour m'avoir accueillie au CNSMDP dans le programme doctoral SACRe où j'ai eu l'opportunité d'approfondir mes curiosités artistiques et musicales dans le cadre d'une formation très stimulante, et à Stefano Gervasoni et Luis Naon qui ont bien voulu être les professeurs référents de cette thèse au sein du conservatoire.

Je tiens à remercier Jean-Louis Giavitto pour son soutien, sa disponibilité continue, ses conseils précieux et son travail incessant sur Antescofo qui permet à la communauté des compositeurs d'avancer et réaliser des idées artistiques originales.

Je veux aussi adresser tous mes remerciements à l'équipe Représentations Musicales de l'Ircam qui m'a accueillie chaleureusement et à tous les musiciens et chercheurs avec qui j'ai eu la chance d'échanger tout au long de ces années très stimulantes.

Je veux également exprimer mes remerciements sincères au département de production de l'Ircam pour la collaboration constante lors des productions réalisées, et bien au-delà… Ce lieu représente une opportunité et une ressource précieuse pour toute la communauté des artistes et compositeurs voués à la création contemporaine. Cet institut a accompagné depuis longtemps mes créations musicales et mes recherches. Merci à toutes les personnes qui portent le projet artistique singulier de l'Ircam de faire vivre ce lieu unique.

Je souhaite aussi adresser mes remerciements à Philippe Brandeis, référent du CNSMDP pour le programme doctoral, ainsi qu'à Nadeije Laneyrie-Dagen et à Emmanuel Mahé qui, encadrant le doctorat SACRe pendant les années de ma thèse, ont donné vie à des moments partagés féconds et enrichissants.

Je remercie également les collègues doctorants SACRe avec qui j'ai partagé durant les années de formation plusieurs échanges et expériences intéressantes. Plus particulièrement, ma pensée va à Lara Hirzel, et à Linda Duskova avec laquelle j'ai pu élaborer de nouvelles réflexions autour des relations entre musique et scène.

Je tiens à remercier Alfonsina Fernández pour son soutien précieux et plus largement toute ma famille et les amis qui ont toujours soutenu mes choix et m'ont accompagnée tout le long de mon parcours.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION 3

I. PARCOURS ET REPÈRES COMPOSITIONNELS 6

I.1 PRÉMICES 6
I.2 L'APPORT DE L'ÉLECTRONIQUE 11
I.3 MORPHOLOGIES SONORES 12
I.4 MATÉRIAUX HÉTÉROGÈNES ET RYTHME 17
I.5 UNE ÉCRITURE MULTI-ÉCHELLE 19

II MUSIQUE MIXTE ET INTERACTION MUSICIEN-MACHINE 26

II.1 REPÈRES HISTORIQUES 27
II.2 LA CONFRONTATION DE SOURCES OPPOSÉES 29
II.3 DES SOLUTIONS COMPOSITIONNELLES 31

III LES STRATÉGIES DE L'ÉCRITURE 36

III.1 UNE ÉMULATION RÉCIPROQUE, ÉCRITURE DU SON 37
III.2 DIRECTIONS ET CONTRASTES : UNE ÉCRITURE DU TEMPS 44
III.3 SYNCHRONISMES : ÉCRITURE DE L'INTERACTION 48
III.4 INTERPRÉTATION ET LIBERTÉ 51
III.5 INTERACTION AVEC D'AUTRES MÉDIAS 54
III.6 ÉCRITURE DE L'ESPACE 57

IV PROBLÉMATIQUES TECHNOLOGIQUES 62

IV.1 TEMPS-RÉEL 62
IV.2 CAPTATION GESTUELLE ET INSTRUMENTS AUGMENTÉS 64
IV.3 CAPTEURS 70
IV.4 MAPPING 72
IV.5 LES LOGICIELS, ASPECTS PRATIQUES 74
L'ENVIRONNEMENT DE PROGRAMMATION MAX/MSP 74
SUPERCOLLIDER 74
OPENSOUNDCONTROL 75
LE SUIVI DE PARTITION : ANTESCOFO 75

V DISPOSITIFS ET CRÉATIONS 80

V.1. LE SCORE-FOLLOWING : *RAGGI DI STRINGHE*. 80

V.2 *ESTREMO D'OMBRA* : UNE ÉCRITURE ÉLECTRONIQUE INTERACTIVE 91

V.3 L'ÉCRITURE INTER-ARTS: *MICROGROOVE I, OCTAÉDRITE* 98

MICROGROOVE I 99

OCTAÉDRITE 103

V.4 CAPTATION GESTUELLE ET TRANSDUCTEURS 113

PHILIRIS 113

TAYGETA 118

LIPHYRA 125

CONCLUSION 129

ANNEXE : CATALOGUE DES ŒUVRES ET ACTIVITÉS ARTISTIQUES 132

BIBLIOGRAPHIE 136

Introduction

Dans l'évolution de la musique électroacoustique, le dialogue entre instruments et environnement informatique est devenu un domaine primordial de la création musicale contemporaine. L'interaction entre interprète et ordinateur est un axe de recherche parmi les plus explorés et porteurs de relations entre champs d'actions différents.

La mise en relation des instruments acoustiques traditionnels avec le son électronique et l'informatique musicale a mené à des recherches portant sur l'utilisation des dispositifs de captation et des traitements numériques en temps réel permettant l'analyse et la reconnaissance du jeu des instruments (y compris dans ses dimensions gestuelles), la synthèse/resynthèse sonore, la production de processus, la transformation et la génération de parties électroacoustiques cohérentes avec le champ instrumental, le suivi automatique de partition, l'intégration d'agents créatifs autonomes pour l'improvisation contrôlée homme – machine, etc. Aujourd'hui, la possibilité de sonoriser les instruments, de capter et analyser le jeu et le son instrumental, d'interagir avec les interprètes en temps réel ainsi qu'avec l'espace (acoustique et électroacoustique), ouvre une réflexion accrue sur les différentes relations entre interprète, partition, machine, espaces, temporalités et public ainsi que sur les différents rôles de l'ordinateur au sein de l'organisation des matériaux sonores.

Le questionnement des relations entretenues entre le jeu et l'écriture instrumentale et les différentes informations d'ordre musical et sonore ayant l'ordinateur comme élément situé au cœur d'un dispositif d'exécution sont à la base des interrogations fondamentales au cœur de cette thèse. Ce travail doctoral vise ainsi à étudier l'intégration contemporaine, dans la composition et la performance, des outils technologiques et artistiques correspondant à l'état de l'art en matière d'interaction temps-réel entre production instrumentale, production numérique du son et production de formes spatio-temporelles dans le lieu d'écoute.

Cette recherche se centre notamment sur l'interaction en temps réel avec des dispositifs informatiques avancés dans le cadre d'une écriture particulièrement virtuose avec des aspects spécifiques de construction temporelle et spatiale. À travers l'expérimentation menée dans les réalisations musicales développées dans ce parcours doctoral et détaillées au chapitre V, il a été ainsi possible d'étudier comment cette intégration pourrait constituer en retour une nouvelle modalité de l'écriture où fusionnent en cohérence une écriture interactive du son, du temps et de l'espace informées par la technologie.

En particulier, chaque œuvre réalisée, faisant appel aux différents types d'outils informatiques employés, a mené à un questionnement approfondi sur les moyens technologiques les mieux

adaptés aux nécessités musicales et techniques de son déroulement. La question de l'interaction, ayant une place centrale dans le travail de recherche mené ainsi que dans la conception des œuvres réalisées, sera le fil conducteur de ce texte et constituera aussi un point de départ pour décliner et développer les liens possibles avec d'autres domaines artistiques.

Les problématiques relatives aux différentes thématiques générales liées à l'écriture, déclinées à travers des réflexions sur les phénomènes sonores, le déroulement temporel et l'interaction avec l'espace trouveront leur déploiement dans les différentes parties de ce manuscrit.

Le premier chapitre rappelle mon parcours de recherche et de création et les grands repères conceptuels qui guident mon travail de composition, notamment la question des matériaux, de l'hétérogénéité des sources acoustiques et électroniques, et des morphologies sonores.

Le second chapitre installe le contexte historique, esthétique et technique de la musique mixte, exposée comme la résolution d'un conflit de sources pour lequel s'offrent un certain nombre de solutions compositionnelles.

Le troisième chapitre entre au cœur de ma pensée compositionnelle en déclinant des stratégies d'écriture autour des grandes thématiques telles que la conception du son, du temps, de l'interaction, la relation avec l'espace, l'interprétation et la liberté expressive, la relation aux autres médias artistiques, afin de conduire le lecteur à une compréhension des motivations et des choix esthétiques à la base de ma recherche et ma production artistique, et de la nécessité d'intégrer les nouvelles technologies à mon environnement de travail.

La réalisation d'une partie électronique très articulée, précise et efficace par sa synchronisation avec le jeu de l'interprète étant au cœur de mes recherches et productions musicales, la finalité de cette partie visera à décrire comment il est possible d'obtenir une interaction très étroite entre les sources sonores *live* et les traitements en temps réel.

Certaines des œuvres réalisées et décrites ont été conçues comme un espace de réflexion où élaborer une écriture conjointe de différents langages artistiques, dans une démarche pluridisciplinaire prenant en compte des éléments de l'univers visuel ainsi que les liaisons avec certains aspects de la dramaturgie théâtrale, la mise en espace et la création de lumières, avec la possibilité d'intégration d'éléments scénographiques conçus de façon interactive en relation aux événements musicaux.

Le quatrième chapitre traite des problématiques technologiques liées notamment aux questions de l'écriture de l'électronique, avec une présentation des concepts et moyens informatiques pour l'interaction homme-machine. Les questions relatives au temps-réel, à la captation, au geste instrumental, au *mapping*, à l'instrument augmenté y sont abordées.

Les systèmes et outils informatiques qui se révèlent être les mieux adaptés à la réalisation des processus de création et à la réalisation de ma production artistique sont ici abordés, en particulier ceux mis au point pour certaines productions utilisant des outils de contrôle et gestion du temps, la synchronisation de processus et traitements électroniques en temps-réel ainsi que le contrôle de la synthèse par le biais de la captation gestuelle et l'intégration de transducteurs.

En particulier, nous décrivons brièvement des environnements de travail tels que Max/MSP et le langage de programmation Antescofo, ainsi que le logiciel SuperCollider et d'autres modules de communication pour la transmission de données entre ordinateurs, systèmes et d'autres appareils multimédia.

Les bases conceptuelles relatives à l'esthétique, à l'écriture, à la technique étant posées, **le cinquième chapitre** présente de manière plus détaillée la conception et la réalisation des principales œuvres musicales créées dans le cours de ce doctorat en composition et qui exploitent dans diverses configurations l'ensemble des idées formelles et techniques présentées dans les chapitres précédents. Ces cas d'études seront mis à profit pour analyser les diverses possibilités d'interaction entre interprète et ordinateur, écriture et dispositif informatique, événements sonores et espace physique, synchronisation et traitements électroniques, partition et dramaturgie, instruments traditionnels et augmentés, et, finalement, écriture et liberté.

I. Parcours et repères compositionnels

« Le créateur doit être au cœur de la recherche pour flairer ce qui le met en appétit, profiter immédiatement de l'imprévu, de l'incongru, de l'errance. Sans doute, pour un musicien, se livrer à la recherche, c'est retarder l'avènement de l'œuvre. Mais la musique n'est pas seulement œuvre : elle est aussi modèle, exemple avancé, ferment. Être compositeur, ce n'est pas (plus) seulement produire pour le concert. C'est aussi vouloir modeler, transformer, laisser son empreinte sur l'habitus sonore - c'est la musique qui fait le son -, proposer de nouveaux outils plus musicaux, de nouveaux êtres sonores, de nouvelles manières de transiger avec le monde du son, ne pas se satisfaire du cadre et des moyens qui sont là, vouloir ce qui n'est pas.» (Risset 1985)

Le développement de théories musicales caractérisant les découvertes et les explorations du siècle dernier, l'affirmation et les avancements constants de la musique électronique, les possibilités fournies pour l'analyse et le traitement du son par les outils informatiques, l'import de modèles d'origine scientifique, l'évolution des techniques instrumentales ont fortement influencé le développement des langages musicaux actuels, impliquant une multiplication des différents paramètres à prendre en compte dans les différentes étapes de création. L'intégration de plusieurs types d'informations dans le travail compositionnel a évolué en même temps que le développement des technologies ; leurs impact sur la pensée musicale a mené à des résultats mêlant différentes pratiques et stratégies compositionnelles. Les questionnements multiples concernant des problèmes d'ordre formel, la génération et l'organisation du matériau et les conséquences sur les possibilités fournies par la mise en relation avec les moyens technologiques ont élargi la perspective d'action et la nécessité de développer des approches différenciées. Mon parcours créatif se situe et s'assume pleinement dans cette histoire esthétique et technique.

I.1 Prémices

Au fil des années de mes formations musicales en Italie (études et diplômes, entre autres, en piano, composition, direction de chœur et musique chorale, analyse et réduction au piano des partitions orchestrales) j'ai approché initialement la composition à travers l'analyse et l'approfondissement des formes classiques de différents styles et époques et des procédés d'écriture traditionnels tels que fugue et contrepoint, en travaillant l'écriture pour des ensembles divers et des contextes allant de la musique de chambre aux grandes formes symphoniques et lyriques. Certaines techniques compositionnelles comme le contrepoint ont marqué ma façon de penser l'écriture instrumentale par la possibilité offerte de composer et superposer différents éléments de matériau et différentes lignes musicales, selon des relations et

règles précises les reliant les uns aux autres. Mon style d'écriture s'est ainsi progressivement constitué autour d'une recherche vouée à créer des objets musicaux dotés d'un profil à la fois très articulé, irrégulier et changeant dans un cadre d'hétérophonie complexe avec des procédés de prolifération et de multiplication constituant un élément important du processus de densification de la texture sonore orchestrale (voir exemples figures 1 et 2, pour mon œuvre *Nel cielo appena arato* pour grand ensemble, 2010).

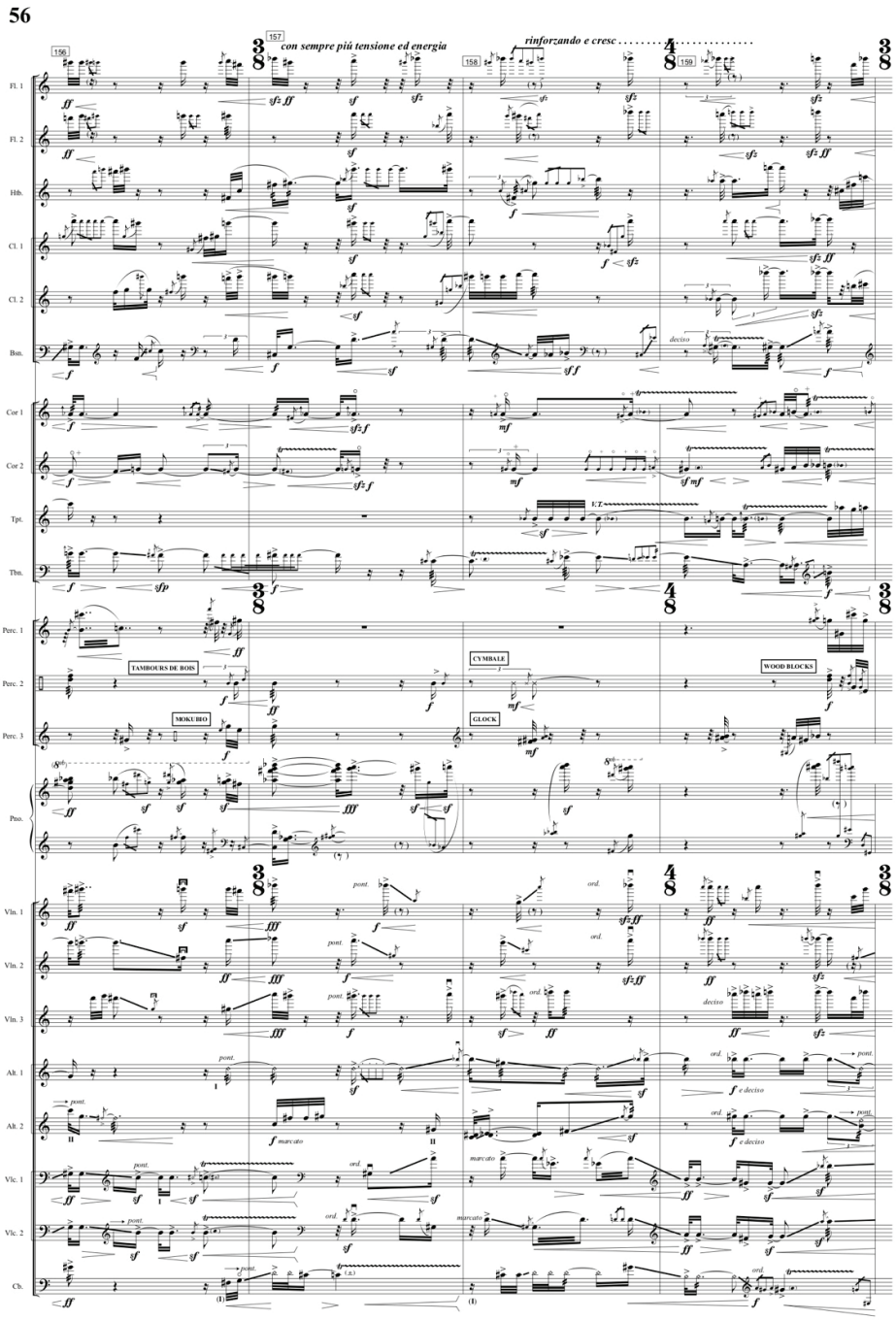



Fig. 1. Hétérophonie et fragmentation dans Nel cielo appena arato *pour grand ensemble.*

58

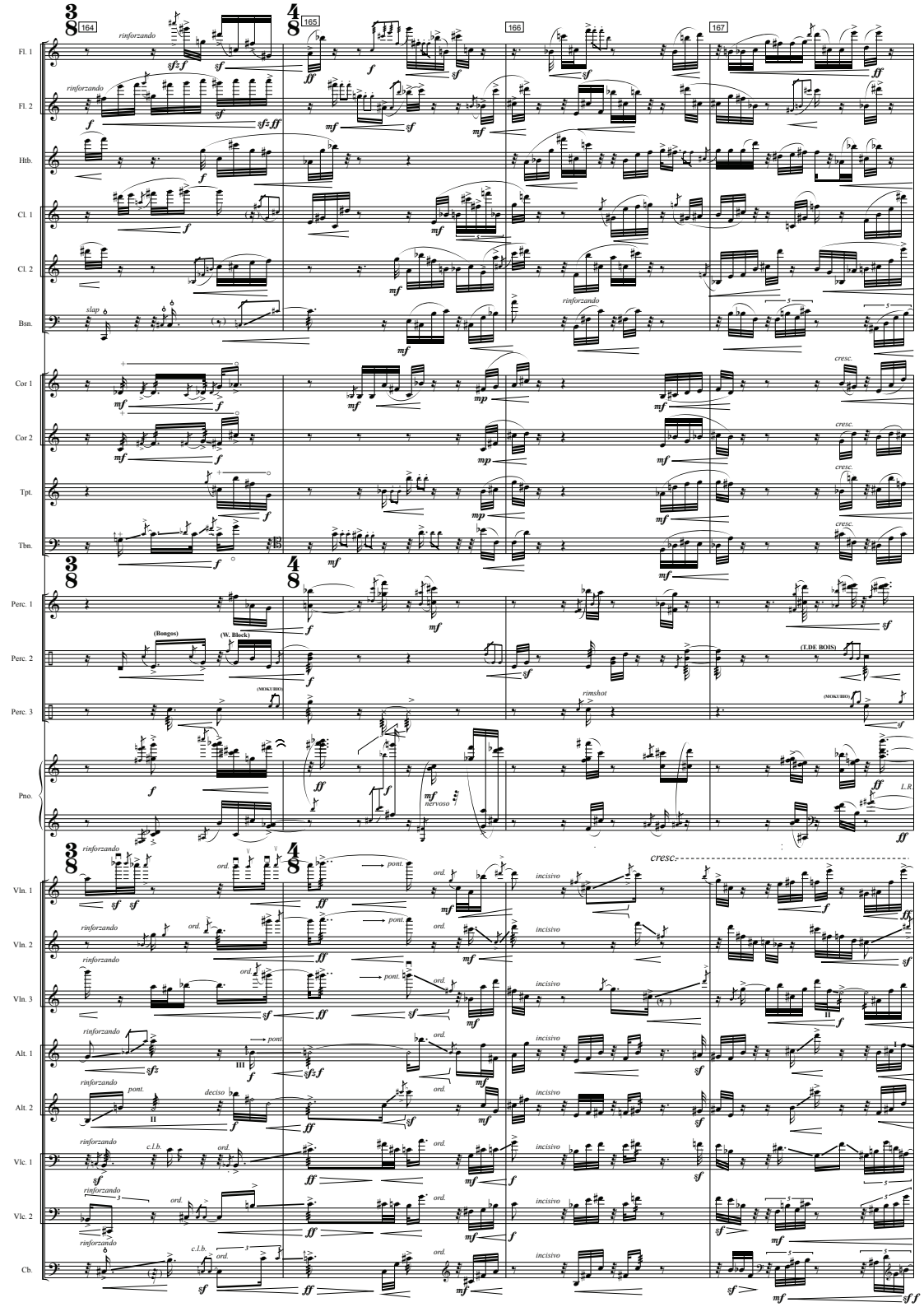



Fig. 2. Extrait montrant un moment de densification dans l'orchestration de Nel cielo appena arato *pour grand ensemble.*

Dans le développement du discours musical, à des moments caractérisés par une grande densité et tension sonore alternent, contrastantes, des situations de raréfaction au caractère suspendu et étiré, réalisées par superpositions de différentes typologies sonores, recouvrant des sons continus, oscillants, instables et intermittents, ou par des textures spectrales multiples soumises à des transformations (exemple fig. 3). Une recherche de solutions timbrales originales et d'agglomérations sonores spécifiques caractérise alors l'évolution formelle du discours musical, guidée par une accumulation progressive de l'énergie et une forte directionnalité du geste musical qui demeurent très fort dans la plupart des œuvres de ma production.

34

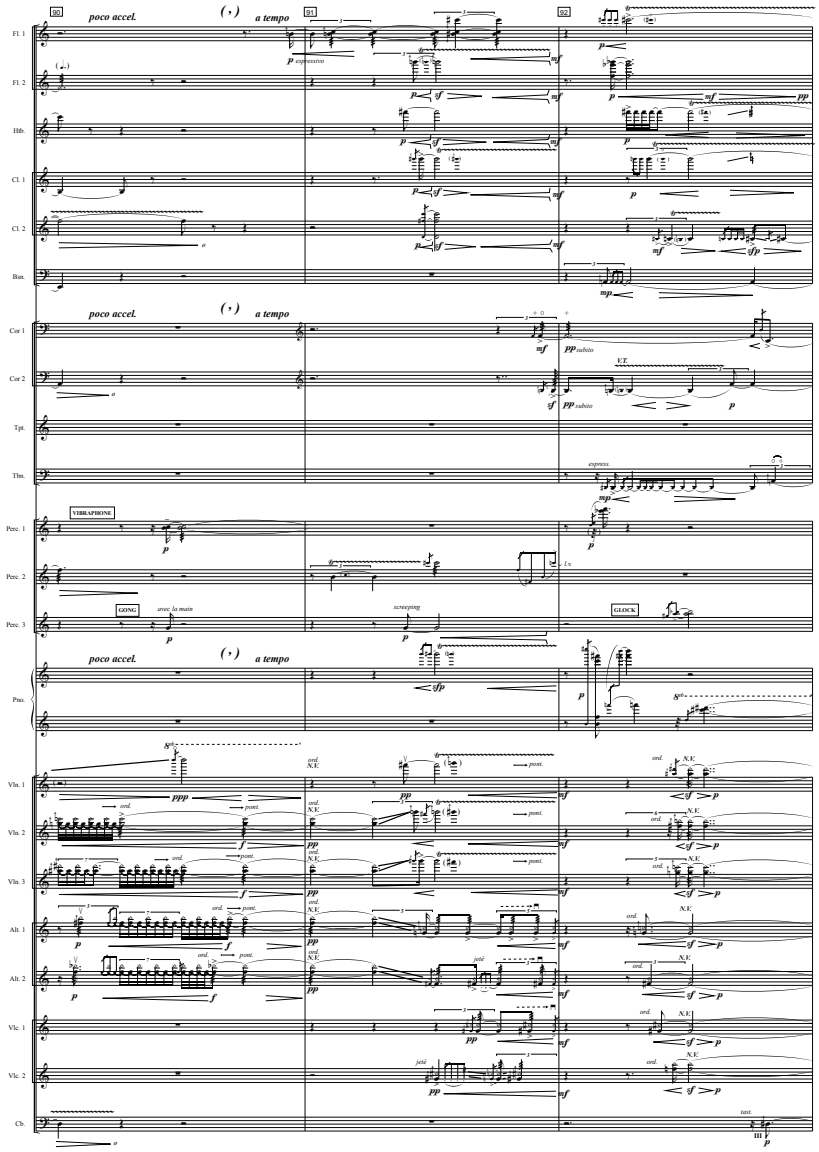
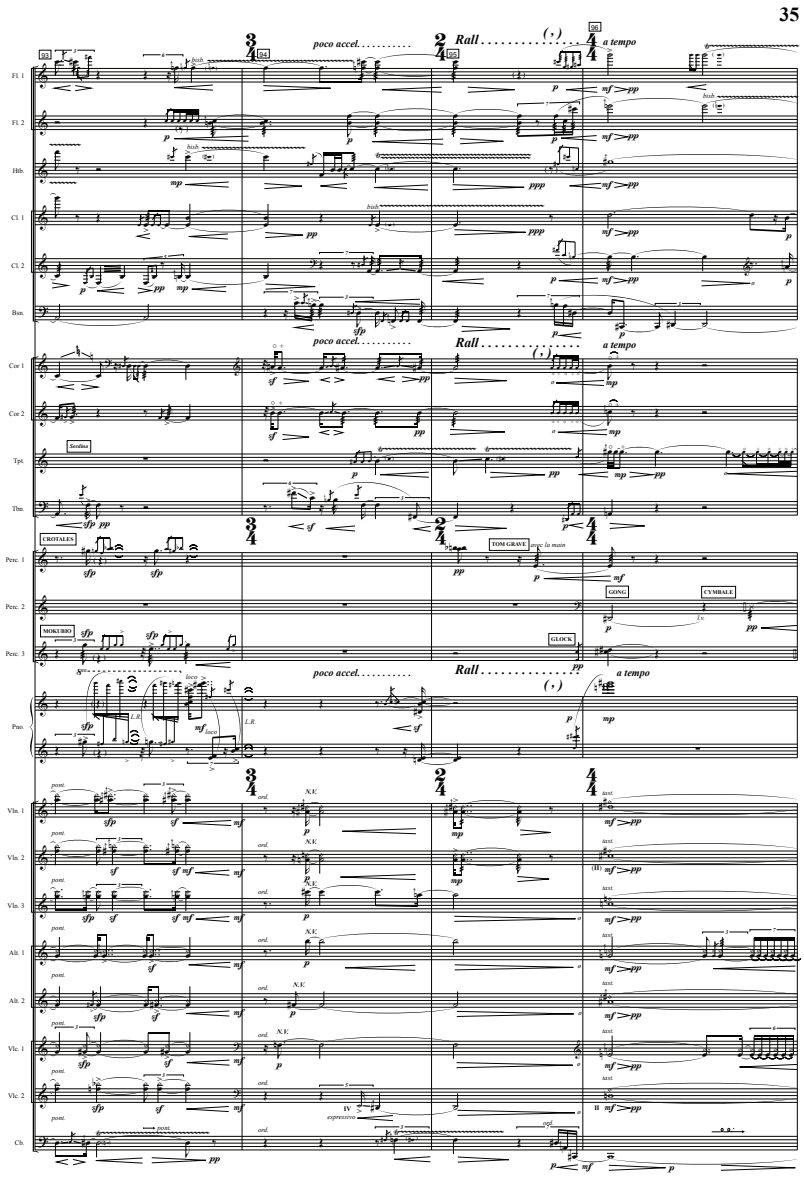



Fig. 3. Extrait d'une autre section de l'œuvre Nel cielo appena arato *pour grand ensemble : raréfaction p. 34 et transformations texturales p.35.*

À travers l'idée d'une polyphonie de couches sonores et de régimes temporels divers, appuyée sur un développement par accumulation et densification, les traitements et les évolutions possibles du matériau sonore employé dans les œuvres réalisées ont été interrogés dans le cadre de cette recherche, notamment dans leurs dimensions timbrales[1], technologiques et théoriques.

Un mot doit être dit en particulier concernant le timbre comme catégorie constituée de l'écriture. De nombreux auteurs ont caractérisé la pensée musicale et l'analyse des œuvres

[1] « On entend par timbre la qualité particulière du son qui permet d'identifier la source sonore » (Nattiez 2004).

musicales à partir de la deuxième moitié du XXème siècle comme relevant d'une nouvelle prise en compte du timbre comme catégorie compositionnelle. Selon des paradigmes généraux décrivant des catégories du son pouvant être résumées comme « timbre-objet », « timbre-spectre », ou son composé (Solomos 2013**)**, ces réflexions se sont tournées vers la possibilité d'intégrer ces notions dans un langage formalisé propre à servir de support à l'écriture.

L'exploration du timbre, la recherche sur les caractéristiques prégnantes du son et leurs description (utilisée comme paramètre de conception et de contrôle notamment pour l'écriture de l'électronique en temps réel), constitue un élément pivot de mes explorations dans la musique instrumentale comme dans la musique mixte. La prise en compte du timbre dans ses constituants principaux et ses possibilités d'évolution dans le temps joue ainsi un rôle important dans l'écriture des parties instrumentales ou d'autre nature (je pense par exemple, à l'écriture conjointe mise en place pour le projet audiovisuel *Octaédrite,* décrit plus loin dans la section sur les études d'œuvres) ainsi que dans les possibilités d'extension au niveau de la conception générale par l'imagination et l'élaboration d'entières sections de pièces. Cette approche a pu être étendue grâce à l'avancement des recherches technologiques dans cette direction. Les multiples liaisons entre le timbre et les paramètres physiques du son ont changé également ma façon d'imaginer le son, m'amenant à composer et intégrer des sonorités complexes et évolutives prenant en compte des micro-variables constitutives du timbre et des attributs tels que la brillance, la rugosité, l'énergie, l'inhamonicité, le bruit, etc.

I.2 L'apport de l'électronique

L'intégration des outils informatiques dans mon travail compositionnel pour les instruments acoustiques a permis d'élaborer de nouvelles réflexions, stimulant ma conception sonore et formelle de l'œuvre. Dans ma recherche, l'interrogation des relations entretenues entre l'écriture et le jeu instrumental et les différentes informations d'ordre musical et sonore ayant l'ordinateur comme source au cœur d'un dispositif hybride d'exécution ont caractérisé les différents projets présentés dans cette thèse. Mon parcours de recherche et de création depuis la conception des premières pièces mixtes avec ordinateur en 2003 a été strictement lié aux caractéristiques principales de mon univers esthétique, ébauché dans la section précédente et développé dans les parties suivantes, auxquelles se sont ajoutées continûment de nouvelles problématiques expérimentales liées à l'évolution permanente des outils technologiques.

Dans les différentes recherches et productions musicales réalisées tout au long du parcours doctoral les principales thématiques traitées trouvent ainsi leur fondement dans un ensemble de considérations théoriques et expérimentales autour de problématiques régulièrement informées

par la technologie, telles que :

- la dichotomie matériau et forme ;
- les relations structurelles entre micro et macro-temps ;
- l'exploration timbrale liée à l'élaboration dynamique du geste sonore ;
- l'interaction entre une conception du son travaillé à la fois selon ses paramètres physiques et son développement en morphologies dans une dynamique temporelle et formelle ;
- le concept d'espace et son investigation en relation avec l'écriture, prenant en compte des aspects cognitifs et liés à la perception.

I.3 Morphologies sonores

À partir de la distinction matière/forme[2] opérée par Pierre Schaeffer (Schaeffer 1977) — le premier selon Tissot à avoir utilisé la notion de morphologie[3] sonore, largement reprise par les compositeurs — de nombreuses réflexions d'ordre esthétique et technique ont vu le jour.

Si, par exemple, pour François Bayle le concept morphologique repose sur l'idée d' « image de son », dans une inspiration d'ordre visuel et pictural, dans d'autres explorations la forme sonore est pensée comme un archétype (où les différents éléments sont décrits par des données de durée, de phase, de hauteurs, de réitération et de déroulement temporel), pouvant être appliqué également aux divers styles et époques musicaux (Tissot 2010). C'est le cas des unités sémiotiques temporelles **(**Delalande, Formosa et Frémiot 1996**)** mises au point à partir de 1991 par le Laboratoire Musique et Informatique de Marseille (MIM) en collaboration avec le Groupe de Recherches Musicales (G.R.M.).

Chez Xenakis les représentations graphiques des formes, le tracé des schémas préparatoires sur papier millimétré, correspondent à une élaboration visuelle trouvant une équivalence sur le plan musical. Partageant ainsi la conception d'archétype, Xenakis perpétue la morphologie des formes et figures selon des modèles presque « universels », communs en tout cas à des domaines différents relevant e.g. des mathématiques, de la physique, des arts plastiques.

---

[2] Selon Pierre Schaeffer un son pourrait être comparé à une matière possédant une certaine forme, chacun des deux aspects pouvant éventuellement être modifiés par des moyens électroacoustiques (Tissot 2010).

[3] Par le système mis en place dans les années 1950 avec le technicien Francis Poullin (un « modulateur de forme », le *morphophone*), permettant des modifications morphologiques, il était possible d'obtenir un son continu à partir d'un son limité dans le temps, en superposant les différents délais et masquant la reprise de la boucle. Grâce à cette « matière » il a été possible faire un travail morphologique par des ajouts de contours d'intensité ou de hauteur, par exemple, selon l'idée sous-jacente de Schaeffer que c'est le contour limitant le silence d'un son qui lui donne sa « forme » (Tissot *ib.*).

Dans d'autres conceptions prenant la morphologie sonore comme l'évolution spectrale du son au cours du temps (Smalley 1986), la prise en compte de la perception permet d'aller au-delà de la simple description morphologique en exploitant plusieurs échelles de temps : le détail, par exemple, doit être confronté avec des durées et paramètres plus globaux et généraux fournissant une vision plus élargie sur la pièce.

Grâce à des moyens informatiques assez rapides et performants (produisant des sonagrammes précis en temps réel) il a été possible de rapprocher la morphologie sonore et la conception de la composition selon des formes et des spécifications graphiques ; des représentations repérant également la continuité et la discontinuité dans un flux sonore ont été réalisées de manière à ouvrir des éléments de réflexion sur ces aspects avec des répercussions également au niveau formel. Karlheinz Stockhausen traite dans sa *Momentform* (Stockhausen 1988) des composantes formelles indépendantes (des moments et des groupes de moments), mettant en place des passages de continuité/discontinuité entre ces dernières. Selon la corrélation sérielle hauteurs et durées, le principe de continuité est traité chez le compositeur par un « ordre supérieur », le temps sériel (Blondeau 2017).

Chez Boulez, les dichotomies morphologiques « processus-état » et « configuration-structure » s'apparentent à celles de « statique-analytique », « morphe-amorphe »[4], mais tout en impliquant ici une subordination à une unité supérieure, la « formule », concept autour duquel le tout est articulé (Blondeau *ib.*) Ainsi pour Boulez « la forme n'est plus pensée et vécue comme un geste, mais comme un ensemble conceptuel » (Feneyrou 2013), l'organisation syntaxique du langage repose sur « des déductions localisées et variables », « l'œuvre est organisée selon des critères de définition et de sélection - opérant selon un degré de fixité ou de changement - et des critères de combinaison et d'arrangement. » (Blondeau *ib.*).

Pierre Couprie partant de l'analyse des travaux de Schaeffer évoque le couple « objet/structure » comme central dans l'étude de la morphologie sonore (Couprie 2001). L'objet sonore est à la fois perçu comme un tout et comme la structure regroupant des éléments plus petits, ces structures pouvant à leur tour se regrouper avec d'autres pour former des ensembles plus vastes. Dans une étude sur Vaggione, Anne Sèdes relève de son côté que ce dernier pointe « la richesse morphologique de l'objet sonore numérique, discret, multiple, composé, ouvert à la structure du son, réservoir morphologique. » (Sèdes 2007).

Dans *Nel cielo appena arato*, j'ai ainsi joué, sur un plan alors purement instrumental, sur la coprésence d'éléments ressortant de différents niveaux de structure via l'expérimentation de

[4] Par rapport au concept de continuité/discontinuité Pierre Boulez (Boulez 1987) propose, autant pour la musique instrumentale qu'électroacoustique, une distinction entre temps strié (donnant une perception de discontinuité dans le flux sonore) et temps amorphe (dans lequel les transitions sont continues et sans perception d'éléments discrets).

systèmes renouvelés d'écriture, issus d'un travail d'analyse spectrale sur des modèles de résonances[5], tout en procédant à une élaboration constante de masses sonores composites articulées par un fin travail figural dans les lignes musicales (cf. fig. 4). À cet égard, la dialectique objet/structure, convertie en timbres/figures, masses/lignes, etc. est toujours présente à des degrés divers dans mon écriture.

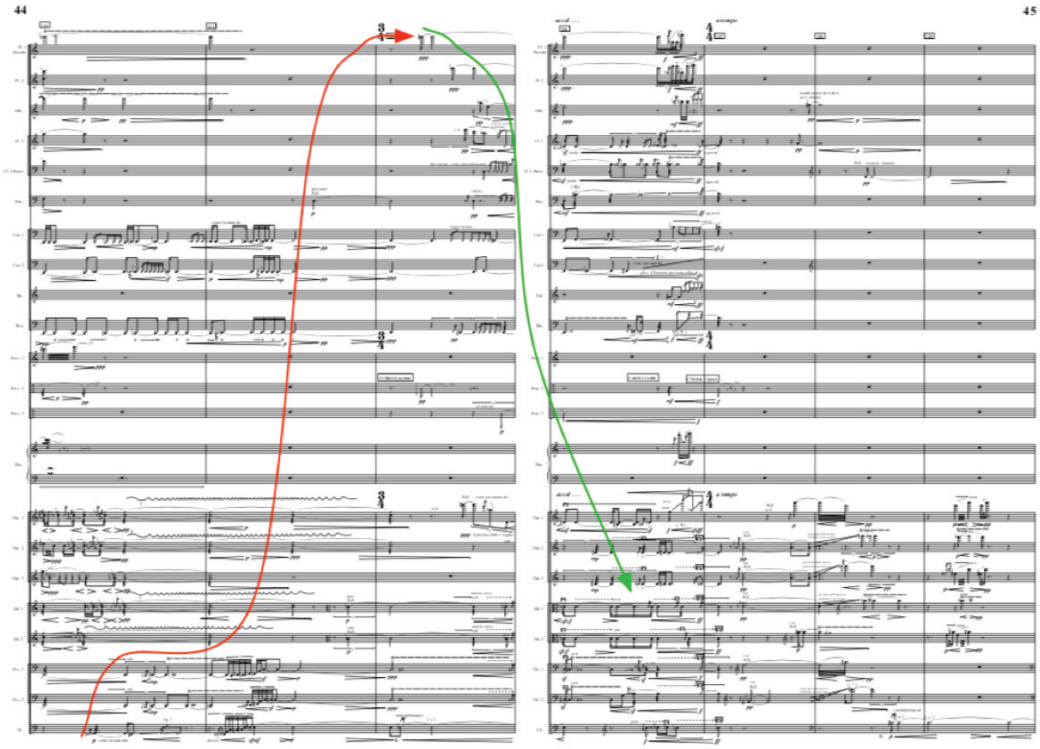



Fig. 4. Exemple de superposition ou croisement tuilés de spectres dans Nel cielo appeno arato *en relation aux différents processus et choix de filtrage, d'intensité et d'orchestration, selon des directions de registres contraires.*

Une dimension temporelle macroscopique et ralentie porte des structures plus dilatées dans le temps, articulées à d'autres structures caractérisées par une « pulvérisation » de gestes instrumentaux pulsants, détaillés à travers des accentuations et irrégularités mises en évidence par différents modes de jeu instrumentaux (voir exemple fig. 5). Ce mécanisme dialectique a été utilisé, comme le rappelle Laurent Pottier, par John Chowning dans sa pièce *Turenas*

[5] Technique de modélisation à partir de l'analyse de sons instrumentaux, principalement de son de type percussif, afin d'élaborer une bibliothèque de modèles de timbres (Potard, Baisnée et Barrière 1986). Ces modèles décrivent le comportement spectral des instruments (Barrière 1991) et peuvent être conçus comme une représentation de la résonance de l'instrument et utilisés pour contrôler des bancs de filtres. Dans des transformations ultérieures, ils peuvent aussi être combinés et concaténés pour former des hybrides ou des interpolations et devenir le support d' extrapolations aussi bien que de nouvelles abstractions de synthèse (McAdams et Deliège 1988).

(1972), jalon de l'histoire de la synthèse. Dans cette œuvre, Chowning constitue un espace musical par la tension entre les sons de synthèses, continus et lents, et les sons percussifs, rapides et mobiles, avec un jeu d'opposition et de transition des matériaux, des timbres, des rythmes et des dynamiques (Pottier 2009).

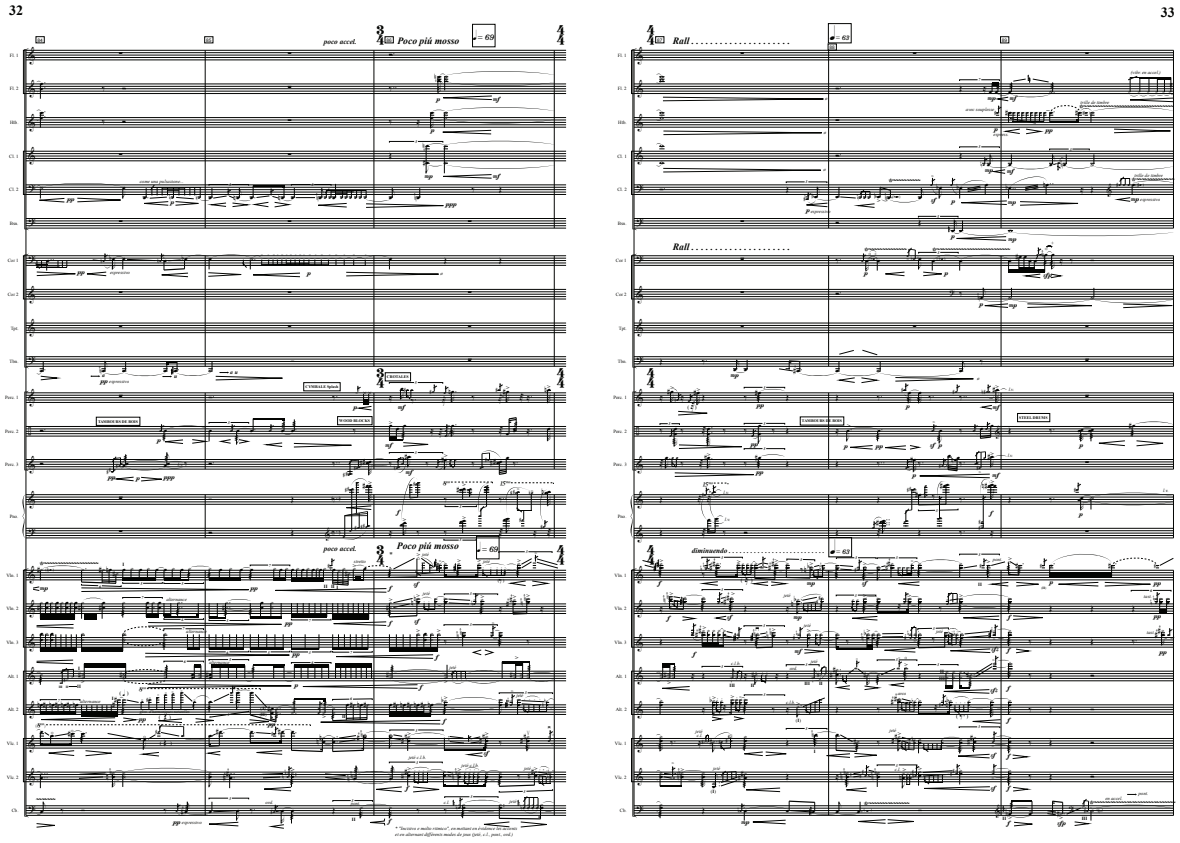



Fig. 5. Superpositions contrastées de durées, de timbre et d'articulations dans Nel cielo appena arato.

Dans mes œuvres mixtes j'ai voulu explorer une idée de déformation progressive des objets musicaux jouant principalement sur la nature des sonorités et les oppositions clair/distordu/ bruité, harmonique/inharmonique en exploitant toute la palette de l'orchestration, du rythme et des techniques instrumentales (voir les exemples fig. 6).

Les complexes ainsi formés, à travers des modifications progressives ou brusques, sont conçus pour révéler différents changements structuraux agissant à l'échelle de la forme musicale. L'écriture hybride relative à ce type de transformations (plus ou moins violentes et inattendues) est à la base notamment de l'articulation formelle interne de pièces comme *Estremo d'ombra* et de certaines sections d'*Octaédrite* et de *Taygeta II* (détaillées au chapitre V).

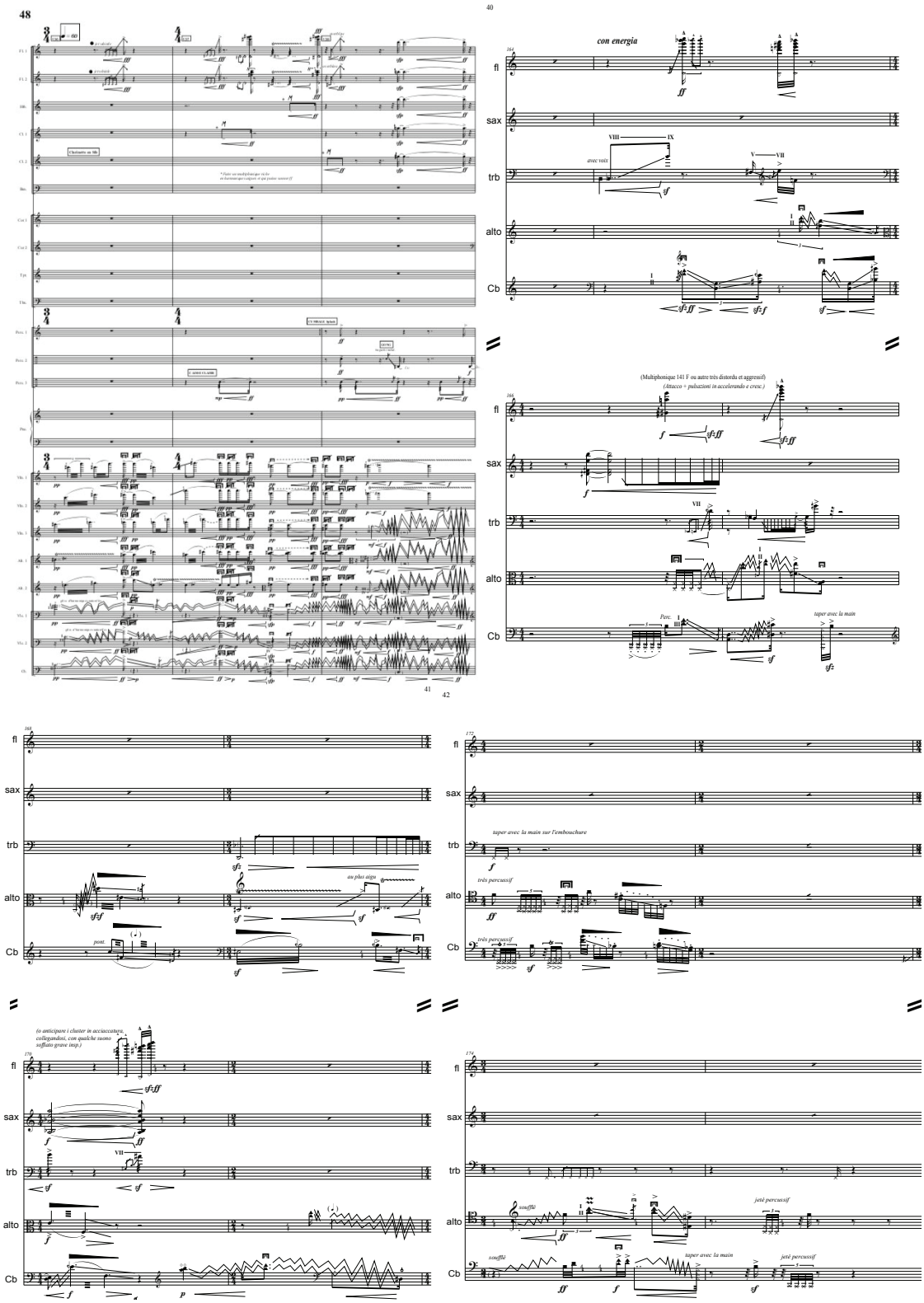



Fig. 6. Extraits de Nel cielo appena arato *(en haut à gauche) et* Estremo d'ombra *(reste des figures) avec notamment des exemples d'évolution vers une forte inharmonicité et une distorsion par différentes modalités de production sonore (pression de l'archet augmentant jusqu'à une sonorité 'très écrasée', multiphoniques des vents, sons complexes).*

La transformation des gestes musicaux, la densité des superpositions et le détournement d'un type de sonorités plus claires et transparentes vers un univers sonore complexe et bruité, s'appuient sur des procédés variés de transposition, filtrage, décalage des fréquences, délais, aussi bien dans l'instrumental que dans l'électronique, qui concourent à l'élaboration à la fois texturale et morphologique de l'œuvre.

« Les différents processus de mutation d'un son en un autre son ou d'un ensemble de sons en un autre ensemble constituent la base même de mon écriture musicale, l'idée première, le gène de toute composition. Le matériau découle du devenir sonore, de la macrostructure, et non l'inverse. Autrement dit, il n'y a pas de matériau de base (cellule mélodique, complexe de sons, durées, etc.), dont la forme constituerait une sorte de développement a posteriori. C'est le processus qui est premier, c'est lui qui gère la mutation des figures sonores et qui amène à en créer sans cesse de nouvelles. » (Grisey 1978).

I.4 Matériaux hétérogènes et rythme

Sur les développements conceptuels produits notamment par la mise en jeu d'éléments tels que la continuité et discontinuité ainsi que leur alternance dans le discours musical et dans la construction morphologique des sons, l'impact des avancements produits par les moyens électroniques et le rôle joué par les outils informatiques est significatif tant du point de vue d'une pensée sur la musique en tant qu'agencement des formes qu'au niveau de la conception même de l'œuvre et l'articulation de ses constituants majeurs.

Prenant en compte les problématiques évoquées par le rapport entre continuité et discontinuité du phénomène sonore, la question temporelle liée à la coexistence simultanée d'évènements discrets et continus caractérisant certains de mes travaux engendre des choix et stratégies ayant une incidence sur la génération et l'organisation globale de la composition (ainsi par exemple le choix et le paramétrage du dispositif informatique à utiliser). Ces choix impactent la vision esthétique générale aussi bien que la structuration micro et macro-formelle des œuvres.

On peut prendre en exemple l'exploration de l'aspect temporel sur différentes échelles à l'œuvre dans certains de mes pièces, articulées globalement à travers plusieurs plans superposés :

- ceux construits par la mise en relation entre des singularités de gestes et de figures locales avec l'élaboration d'une matière globale signifiée par différentes caractéristiques sonores, spatiales et temporelles ;

- ceux de l'alternance entre des évènements issus des traitements électroniques ou des sons électroacoustiques enregistrés dialoguant — ou en opposition — avec une écriture instrumentale acoustique relevant d'une typologie différente ;
- ou par l'articulation de processus compositionnels électroniques de type continu, automatique ou génératif et des gestes musicaux, timbraux ou d'autres natures relevant d'une logique et d'un déroulement temporel hétérogène.

Les rapports entre les divers éléments de ce type déterminent souvent le parcours formel et les choix des moments structurels des pièces, et peuvent même être à la base de la genèse de l'œuvre et du système informatique spécifiquement mis au point pour la réaliser, comme dans le cas des pièces *Estremo d'ombra*, *Philiris, Taygeta, Liphyra* (qui seront présentées plus loin dans la section sur les études d'œuvres).

Dans l'exploration des caractéristiques et matériaux différents voués à la construction d'une dimension temporelle générale conformée par plusieurs niveaux d'articulation et de déroulements, d'autres éléments et types de traitement contribuent à la construction d'une matière hétérogène et unitaire à la fois : des modifications morphologiques sont opérées sur des cellules sonores qui évoluent et s'amplifient par accumulation d'événements, ainsi que par des procédés génératifs et de filtrage (traitements conceptuellement dérivés de l'électronique), procurant des textures résiduelles différenciées. Des réinjections d'éléments musicaux se produisent alors dans un agencement orchestré des matériaux rythmiques et timbraux.

Par le biais des possibilités offertes par les outils informatiques intégrés dans mes compositions mixtes et utilisés dans certaines parties conçues comme une extension des matériaux sonores instrumentaux, ma réflexion s'est tournée notamment sur les traitements techniquement disponibles concernant l'écriture du temps, du son et de l'espace pour trouver une correspondance et une amplification encore plus saillante de ces éléments dans l'écriture de la partie électronique.

En relation aux méthodes de prolifération intrinsèquement liées à l'écriture des parties instrumentales, ma recherche sur l'interaction entre instrument et dispositif informatique a ainsi essayé de trouver une analogie par l'utilisation de traitements informatiques capables de multiplier les cellules rythmiques et le matériel sonore.

Grâce notamment à l'utilisation de procédés de synthèse granulaire[6] ou de synthèse concaténative[7], il a été possible produire des segments et fragments sonores tout en réalisant une matière rythmique et timbrale se superposant à la texture instrumentale et la démultipliant.

---

[6] Type de synthèse remontant aux théories de Dennis Gabor à la fin des années 1940 et aux expérimentations de Xenakis, implémentée à la fin des années 1970 par Curtis Road et Barry Truax (Roads 2001). En prenant en

La relation entre des nappes temporelles diverses, au profil irrégulier, aux rythmes différents et aux épaisseurs variables (avec des perspectives changeant ainsi la relation avec l'espace), génère des structures locales canalisées vers une évolution rythmique directionnelle, contribuant à la réalisation d'un climax au niveau des articulations rythmiques superposées dans un plan supérieur.

Des exemples d'intégration des traitements décrits se trouvent dans certaines parties de l'œuvre pour flûte et électronique *Embedding tangles,* ainsi que dans *Raggi di stringhe* et *Estremo d'ombra* et, quoiqu'avec des principes d'interaction différents, dans *Philiris, Taygeta* et *Liphyra,* œuvres qui seront analysées plus loin dans la section sur les études d'œuvres.

I.5 Une écriture multi-échelle

Grâce aux passerelles jetées par l'informatique entre des domaines comme matériau et structure, vocabulaire et grammaire, et à la manipulation de structures à un niveau temporel plus large, il est possible d'articuler diverses échelles de temps, en préservant une continuité entre synthèse sonore, traitements, génération et manipulation de structures musicales.

L'intérêt pour la recherche d'une matière sonore « à composer » ainsi que pour un type de son articulé par des oscillations internes et par un traitement rythmique comme celui de la granulation, a mené à l'exploration du concept de *grain* (ou fragment et paramètre infime du son) utilisé et étendu à des catégories et des échelles différentes, générant d'autres situations musicales. Dans l'élaboration, par exemple, de certains sons de synthèse granuleux il a été possible concevoir différentes parties des pièces où les éléments circulant et relevant de la micro et macro-structure[8] ont relié les aspects physiques du son à la macro-forme de la composition.

L'activité compositionnelle réalisée au niveau de la microstructure est conduite à préserver un travail figural, des singularités locales de gestes musicaux (exemple fig. 7) ; l'existence de discontinuités et non-linéarités à différents niveaux mène ainsi à la construction d'une syntaxe

---

compte la description corpusculaire du son, ce type de synthèse consiste en la juxtaposition, dans le domaine du micro-temps, des échantillons, des 'grains' de son, en agissant et intervenant sur leur densité globale et sur leurs variations morphologiques (Solomos 2013).

[7] Type de synthèse utilisant une base de données de sons enregistrés, segmentés et indexés par des descripteurs sonores, exploitée par un algorithme de sélection d'unités qui choisit les segments du corpus qui conviennent le mieux pour la séquence musicale que l'on souhaite synthétiser par concaténation.

[8] Nous trouvons le terme « microsound » et la distinction entre micro et macro-structure, ainsi qu'entre micro et macro-son, dans des textes de Xenakis dans leurs différentes versions (Xenakis 1960a, 1963, 1992). On trouve ainsi dans la citation contenue en italien dans *Universi del suono* (Di Scipio 2003): « La musica contiene forme di ogni sorta, a livello microscopico, a livello macroscopico, a livello del singolo campione digitale ».

musicale dans laquelle le sens global doit rester intelligible sans être effacé par l'articulation de la multiplicité.

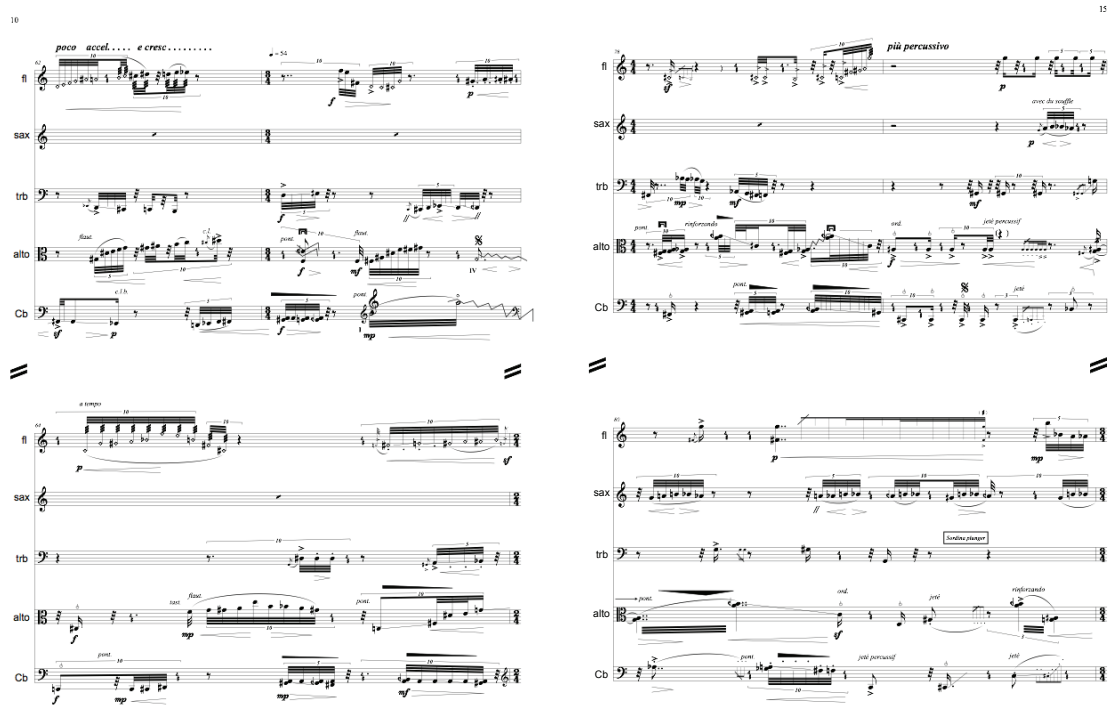



Fig. 7. Différents moments de singularité locale et superposition de gestes instrumentaux au début de l'œuvre Estremo d'ombra *pour cinq solistes et électronique.*

Dans une vision générale de mes pièces où domine un aspect dynamique et énergétique[9] de l'organisation des matériaux sonores et temporels (exemple fig. 8) ainsi qu'une exploration sur le son (par un traitement morphologique de variations et déformations possibles), le travail compositionnel a ainsi pu se développer à l'intérieur des œuvres comme passage entre dimensions, temporalités, plans sonores et perceptions spatiales très diverses.

Une des explorations qui ont représenté, par exemple, un intéressant champ d'action dans l'élaboration de certaines sections de mes œuvres a consisté dans la possibilité d'écrire différentes situations musicales (incluant des processus électroniques superposés tels que granulateurs ou *time-stretching*, ainsi que de la synthèse en temps réel) directement dans la partition électronique de la composition grâce au système interactif mis en place pour l'œuvre *Estremo d'ombra* que nous détaillerons plus loin.

[9] Penser la musique comme mouvement et énergie dérive d'une longue tradition. Déjà Platon avait formulé des pensées dans son *Timeo*, cité notamment par Xenakis dans *Musiques formelles*. Le concept d'énergie, très central dans l'esthétique de Xenakis (et marquant également des points de passage avec l'œuvre et la pensée de Varèse), est associé chez lui au paradigme granulaire dans une vision de la musique comme « un ensemble de transformations énergétiques » selon un carnet de 1958 cité par Makis Solomos (Solomos 2006).

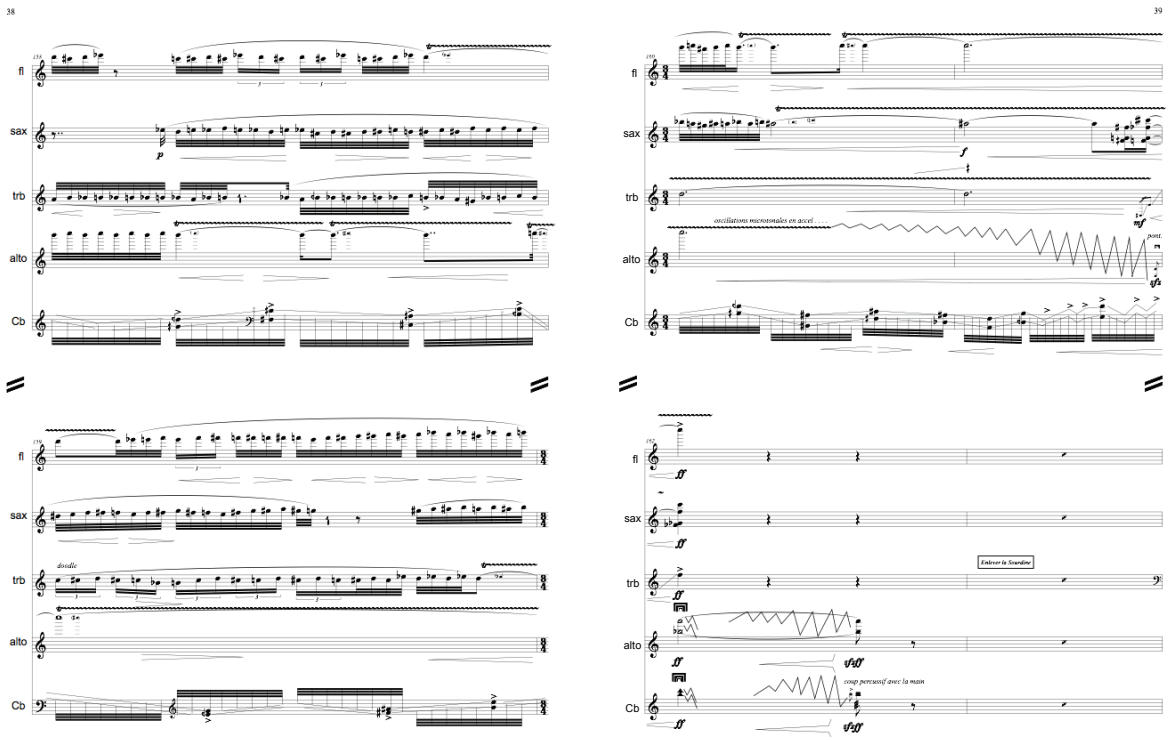


*Fig. 8. Moment représentatif du climax directionnel à la fin de la première section d'*Estremo d'ombra.

L'idée de pluralité et la possibilité de passer d'un niveau à l'autre de la structure sonore et musicale caractérisait déjà la pensée de compositeurs comme Xenakis et, dans la tradition du « paradigme granulaire »[10], de compositeurs des générations suivantes, comme Horacio Vaggione et Agostino Di Scipio[11]. Leurs réflexions théoriques ont été élaborées relativement aux nombreuses possibilités de mise en relation du matériau, forme, échelles temporelles, timbre, espace. Ces travaux m'ont permis de mener une réflexion personnelle sur ma pratique compositionnelle et les enjeux artistiques à la base de mes projets musicaux.

La nécessité de composer un « temps syntaxique » (Solomos 2007), qui doit articuler en une forme les temporalités plurielles « non contradictoires » est caractéristique de la démarche musicale et de la réflexion théorique de Horacio Vaggione, impliquant la mise en place d'une polyphonie de processus articulés sur une multiplicité d'échelles temporelles.

[10] En reprenant l'exemple de Vaggione, Solomos utilise cet expression dans plusieurs de ses articles, notamment son article « Xenakis e il " circolo granulare " » traduit en italien et édité par Firenze University Press (Solomos 2006**).**

[11] À partir des années '90 l'approche granulaire devient de plus en plus répandue et développé par d'autres compositeurs comme Ludger Brummer, Manuel Rocha, Ramon Gonzalez-Arroyo, Eduardo Miranda, Damian Keller, Mara Helmuth et par d'autres issus du milieu de la musique électronique **(**Solomos *ib.*).

« L'émergence d'une approche articulée autour du concept d'interaction généralisée (interne à l'œuvre) nous permet aujourd'hui d'envisager à la fois l'existence de passages possibles entre des dimensions disjointes du temps et la nature des non-linéarités qui découlent de leur interaction. Le problème, pour un compositeur intéressé dans l'extension d'une syntaxe à toutes les dimensions temporelles, c'est de trouver les moyens d'articuler cette complexité » (Vaggione 1995).

Si le dualisme entre local et global peut être redéfini par Vaggione[12] à travers la réalisation d'une « intrication » — une interaction — entre les différents niveaux à travers un contexte commun (les évènements *composables*), il est alors possible de trouver une telle interaction entre une action directe et un calcul algorithmique, en mettant en relation l'écriture avec des processus algorithmiques (l'action de l'écriture peut être intégrée dans un processus algorithmique ou un produit du calcul peut être transformé par l'écriture) (Solomos *ib.*). Il est ainsi loisible d'explorer des dimensions « parfois congruentes, parfois disjointes, souvent non linéaires » (Vaggione 1998a).

Entre les considérations diverses liées à la notion de pluralité, passages entre niveaux et temporalités multiples, la possibilité de prendre en compte la dynamique des systèmes complexes (grâce à des processus numériques itératifs) et le chaos[13], représente pour le compositeur Agostino Di Scipio[14] une manière de composer « des petites unités sonores de telle sorte qu'une sonorité d'ordre supérieur puisse se manifester d'elle-même durant le processus » (Di Scipio 2001). Dans son exploration de la synthèse granulaire avec des systèmes dynamiques[15] non linéaires (ayant « un comportement adaptatif » et en lui permettant d'exploiter divers types de textures, grains et comportements variés) Di Scipio assimile la macro-forme à un second niveau qui émergerait du niveau élémentaire (c'est le processus qui doit être composé, et non le résultat). « Penser le niveau supérieur (la forme) comme émergence du niveau élémentaire signifie que ce premier niveau n'est pas composé pour lui-même, et qu'il résulte du second » (Solomos 2005). Son idée d'une unification du matériau et forme, présentée

[12] En relation à l'utilisation des masses sonores chez Xenakis, Vaggione (retrouvant ainsi un aspect « local » dans le sérialisme au même titre que du « global » dans la composition de masses et de textures) marque la possibilité d'obtenir des états sonores très denses sans nécessairement faire appel à des lois globales, de type probabiliste ou autres (Solomos 2007).

[13] Les théories du chaos qui ont fasciné les musiciens vers le milieu des années 1980 introduisent une espèce de continuité entre les deux extrêmes du dualisme ordre/désordre.

[14] « Dans toute situation systémique, les propriétés émergentes semblent exiger plus un ordre chaotique vivant qu'un désordre statiquement organisé » (Di Scipio 2001).

[15] Un système dynamique est un système dont l'état présent dépend des états précédents et d'un certain nombre d'autres paramètres qui peuvent, ou non, aussi varier avec le temps (Tiberghien 2002).

comme « émergence »[16] est à la base de la « théorie de l'émergence sonologique », élaborée dans un de ses premiers articles — *Theory of sonological emergence* (Di Scipio 1994) —, où la proposition d'une conception de la forme décrite comme « formation du timbre »[17] ouvre une connexion intéressante entre ces deux constituants principaux du langage musical.

À partir des différentes observations, notamment sur des positions relevant la séparation dans la musique électroacoustique entre la musique algorithmique et la composition de timbre, Di Scipio décrit des phénomènes, proches des systèmes vivants, de *morphostase* (conservation de l'identité, donc cohérence) ou *morphogenèse* (changement et comportement dynamique), des processus, des pratiques de causalité circulaire (dans une idée de récursivité élargissant ainsi le concept de *feedback*), des interactions composées, la prise en compte d'un espace concret (et pas virtuel), qui est le lieu de la performance (imaginé soit comme excitateur soit comme caisse de résonance), ayant le pouvoir, avec ses qualités acoustiques, de se répercuter sur le timbre et le son de l'œuvre.

Nonobstant des différences musicales et esthétiques avec ses réalisations musicales, notamment sur la question de l'interaction, l'étude de la pensée de Di Scipio a représenté pour moi un stimulant point de vue, en même temps qu'un moyen de confrontation critique obligeant à m'interroger sur les nécessités profondes sous-jacentes à mon idée de la forme comme résultante de relations à plusieurs niveaux entre objets, processus et typologies différenciés.

L'idée que la macro-forme puisse avoir des caractéristiques corrélées à une volonté compositionnelle prenant en compte d'autres paramètres est ainsi rentrée dans les possibilités évaluées au cours de l'organisation de mon travail. Mais si l'hypothèse de Di Scipio selon laquelle la macro-forme, n'étant pas explicitement construite, devrait émerger des éléments mis en jeu par la micro-forme, mes questionnements se positionnent, eux, sur la nécessité du contrôle effectif sur la composition et la superposition des paramètres complexes mis en jeux à différents niveaux.

Il a donc été important pour moi de mettre au point un système général où les différents aspects de l'écriture pourraient être pris en compte et contrôlés en fonction de plusieurs relations et évènements musicaux simultanément. La nature de mes recherches repose ainsi sur l'exploration et l'investigation de dispositifs interactifs permettant de relier différents niveaux et paramètres du langage, de façon à pouvoir suivre et contrôler en temps réel les différents flux

---

[16] Cette notion présente chez les philosophes dès le 19ème siècle a été réinvestie par les sciences cognitives et celles des systèmes complexes à partir de la fin des années 1970. Elle porte sur l'idée que le tout est plus ou autre chose que la somme des parties. « Émergence. Évènement qui semble en discontinuité avec les évènements antérieurs et qui n'est pas expliqué par ses constituants » (Tiberghien 2002).

[17] Les propriétés qualitatives émergeant de la structure sonore produisent le résultat et sont perçues comme forme (Risset 2014).

d'évènements nécessaires au déroulement des actions instrumentales et électroniques du discours musical.

En ce qui concerne la conception et la réalisation du travail, au-delà de la grande attention et de la rigueur dans la composition des détails caractérisant mes pièces (au niveau d'écriture des cellules, rythmes, figures, sonorités et complexes timbraux) et du choix du matériau — contribuant non seulement à un premier niveau constitutif de l'organisation musicale mais aussi à l'évolution générale des gestes sonores —, la coprésence d'éléments structuraux prégnants comme l'articulation, l'hétérophonie, la densité, la directionnalité et la transformation de l'énergie, ainsi que la recherche des combinaisons sonores et timbrales particulières et évolutives, signe particulièrement la structuration interne et globale de mon discours musical.

L'équilibre à trouver et à expérimenter à plusieurs niveaux par le biais des différentes techniques, théories esthétiques, recherches et idées musicales, représente alors le véritable enjeu, qui se renouvèle à chaque genèse ou moment compositionnel ainsi que dans l'écoute et dans la réception par l'auditeur de l'œuvre au moment de la performance. Il touche au défi insaisissable de l'organisation inventive, à un état intangible et « mystérieux » de synthèse et discernement perceptif et cognitif, subjectif et personnel, dont on ne peut pas contrôler totalement la représentation et la signification à un niveau purement symbolique.

La variété d'images et d'impressions qui peuvent se produire est agencée par une intuition qui prends en compte une combinaison de paramètres et de notions, dans des successions variées, consécutives, juxtaposées, superposées, par un déroulement syntaxique conséquent (à l'aide des mécanismes et procédés de construction produits par la mémoire reliant la structure formelle sur différents plans) ou par divers niveaux de discontinuités comme il a déjà été dit.

Dans la mise en confrontation entre les diverses dialectiques vocabulaire-syntaxe, matériau-forme, local-global, continuité-discontinuité, discret et continu, la question de comment construire une syntaxe musicale faite de multiplicité de différents niveaux de discontinuités, de non-linéarité, de gestes portant de l'énergie, avec des relations et alternances produites, des liaisons entre échelles différentes, a accompagné mes réflexions sur la pratique compositionnelle depuis plusieurs années. Certaines réflexions, pour moi encore ouvertes, ont nécessité d'élargir les moyens techniques comme support de la pensée musico-théorique et de la conception des œuvres, rendant indispensable d'intégrer les outils informatiques les plus pointus dans mon environnement de travail et de création. Ma recherche s'est attachée également à un développement de la conception sonore en termes timbraux et d'exploration de solutions hybrides originales, mises en jeu dans un contexte généralisé d'interaction entre musiciens et dispositifs numériques, point de départ pour entrelacer des ponts et réflexions

communs avec d'autres disciplines et applications artistiques, dans la perspective d'explorer des langages multidisciplinaires et de nouveaux territoires de recherche partagée.

II Musique mixte et interaction musicien-machine

« La musique qui doit vivre et vibrer a besoin de nouveaux moyens d'expression, et la science seule peut lui infuser une sève adolescente. [...] Je rêve les instruments obéissant à la pensée - et qui, avec l'apport d'une floraison de timbres insoupçonnés, se prêtent aux combinaisons qu'il me plaira de leur imposer et se plient à l'exigence de mon rythme intérieur. » (Varèse 1917)

La signification de la locution « musique mixte », faisant référence au mélange entre sons issus d'une source instrumentale acoustique et d'autres produits par des moyens électroniques et informatiques et diffusés par des transducteurs électroacoustiques, a évolué, depuis son premier emploi dans les années '70, en différentes sous-catégories techniques et esthétiques, telles celles de l'hybride ou de l'ambigüité (Tiffon 2013).

Aujourd'hui le questionnement sur ce que la musique mixte engage comme problématiques est encore à la base des réflexions de nombreux compositeurs, musicologues et chercheurs intéressés à la création musicale contemporaine. Multiples sont les questions issues du rapprochement entre ces univers qui différent substantiellement : quelles en sont les implications dans la démarche esthétique et compositionnelle d'un créateur ? Quelles sont les problématiques musicales et technologiques qui en dérivent dans la réalisation d'une œuvre et la mise au point du dispositif informatique utilisé ? La coprésence de ces deux médias mène à différentes perspectives et solutions artistiques. Plusieurs associations et rapports dialectiques peuvent avoir lieu dans la combinaison produite entre une partie jouée en direct et une source sonore programmée au préalable, avec la possibilité d'imaginer, par exemple, la création d'un « autre » invisible qui interagit et interfère avec la présence sur scène de l'interprète ainsi que différentes possibilités de dialogue, fusion ou opposition, contraste ou symbiose dans cette confrontation entre réel et virtuel.

Quelles sont les modalités d'écriture suggérées par le matériau sonore utilisé dans la musique mixte ? Quels types de possibilités de transformation du matériel et quelle incidence peuvent-ils avoir sur la composition et le déroulement de la structure de l'œuvre ? La façon dont le compositeur procède pour favoriser l'association des différents éléments et paramètres, comme l'écriture du temps et du timbre, avec ses possibilités d'élaboration et traitement, influence l'écriture musicale et sa conception. La possibilité de concevoir le son et d'accéder à sa microstructure, de créer des procédés de synthèse et resynthèse sonore, de générer de parties électroacoustiques à partir du champ instrumental pose ainsi la question de la recherche de nouveaux modes de représentation, d'exécution et de contrôle. Les exigences de l'écriture instrumentale et de la notation graphique se confrontent alors avec ceux de la représentation

symbolique et de l'élaboration de la partition électronique, soulignant, en outre, la nécessité d'une intégration d'outils de synchronisation capables de permettre une correspondance efficace entre plusieurs types de flux, d'événements et de traitements électroniques *live*, ainsi que leurs déclenchement au moment prévu. C'est alors que les deux médias (instrumental et électroacoustique) se retrouvent réunis dans un espace commun, celui de la performance scénique, et qu'une véritable fusion entre des temporalités et des spatialités différentes devient possible grâce aux progrès de l'informatique et notamment des langages synchrones dont nous reparlerons.

II.1 Repères historiques

Dans les musiques mixtes, genre musical qui peut se définir comme la rencontre entre la musique instrumentale et l'électroacoustique (Tiffon *ib.*), « l'interprétation d'une pièce donne lieu à l'association du jeu du musicien avec des processus musicaux électroniques » (Echeveste 2015). Ce type de catégorie musicale a évolué en même temps que les révolutions technologiques du XXème siècle : en partant de la musique enregistrée sur bande magnétique et l'association sur scène de sons instrumentaux et/ou vocaux avec des sons électroniques préenregistrés (fixes, obligeant donc l'interprète à s'adapter au temps du support) et diffusés par des haut-parleurs, nous avons assisté successivement à l'intégration d'instruments électroniques analogiques, jusqu'à arriver, avec l'introduction du numérique, aux diverses possibilités de transformation sonore et traitement en temps réel pilotées par des algorithmes.

Imaginary Landscapes n° 1 (1939) de John Cage peut être considérée comme la première œuvre musicale où un média électronique fut utilisé en addition aux instruments, jouant sur la confrontation entre le temps réel des instruments et le temps différé du support enregistré réactualisé par un opérateur (jouant un phonographe contrôlé en vitesse). En 1953, Pierre Henry et Pierre Schaeffer du Groupe de Recherche de Musique Concrète (GRMC) montent une des premières œuvres mixtes. Il s'agit d'un opéra de musique concrète *Orphée 53* pour bande, voix, violon et clavecin. Bruno Maderna compose en 1951 *Musica su due dimensioni* pour flûte, percussions et bande, en collaboration avec Meyer-Eppler de l'Université de Bonn pour la réalisation de la partie électronique. Le compositeur propose un discours de « musique de chambre » entre un instrument et une bande magnétique, ouvrant la voie à l'étude d'un rapport dialectique entre les deux médias (Griffiths 1981). Les premières structures typiques de l'œuvre mixte ont été énoncées pour la plupart par Karlheinz Stockhausen dans *Kontakte* (1959-1960) pour piano, percussions et bande, ainsi que dans *Mixtur* (1964) pour orchestre, générateur d'ondes sinusoïdales et modulateur en anneau. Pour la première fois (si l'on excepte

l'expérience inaugurale et élémentaire de Cage), des transformations sonores de l'électronique sont réalisées pendant la performance en coordination avec l'orchestre. Dans la grande majorité les pièces mixtes composés durant cette période étaient conçues pour un ou plusieurs instruments et une bande magnétique.

Même avec l'émergence dans les années '80 d'ordinateurs puissants et le remplacement des bandes par des fichiers numériques, la difficulté pour l'interprète restait la fixité du support avec lequel se synchroniser. Cependant grâce au développement des langages de programmation pour la musique et à l'amélioration des techniques de synthèse et de traitement du signal, donc la possibilité d'une électronique « vivante », il a été possible de tracer de nouvelles perspectives pour la création musicale, tout en permettant l'émergence de divers courants de pensée. Les recherches développées à l'Ircam (Institut de recherche et coordination acoustique/musique) se sont orientées vers l'utilisation des traitements sonores en temps réel intégrés dans le processus compositionnel et la performance. Différentes œuvres de compositeurs tels que Pierre Boulez et Philippe Manoury ont été composées dans cette démarche, tout en ponant l'accent sur une nouvelle modalité de pensée du temps-réel en relation à l'écriture et au rôle de l'interprète. L'exploration menée par Philippe Manoury, par exemple, s'étend ainsi à un renouvellement de la notion de partition — qu'il appelle la « partition virtuelle » (Manoury 1990) — touchant à la conception de programmes électroniques déterminés en temps réel en fonction d'un environnement musical[18] et ayant pour objectif l'intégration, dans le même contexte d'écriture, des aspects produits au moment de la représentation avec ceux liés à la programmation électronique préalablement établie.

Différentes expérimentations sur la musique électronique en temps réel ont été développées également dans les studios de Fribourg ou du STEIM ou encore à travers des explorations menées dans la musique Rock et le Jazz. Par le biais de nombreuses études sur les différentes possibilités fournies par les systèmes informatiques et grâce aux différentes approches des compositeurs, de nouveaux types d'interactions ont constamment été testées entre les machines et les musiciens. À travers des processus d'analyse et de synthèse musicale de plus en plus complexes, il est possible aujourd'hui produire une interaction avec des résultats associant de multiples flux et échelles temporelles : l'action de l'interprète sur le vif, l'apprentissage, l'anticipation et la génération des structures sonores en temps réel, la synchronisation générale des processus musicaux complexes et hybrides, le contrôle simultané des différents médias. À travers les développements ultérieurs et l'utilisation d'interfaces de jeu, de captation de geste et

[18] Pour Manoury le résultat d'un processus électronique est conditionné au cours de la performance en fonction de l'interprétation instrumentale.

de mouvement utilisées dans la création contemporaine, l'élaboration d'une réalité « augmentée » multimédia (instruments augmentés, danseur et performer augmentés, etc.) est devenue possible, créant ainsi de nouvelles opportunités artistiques et technologiques dans les arts de la scène.

Ainsi, les aspirations suscitées par les nouvelles découvertes produites par la révolution électrique ont influencé la production instrumentale de compositeurs majeurs tels que Varèse, Ligeti, Penderecki, Xenakis, Stockhausen, tout en bouleversant les champs d'action et les perspectives de développement futur. Au fil des années, l'évolution des moyens technologiques et des langages informatiques permettant la transformation sonore, la prolifération de processus, le contrôle des développements sonores et musicaux et des traitements, deviennent de plus en plus des outils conceptuels intégrés dans la pensée des compositeurs des générations suivantes. Les outils de programmation commencent à permettre des représentations qui prennent en compte les différentes fonctions de l'écriture, touchant ainsi à la notion de structure (micro et macro-formelle) et amplifiant la possibilité de formaliser l'acte compositionnel selon toutes ses dimensions symboliques et sonores.

II.2 La confrontation de sources opposées

La confrontation entre des modes de production sonore différente (ceux dérivants des sources acoustiques et ceux obtenus par des moyens électroniques) a soulevé nombreux problèmes d'ordre acoustique et psychoacoustique, et touche ainsi, outre les champs liés à l'écriture et la notation, ceux de la perception et de l'interprétation. Les différentes contraintes produites par la confrontation entre deux univers potentiellement divergents ont alors poussé les compositeurs à mettre en place et intégrer dans l'écriture des solutions de spécification et de contrôle inédits, avec des répercussions influençant l'esthétique générale et la conception de l'œuvre.

L'intégration d'instruments traditionnels, ayant une forte connotation historique et culturelle dans un environnement d'informatique musicale médiatisée par des haut-parleurs (avec tous les contrastes possibles qui peuvent se manifester au niveau du timbre, de l'intensité, de la continuité, des régimes temporels et spatiaux) marque une première différence substantielle dans la condition d'écoute, permettant de donner à entendre des sonorités inouïes qu'il serait impossible d'obtenir à travers les techniques instrumentales habituelles.

L'utilisation d'un dispositif de diffusion permet également, grâce à des systèmes de spatialisation élaborés, de contrôler et moduler dynamiquement les déplacements du son dans la salle ou de le localiser sur des positions spécifiques, contrairement au rayonnement relativement stable d'un instrument classique. Mais c'est au niveau temporel que les différences

deviennent les plus évidentes. Dans une pièce mixte, en effet, les parties instrumentales et électroacoustiques possèdent chacune une temporalité propre : l'une se réalise en direct et est soumise à l'interprétation de l'artiste, l'autre à une exécution algorithmique, qu'il s'agisse de sons enregistrés et déclenchés en temps réel, ou bien de processus et traitements électroniques programmés pour être déployés simultanément à la partie instrumentale. Différentes approches esthétiques et technologiques ont été mis en œuvre afin de résoudre de façon cohérente la coexistence de ces deux parties (à la nature parfois opposée) ainsi que le problème dérivant du fait que le déroulement global de l'œuvre est, en tous cas, liée à une seule temporalité, celle de l'exécution (Buffet 2006). Dès les premières œuvres mixtes, les problèmes soulevés par l'association du temps fixe du son enregistré avec la souplesse du jeu instrumental a été un point de réflexion qui a intéressé la communauté des utilisateurs de nouvelles technologies appliquées à la composition musicale. Le besoin d'une synchronisation précise des événements issus de la programmation et prévus pour l'exécution de l'électronique a été souvent confronté à la nécessité de devoir adapter le temps musical et de l'interprétation humaine à celui de la bande magnétique, avec la conséquence d'un résultat souvent figé sur le temps chronométrique préétabli, ne prenant pas en compte les possibles moments d'expressivité interprétative ou d'autres situations imprévues pouvant s'inviter au moment de la performance.

Les chercheurs, les compositeurs et les réalisateurs en informatiques musicale qui développent les outils de travail nécessaires pour la réalisation des œuvres mixtes ont dû successivement mettre au point des stratégies à travers l'écriture, la notation, les choix du dispositif le mieux adapté et la programmation technologique, afin de rendre l'ensemble des éléments plus homogènes et expressifs par rapport à l'action de l'interprète et sa réception auprès du public, renonçant, parfois, à la précision nécessaire à l'exécution de la pièce mixte produite.

Plusieurs approches esthétiques et compositionnels ont ainsi émergés tout au long du développement des compositions mixtes depuis l'émergence du genre, donnant vie à une série d'œuvres musicales qui sont, du point de vue instrumental et technologique, très hétérogènes.

Plusieurs questions animent désormais la réflexion autour des mises en jeu possibles, notamment :

- la mise en relation entre les situations musicales et les événements sonores qu'on veut produire ainsi que les divers rôles assumés par l'électronique, avec ses possibilités de représentations hors temps ou de réalisation en temps réel et les procédés de synchronisation nécessaires au déroulement de l'exécution ;
- les différentes modalités de production de la synthèse, les caractéristiques psycho-acoustiques et leurs influences sur la production sonore ;

- les transformations possibles dans le traitement du timbre ;
- la génération de processus et d'autres fonctionnalités ;
- l'utilisation des commandes gestuelles pour le contrôle direct dans la production du son instrumental et électroacoustique.

II.3 Des solutions compositionnelles

Dans l'une des premières œuvres mixtes réalisées par Edgar Varèse en 1954, *Déserts*, les interpolations de sons concrets avec des parties d'orchestre ne se confrontent pas simultanément (des passages pour bande seule se succèdent à des passages pour instruments seuls), contournant ainsi les problèmes résidant dans la nature conflictuelle de ces sources et assumant complètement l'hétérogénéité séquentielle qui en dérive. Dans d'autres compositions (comme, par exemple, *Bhakti* de Jonathan Harvey, œuvre pour orchestre de chambre et bande quatre pistes de 1982) l'hétérogénéité des sources ne tourne pas au conflit permanent : des parties de cette œuvre restent purement instrumentales et des passages très courts sont réalisés avec la bande magnétique. Selon certaines positions esthétiques exemplifiées ici, une telle diversité des sources doit faire droit à l'hétérogène, donnant lieu à des parties très contrastées. C'est une inspiration possible pour la conception d'œuvres mixtes et les choix des processus d'écriture.

Dans différentes productions musicales mixtes on peut ainsi retrouver le développement d'une esthétique du contraste ou du dialogue, dans une dynamique où l'œuvre procède par une confrontation dialectique entre différents éléments et matériaux. Mon œuvre *Raggi di stringhe*, pour violon et électronique (commande de l'Ircam-Centre Pompidou créée par Hae-Sun Kang au Centre Pompidou et rejouée en décembre 2018 à la Philarmonie de Paris) qui sera analysée au chapitre V, représente un exemple de recherche dialectique reprenant la dichotomie entre différents types de sources (instrumentale et synthétique) pour l'élaboration du matériel électronique de la composition.

Des formes d'imitation réciproque ou d'interpolation et des procédés d'hybridation ont constitué d'autres voies explorées, au même titre que la recherche d'une fusion et une complémentarité entre les différentes modalités de production des sons.

Comme pour l'œuvre *Dialogue de l'ombre double* de Pierre Boulez (1986) pour clarinette et bande magnétique (utilisant des sons enregistrés du même instrument, une approche qualifiée d'« esthétique du double »), plusieurs réalisations ont été mises en œuvre tout en concevant le dispositif électronique comme un prolongement des instruments acoustiques plutôt que de le considérer comme un moyen supplémentaire différent qui se superpose à l'exécution

instrumentale. Mon œuvre *Embedding tangles* (2014), pour flûte et électronique[19], relève de cette dernière modalité d'interaction. Dans le déroulement de la pièce le prolongement du son instrumental est produit et multiplié par le dispositif électronique jusqu'à une prolifération des matériaux sonores suggérant la présence d'une source instrumentale similaire, conçue dans une confrontation dialectique et évolutive (fig. 9).

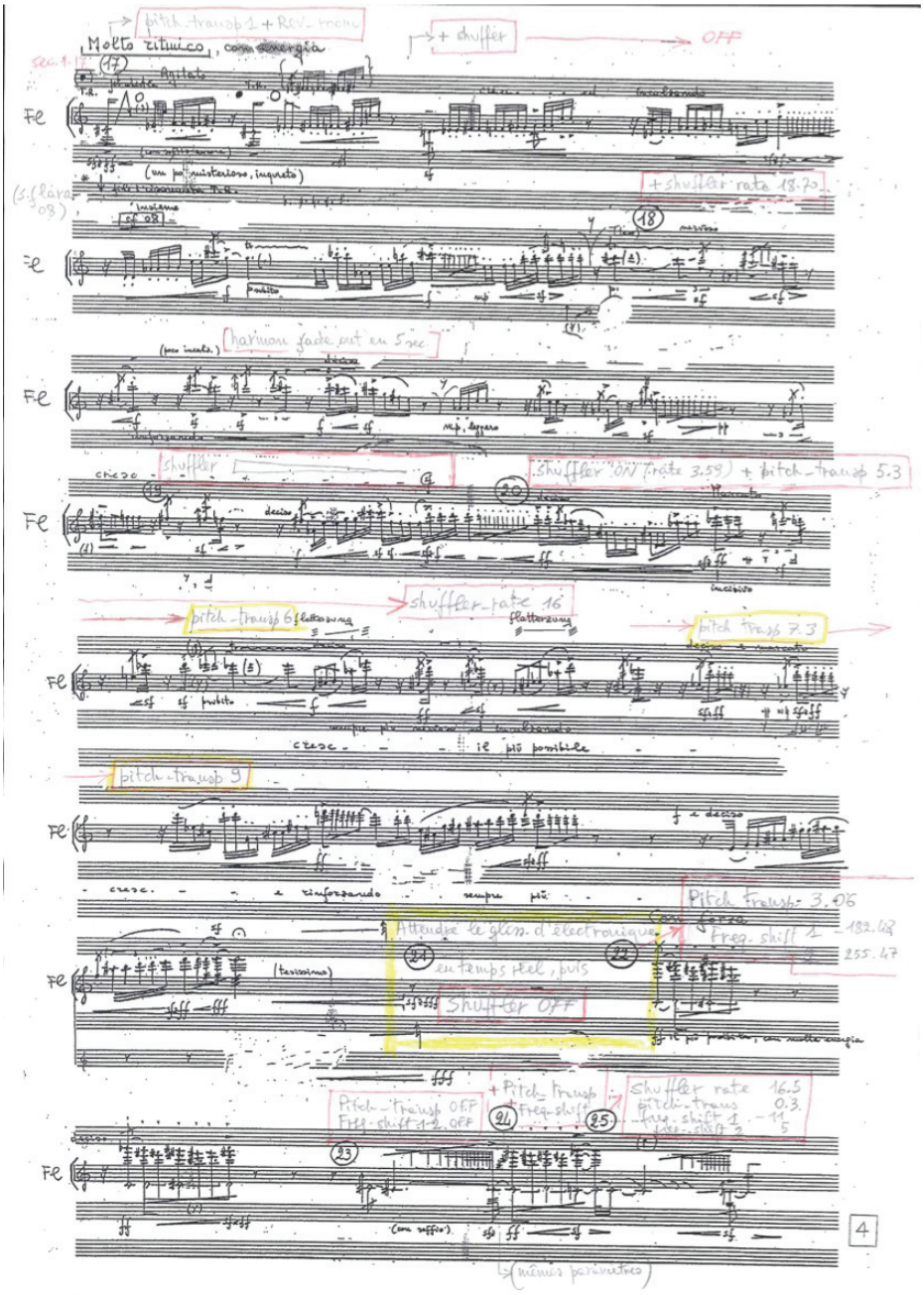


Fig. 9. Fragments de l'œuvre Embedding tangles *utilisant des sons instrumentaux percussifs, soufflés, bruités avec embouchure couverte multipliées par des processus de prolifération électroniques (indiquées par des numéros d'événements pour le patch informatique) et des figurations rythmiques. Partition de travail de la compositrice.*

[19] Cette œuvre ne fait pas partie de celles détaillées au chapitre V.

Si dans diverses œuvres utilisant les outils informatiques l'hétérogénéité des deux types de sources sonores a été évitée en favorisant le traitement redondant de la source instrumentale, pour les acousmaticiens, comme, par exemple, François Bayle, cette orientation n'était pas concevable pour des raisons de pureté esthétique et de contrôlabilité de la production sonore. Pour d'autres compositeurs la désignation des outils de réalisation électronique à mettre en place s'est faite en fonction de contraintes technologiques de reproductibilité. Jean-Claude Risset, par exemple, qui parle d'une « rencontre de troisième type »[20], a choisi d'écrire ses œuvres mixtes avec un dispositif pour bande magnétique, car il considérait les système temps-réel comme trop assujettis à des technologies numériques qui évoluent très rapidement. L'utilisation des échantillonneurs a représenté aussi un possible rapprochement de l'électroacoustique avec le monde instrumental. Selon d'autres démarches compositionnelles, les parties instrumentales ont été écrites elles-mêmes avec une approche relevant du domaine de l'électroacoustique, en réalisant dans la partition traditionnelle des effets de mixage, de montage ou de filtrage.

Dans la production électroacoustique mixte des années 1970 de François Bernard Mâche l'utilisations de modèles sonores bruts (notamment des modèles naturels, comme des chants et des cris d'animaux, des bruits des éléments et des enregistrements de langues rares ou disparues) s'associent aux instruments acoustiques par une superposition avec des sons bruts enregistrés permettant à l'écriture instrumentale d'imiter, de compléter, habiller et prolonger l'enregistrement (Mâche 1983).

Gérard Grisey, d'une autre manière, prolonge l'idée de « synthèse instrumentale » dans ses œuvres mixtes ; selon la pensée du courant spectral il s'agit d'intégrer toutes les catégories du son, en insistant sur leurs qualités et sans dissociation entre timbre et harmonie.

Philippe Manoury, lui évoque des grammaires musicales génératives (Manoury 2012), utilisées principalement pour trouver une cohérence dans l'ordre temporel d'enchaînement des événements musicaux. À partir d'éléments morphologiques qui vont servir de critères « thématiques » (les *invariants formels*) il s'agit de faire émerger une cohérence dans la continuité du discours musical. Faisant appel à des processus comme les chaînes de Markov, il s'intéresse à générer des structures comportant une part d'aléatoire, un matériau infini, un flot ininterrompu qui sera guidé dans les différentes directions possibles grâce au jeu des probabilités. Ces systèmes génératifs permettent alors de créer une familiarité entre l'écriture instrumentale et électronique et de resserrer leur cohérence temporelle.

[20] Selon ce terme, Risset indique l'association des sources acoustiques et électroacoustiques en interaction produisant un nouveau monde.

« Ce que produisent les matrices de Markov n'est ni plus ni moins qu'une partition virtuelle qui se crée en temps réel et se régénère d'elle-même. » (Manoury 2015).

Entre les positions esthétiques et les approches techniques décrites, ma recherche personnelle concernant la mise en relation entre instruments et électronique porte sur des thématiques artistiques qui sont récurrentes dans ma production musicale. Elles trouvent leur fondement dans certaines caractéristiques et centres d'intérêt de mon univers compositionnel, déjà explorés dans plusieurs de mes œuvres précédentes et qui dans le contexte de cette thèse s'associent plus particulièrement aux possibilités de mise en relation avec les moyens électroniques. Nous les résumons ici :

- le développement d'un jeu instrumental virtuose et d'une écriture soliste toujours très articulée au niveau rythmique, avec une recherche sur l'articulation, la pulsation et le geste instrumental ;
- une recherche sur le timbre, avec un travail portant sur les traitements originaux du matériau timbral et instrumental-orchestral, à l'aide des outils informatiques ;
- l'interaction entre l'interprète et l'ordinateur, l'écriture instrumentale et les traitements électroniques temps-réel, la synchronisation et le contrôle instrumental dans la production directe du son électroacoustique ;
- l'interaction avec l'espace, avec une recherche sur différents types de spatialisation dépendant de multiples paramètres musicaux et types d'événements, ou une mise en relation avec d'autres applications artistiques, comme notamment la vidéo ;
- la recherche de relations avec la dramaturgie théâtrale et/ou du théâtre musical ;
- l'interaction avec d'autres formes artistiques, la conception de spectacles vivants et de projets interdisciplinaires et collaboratifs.

Le recours au moyens technologiques dans la composition mixte pose un cadre particulier autant au niveau de l'imaginaire que dans la réalisation concrète de l'œuvre. En relation aux éléments clefs de ma pensée musicale, le travail de cette thèse s'est développé autour des différents outils relatifs à l'écriture du son, des processus et des traitements électroniques, des temporalités et articulations rythmiques, des mouvements et trajectoires spatiales, des éléments communs aux langages de nature artistique autres que la musique, des mises en dialogue et confrontation multidisciplinaire autour de l'univers sonore.

Mon approche initiale à l'intégration de l'électronique dans mon environnement de travail s'est fortement concentrée sur la possibilité de créer un dispositif en temps réel mettant en relation les actions électroniques programmées et exécutées par la machine avec la partition musicale (ou d'autres médias) jouée par l'interprète. Les différentes expériences conduites ont mené à la

mise en place d'un scénario interactif qui a trouvé progressivement tout son déploiement à travers les diverses productions réalisées pendant la thèse jusqu'à arriver à prendre la forme d'une partition « augmentée » (notamment dans les dernières œuvres produites pour ce cycle doctoral), définissant dans son contenu les divers paramètres musicaux, spatiaux, visuels nécessaires au déroulement de la composition dans toutes ses dimensions.

III Les stratégies de l'écriture

Une des questions cruciales à la base de ma réflexion artistique mettant en dialogue l'humain avec la machine a reposé sur le souhait de réaliser une œuvre conçue de façon unitaire et cohérente par rapport à l'écriture et aux matériaux utilisés ainsi qu'à la conception et réalisation d'une partie électronique prenant en compte l'expressivité et la liberté interprétative et les différentes problématiques liées au développement temporel de l'action musicale au moment de la performance et à la synchronisation entre interprète et machine. À travers une articulation dialectique entre les différents paramètres mises en jeu, dans certaines de mes réalisations mixtes il y a eu une coexistence et une mise en valeur assez forte de ces deux identités sonores distinctes, dans l'objectif artistique final de pouvoir réaliser une œuvre mixte pensée comme « unique », dans laquelle l'intégration des moyens hétérogènes puisse mener à une forme d'unité résidant en quelque sorte dans l'hétérogénéité même des matériaux utilisés.

Ce résultat est devenu possible, par exemple, dans la pièce *Raggi di stringhe,* grâce à l'intervention opérée par les différents traitements électroniques programmés en temps réel, à travers lesquels les choix d'élaboration et de transformation timbrales et sonores ont été utilisés pour créer une liaison entre la partie instrumentale et les autres matériaux notamment par des techniques de prolifération du matériau rythmique combinées à l'utilisation d'échantillons préenregistrés contenant des matériaux similaires au jeu instrumental en direct (exemple fig. 10).

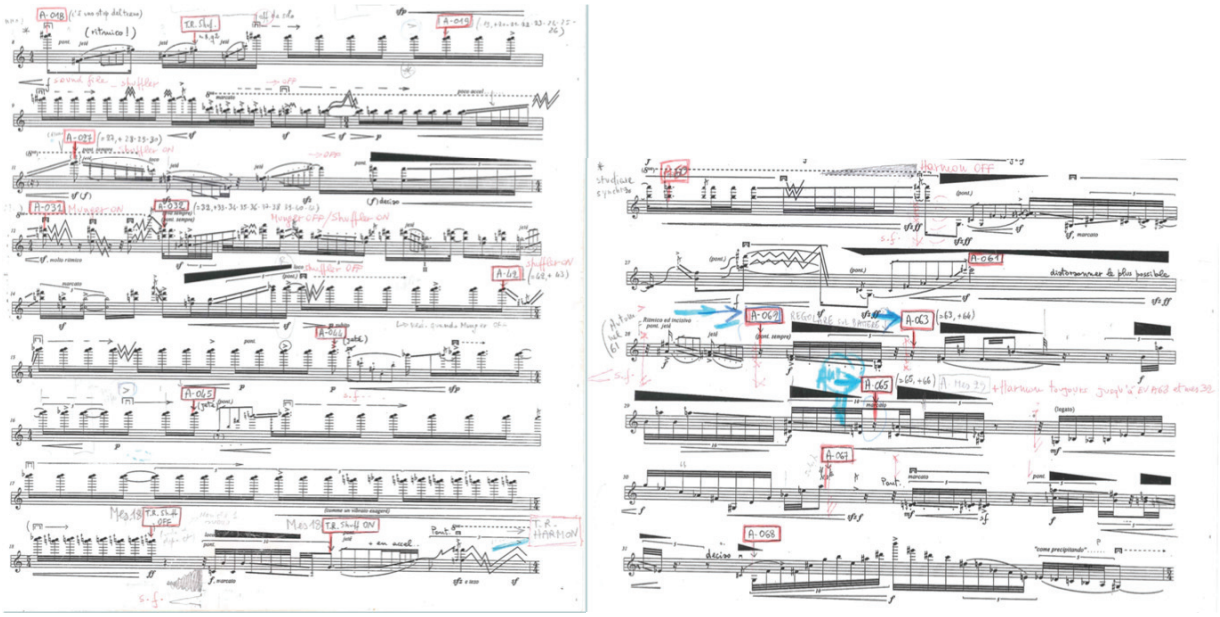


Fig. 10. Extraits du début de Raggi di stringhe *: les sonorités du violon sont reprises par l'écriture électronique en temps réel et différé.*

Si la recherche d'une « unité » entre les différentes composantes et paramètres musicaux et extra-musicaux a été depuis longtemps un des enjeux majeurs dans l'œuvre de compositeurs comme Stockhausen[21] et Xenakis[22], dans la confrontation avec les moyens électroniques les problématiques soulevées par les choix artistiques et esthétiques, l'organisation des différents types de matériaux et la mise au point du dispositif informatique le mieux adapté à la réalisation artistique souhaitée deviennent des questions qu'il s'agit de traiter spécifiquement dans la conception et le développement de l'œuvre.

En ce qui concerne l'hétérogénéité des deux mondes sonores différents, les modalités d'écriture et le rôle de l'instrument confronté à l'univers informatique mènent à des questions nouvelles. Plusieurs de ces interrogations relèvent notamment du choix de la technologie la plus appropriée pour faire coexister les matériaux et les discours, de la question de savoir s'il y a prédominance ou concurrence d'une source sur une autre, et de celle de savoir si c'est le dispositif qui conditionne voire inspire l'écriture et le déroulement de l'œuvre par ses contraintes ou bien si l'idée musicale de départ s'impose au contraire et force la sélection et le contrôle des techniques.

III.1 Une émulation réciproque, écriture du son

Le concept d'*écriture* musicale implique différentes stratégies de composition, notation, interprétation et réalisation des idées musicales. Dans sa mise en relation avec la technologie et les créations musicales mixtes, la nécessité parallèle d'une écriture spécifique de l'électronique émerge fortement. Si dans les langages informatique le terme *écriture* est courant, la possibilité plus problématique de parler d'une « écriture » de l'électronique — la musique électroacoustique « classique » ne se situe pas généralement dans un cadre historique d'« écriture » au sens de notation symbolique à priori — est devenue de plus en plus discutée au cours des dernières années.

Pouvoir créer et manipuler, écrire au sens de programmer, la logique et les paramètres gouvernant le déploiement des matériaux, des séquences, des fonctions et des processus dans

[21] Dans l'idéal d'organisation unitaire et totale à tous les niveaux de Stockhausen, par exemple, on trouve le propos du compositeur de « faire régner une loi universelle sur tous les domaines temporels. » (Stockhausen 1963).

[22] Dans Xenakis**,** l'un des premiers compositeurs à utiliser l'ordinateur comme outil d'aide à la composition, une approche globale du phénomène sonore (notamment par une articulation des dimensions traditionnelles comme la hauteur, le rythme et l'intensité) mène à penser la forme comme un tout composé par différentes sections connectées et la texture musicale comme une intégration totale des sons qui la composent (d'où l'importance de la notion de masse à laquelle il s'intéresse particulièrement plutôt qu'à l'individualité des mouvements de sons). Le calcul probabiliste, à la base de la « musique stochastique », et les modèles mathématiques sont utilisés pour générer un matériau (par l'association de coordonnées géométriques à des paramètres musicaux) ainsi que pour gérer l'évolution du discours, dans l'idée que, au moment où la machine est employée, il sera possible produire une œuvre entière après avoir introduit les données initiales.

une partition électronique, tout en permettant leur contrôle en temps réel, est devenu aujourd'hui possible avec les logiciels adéquats. C'est le cas de la plupart des œuvres réalisées dans le cadre de ma production doctorale nécessitant des langages de programmation adaptés aux finalités artistiques en jeu, notamment le langage Antescofo de l'Ircam (Cont 2008) pour la programmation synchrone des flux musicaux, outre l'ensemble des outils disponibles — et aujourd'hui courants dans le studio — pour le traitement, la diffusion, la spatialisation et la synthèse.

Entreprenant l'aventure du rapprochement de formes de composition dite « classique », de la technique instrumentale traditionnelle et contemporaine, avec la technologie numérique, l'idée prédominante a été d'explorer d'abord le spectre des possibles allant de la fusion totale à la différenciation (avec les différents degrés d'alternance, contraste, juxtaposition, superposition, etc.) entre les sons instrumentaux et sons électroniques. Les possibilités offertes par les outils informatiques m'ont poussé à m'interroger sur la nature des sons à composer et produire ainsi que sur les modalités d'écriture pouvant restituer adéquatement les nécessités musicales de ma pensée.

Je me suis notamment attachée à rechercher des sons inhabituels et des formes hybrides singulières. En associant certaines dimensions et modalités de production du timbre instrumental et les sons plus ou moins artificiels issus de la synthèse, j'ai tenté un rapprochement situé au niveau de l'écriture du détail des constituants du langage, que ce soit sur le plan du déroulement temporel et rythmique, des évolutions timbrales ou de celles de la forme spatiale. Il s'agissait de déterminer les possibilités d'écriture des éléments et des paramètres dans la perspective de traiter, multiplier, juxtaposer, transformer les choses et recréer enfin, par le biais de moyens technologiques assez variés, cet univers sonore de fusion et d'hybridation.

L'écriture compositionnelle de certains travaux (réalisés au début de ce parcours doctoral) prend aussi en compte l'imitation réciproque des sons naturels et électroacoustiques ainsi que l'émergence d'autres sonorités inédites naissant de l'hybridation entre les deux.

Plusieurs de ces démarches sont parties des explorations réalisées dans *Embedding tangles*, pièce dans laquelle des procédés de mélange (à travers différentes types d'imitation et hybridation) ont été mis en œuvre par de l'échantillonnage ou de la synthèse numérique, pour susciter également des effets instrumentaux particuliers, comme ceux s'exécutant ainsi dans une durée plus longue et avec des micro-variatons (trémolos, trilles, vibrato, etc.). Dans certaines sections de cette pièce en particulier, l'électronique réalise des sonorités similaires à celles de l'instrument, obtenues par analyse et resynthèse spectrale, conjointement à d'autres

types de traitement électronique en temps réel. Ces derniers ont pour fonction de multiplier et d'enrichir certaines textures harmoniques et/ou bruitées en augmentant le champ polyphonique de l'instrument. L'utilisation, par exemple, de la synthèse par modulation de fréquence mise en rapport avec quelques partiels du spectre de sons instrumentaux multiphoniques a pu produire des résultats intéressants menant à la création de couleurs sonores instables et suggestives (fig. 11).

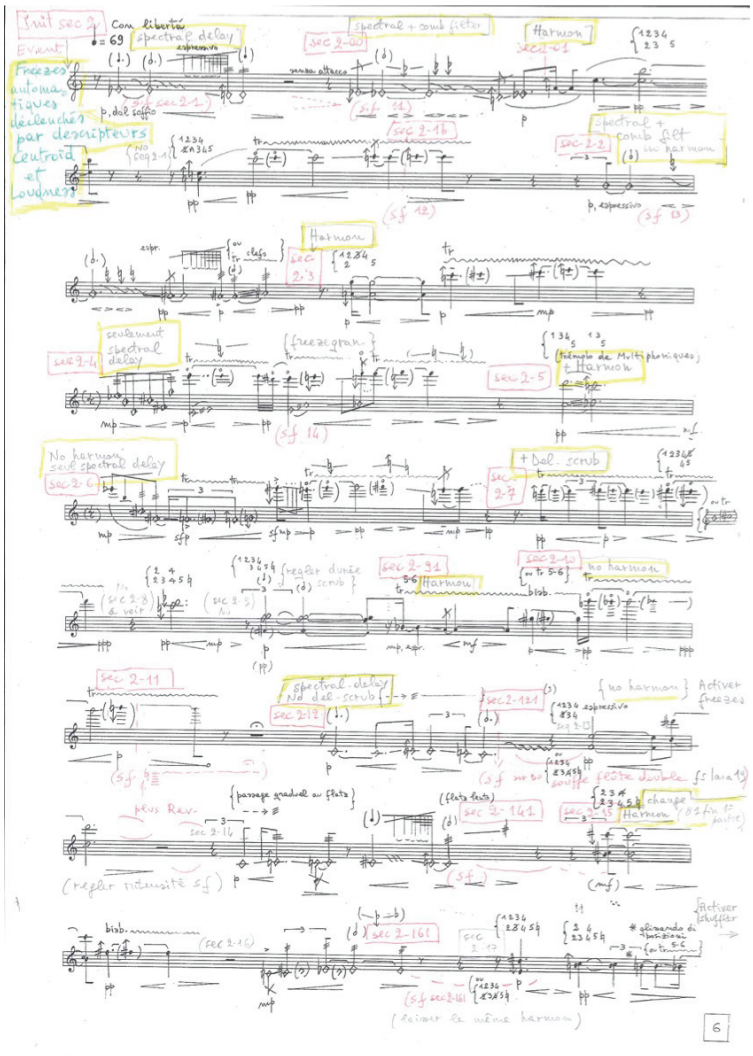



Fig. 11. Section de Embedding tangles *pour flute et électronique : l'aspect polyphonique de l'instrument est mis en évidence par les traitements électroniques (harmonizers, freezes, etc.) révélant le dialogue double dans le discours musical.*

L'intégration des outils informatiques m'a donné la possibilité d'imaginer de nouvelles modalités d'écriture et de réalisation du son, acoustique et électroacoustique, ainsi que de nouveaux concepts de transition progressive de timbre et d'orchestration porteurs d'idées compositionnelles intéressantes et stimulantes explorées à travers ces travaux doctoraux.

La recherche sur les diverses dimensions timbrales a accompagné et renforcé le processus d'écriture du son en ce qui concerne l'alternance de sonorités raréfiées et suspendues avec

d'autres éléments porteurs d'énergie et force. Dans l'évolution de mes pièces successives j'ai cherché à rapprocher le timbre instrumental (en l'éloignant de sa sonorité traditionnelle) des sons électroniques 'abstraits' ou au caractère très bruiteux et agressifs : ce type d'homogénéisation accompli dans l'autre sens, plus difficile selon nous, a rendu nécessaire une exploration du son instrumental selon de nouvelles dimensions liées au bruit ou à l'ambigüité spectrale. Cette recherche instrumentale a débouché sur un type d'écriture très explicite avec pour conséquence un travail sur le détail de la notation de sorte à pouvoir exprimer toute la complexité rythmique, énergétique, registrale, dynamique de ces gestes très incisifs. La recherche sur cet aspect compositionnel m'a permis de penser et d'intégrer une écriture de modes de jeu et de sonorités singulières à mettre en relation avec leurs contreparties électroniques, qui a entraîné des évolutions au niveau de la notation symbolique des partitions, et une réflexion pour rendre cette dernière plus efficaces dans le codage et l'intelligibilité.

Ces déplacements du son instrumental sont présents par exemple dans l'œuvre *Estremo d'ombra*, dans lesquelles les instruments désintègrent toute l'énergie cumulée vers la fin de la première grande section de la pièce, avant de se dissoudre et disparaître dans des petits gestes sonores conduisant à la transformation de la couleur générale, qui signe alors le début de la deuxième partie. D'autres exemples de traitements de ce type sont relevables à partir de la mesure 290 correspondant au « solo » de la contrebasse (fig. 12) ; ainsi, dans différents sections des œuvres *Philiris* et *Liphyra* et des pièces *Taygeta* et *Taygeta II* présentées plus loin dans les études d'œuvres.

Réciproquement, par le biais d'une écriture de l'électronique conçue de façon la plus possible intégrée aux gestes instrumentaux, j'ai voulu expérimenter la possibilité de réaliser un procédé de synthèse en temps réel afin d'accompagner des éléments d'écriture analogues dans le mouvement instrumental. En partant, par exemple, du souhait d'éviter, au début de la première partie de *Estremo d'ombra*, des sons de synthèse trop figés et polarisés dans le même ambitus fréquentiel, mon exploration s'est tournée vers la possibilité de souligner et suivre, avec plus de détails, l'écriture instrumentale en programmant des *glissandos* descendant en temps réel qui changent progressivement la hauteur des sons de la synthèse principale, tout en poursuivant la dynamique directionnelle générale. Cet effet accompagne d'un point de vue temporel et timbral les gestes musicaux de la contrebasse ou du trombone, ajoutant un halo qui se mêle à la couleur grave et mystérieuse proposée par les registres graves des instruments acoustiques (fig. 13). L'interaction en temps réel établie entre le moyen technologique et la partie instrumentale est possible par une synthèse réalisée dans le logiciel SuperCollider, qui sera décrit plus loin.

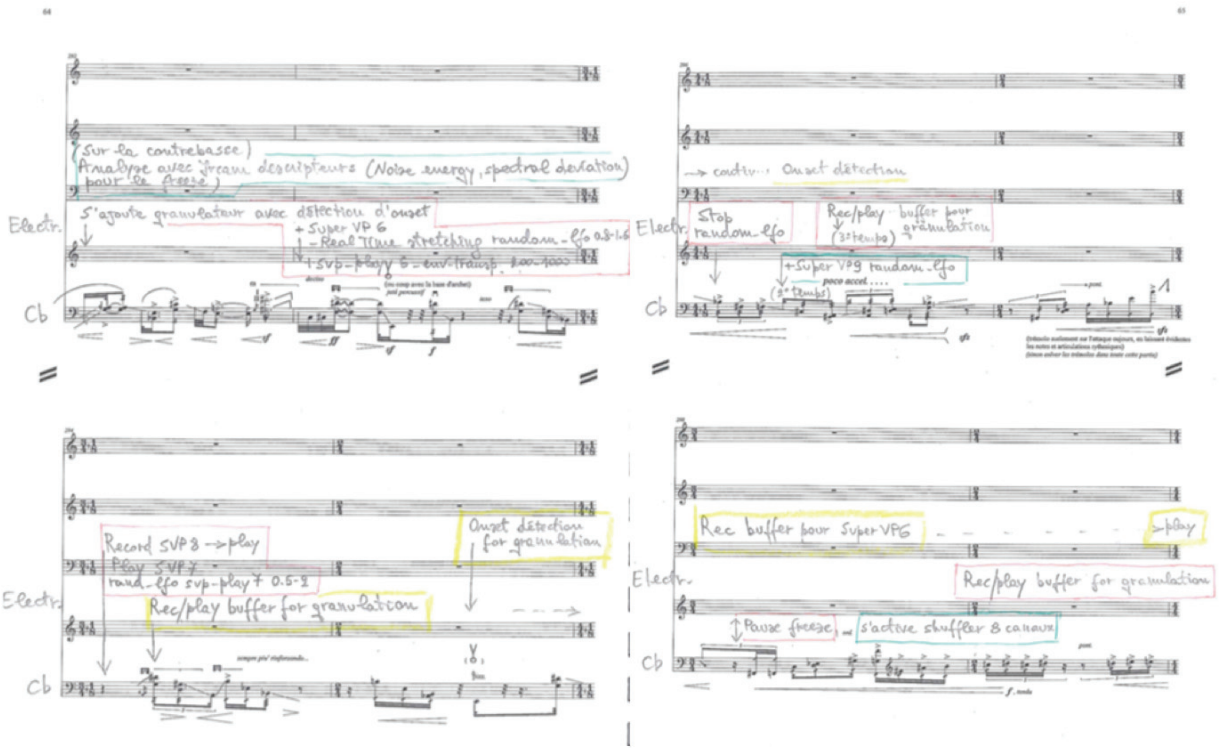



Fig. 12. Solo de la contrebasse dans Estremo d'ombra *concluant la deuxième section de l'œuvre.*

Une utilisation ultérieure de procédés de synthèse pilotés en temps réel par captation gestuelle des mouvements de l'interprète m'a permis de développer la composition d'autres sections, présentes, par exemple, dans le cycle d'œuvres *Philiris* et *Liphyra* pour piano, capteurs, transducteurs et électronique, dans lequel la production de différentes sonorités de synthèse[23] (additive, granulaire, concaténative entre autres) est associée aux caractéristiques plutôt bruiteuses ou harmoniques, plus articulées rythmiquement ou plus statiques et gelées[24] de l'écriture musicale.

L'utilisation, par exemple, de la synthèse granulaire et concaténative m'a permis de réaliser des sons électroniques intéressants et homogènes par rapport aux textures sonores instrumentales et des passages musicaux où la possibilité d'avoir des micro-variations dans la composition spectrale du son, ou bien des petites fragmentations rythmiques dans le continuum sonore, s'associent de manière cohérente tout en enrichissant l'écriture instrumentale correspondante.

[23] Il est possible distinguer différents types de synthèse (additive, granulaire, concaténative, par table d'onde, par modulation de fréquence, par modèles physiques) qui se sont développés tout au long de l'évolution des recherches sur le timbre musical dès les années soixante. Jean-Claude Risset (Risset 1969), avec son *Catalogue*, est un des premiers chercheurs à jeter les bases de l'aventure pour la simulation des sons.

[24] Pour les différents types de synthèse utilisés dans les compositions présentées on renvoie à la section sur les études d'œuvres.

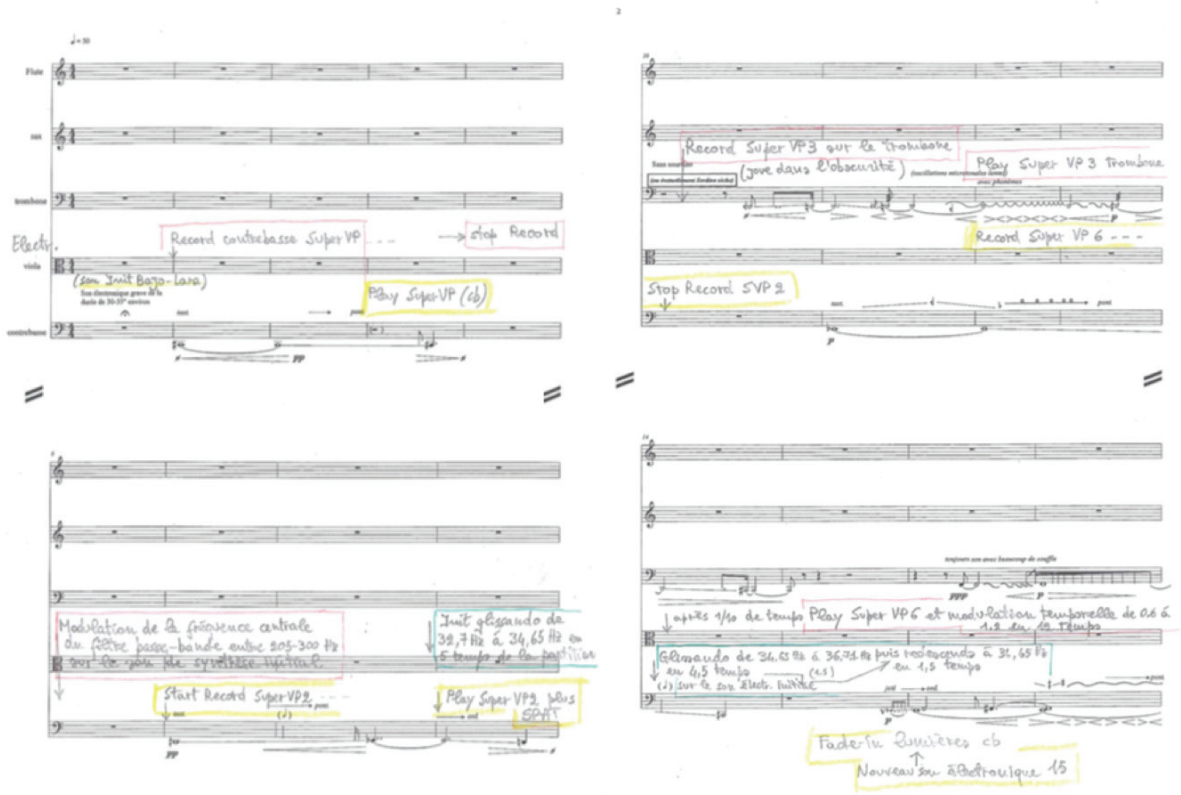


Fig. 13. Extrait de la section initiale de Estremo d'ombra.

De nouvelles idées compositionnelles sont suscitées par l'utilisation des outils informatiques dédiés à l'analyse spectrale de flux sonores pour en extraire des informations sur des caractéristiques particulières du timbre. Ainsi l'exigence de vouloir entrer au « cœur » du son instrumental a trouvé une réponse grâce à une écriture de l'électronique permettant l'équivalent d'un « zoom » sur certaines caractéristiques sonores instrumentales. Grâce à la possibilité, par exemple, de capter et de quantifier des qualités du son comme l'harmonicité ou l'inharmonicité, l'énergie, la brillance, la hauteur fondamentale, la composante bruitée dans le jeu instrumental, le travail sur la couleur sonore globale a été pu être raffiné en mettant directement en relation ces paramètres avec divers types de traitement électronique en temps réel. Les différents résultats obtenus ont nourri l'imagination et informé la conception de parties entières des pièces présentées dans leurs différentes phases compositionnelles, permettant de réaliser une écriture acoustique et électronique au profil mutable et oscillant, tendu et suspendu à la fois selon les différents moments structurels des compositions, dans un processus continu de transformation selon aux exigences d'évolution de la matière sonore.

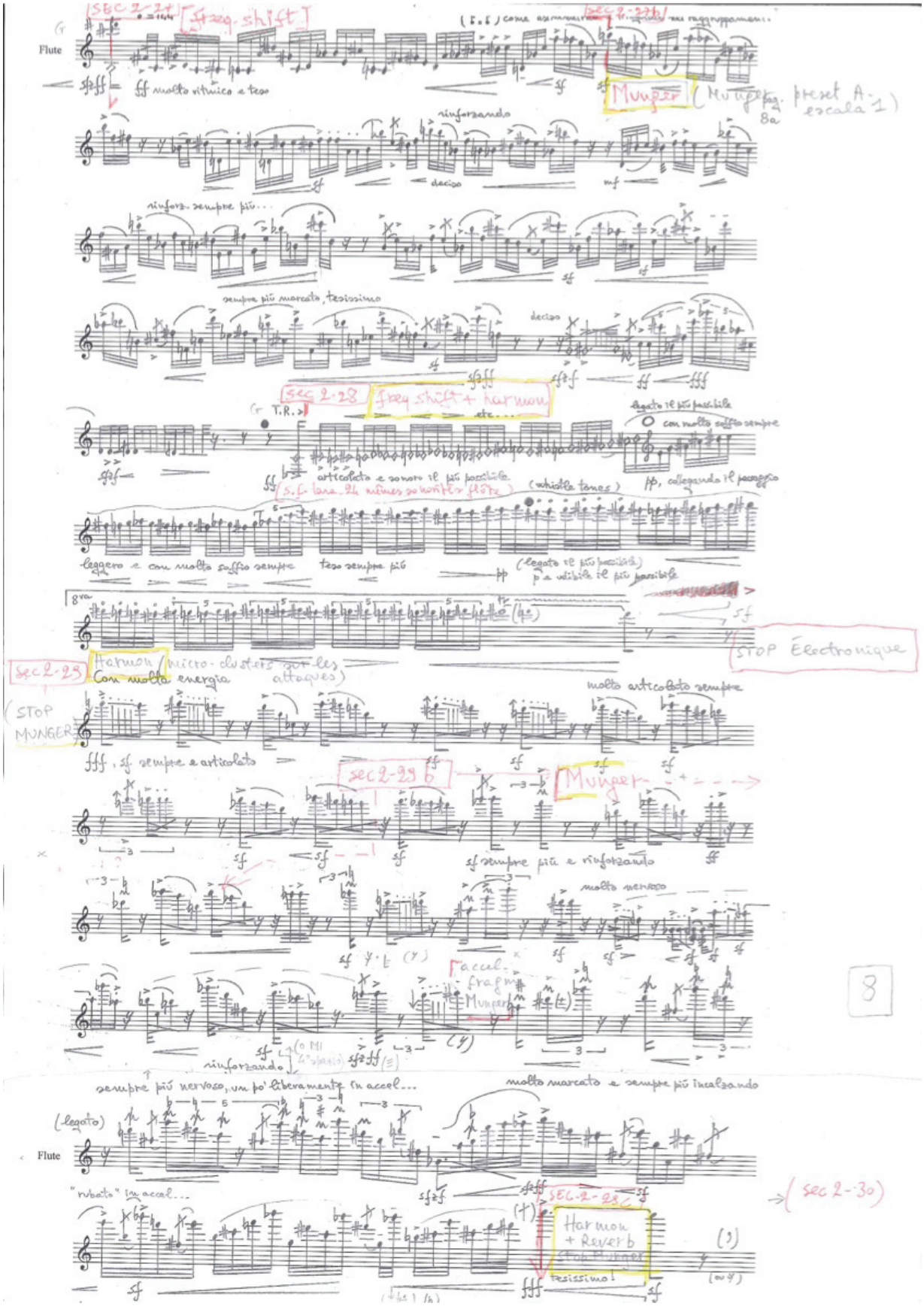


Fig. 14. Extrait de la partition Embedding tangles *représentant un moment vectorisé de l'énergie vers le climax. Partition de travail de la compositrice.*

Mon intérêt pour une écriture toujours très articulée et au profil intermittent et souvent dentelé m'a poussé à la recherche de traitements permettant d'obtenir une articulation sonore similaire (en imitant le jeu rythmique discontinu instrumental), associée à des changements de hauteur ou d'autres paramètres, afin de suivre le mouvement rythmique et la directionnalité du jeu instrumental, et d'y interagir (exemple fig. 14).

D'un point de vu conceptuel l'utilisation de l'électronique m'a permis également d'imaginer une réalisation plus virtuose de l'écriture instrumentale, amplifiant certaines caractéristiques et potentialités et devenant une sorte d'« aide » à l'exécution. Pouvoir faire exécuter à l'instrument électronique et/ou virtuel (comme dans les pièces *Philiris* et *Liphyra*) des séquences posant certaines difficultés aux interprètes (notamment des passages complexes très rapides, demandant une exécution ultra-précise de fragments microtonaux ou des sonorités « augmentées » ou bruitées techniquement difficiles) a permis toute une série d'expérimentations où des éléments typiques de mon écriture instrumentale ont pu s'évaluer et s'établir.

III.2 Directions et contrastes : une écriture du temps

Dans la mise en relation des composants très hétérogènes (données temporelles, timbrales, fréquentielles, articulatoires, spatiales) prises en compte dans la conception d'une cellule musicale associée à un geste acoustique, une phrase, un complexe sonore plus au moins élaboré, la question se pose de savoir comment obtenir des entités compactes, cohérentes et dotées d'une identité forte en soi et dans le contexte global où ces objets prennent place. La conjugaison dans le même espace des multiples paramètres aujourd'hui utilisés dans la composition mène à des solutions et des stratégies très diverses. En utilisant des techniques, par exemple, de prolifération des processus et de génération d'éléments constituant des petites unités musicales dans mes pièces, j'ai souvent procédé par une construction temporelle à l'échelle locale, sans nécessairement l'indexer sur l'organisation plus globale de la structure formelle, menant à un ouvrage très détaillé dans l'écriture et une conception très « réfléchie » sur chaque élément local du point de vue du matériau.

Il n'est pas possible dans le contexte mixte de réduire la question temporelle aux seuls paramètres classiquement attribués au temps musical (tempo, vitesse, durée, développement temporel de l'œuvre). Il est aujourd'hui évident que l'articulation du discours musical prend en compte différentes organisations temporelles à différentes échelles ainsi que diverses modalités de conception et typologie de temps.

Il est possible, par exemple, de repérer un temps du compositeur, basé sur la manière dont il a conçu l'œuvre dans son architecture générale et au niveau de la logique temporelle par la succession d'évènements et parties structurelles internes plus amples ; un temps de la notation, dans un code symbolique chargé historiquement et comportant des marges d'interprétation quant à la vitesse, pour l'interprète, qui a également son temps musical « intérieur », et se confronte ainsi avec un temps « idéal » ; le temps de l'exécution, mis en parallèle, dans le cas de la musique mixte, avec celui de l'électronique, elle-même écrite dans un temps propre de la programmation informatique suivant sa propre logique de structuration, et réglant les temporalités des divers types d'actions et traitements électroniques ; un temps physiologique et cognitif de l'auditeur, lié à sa perception des phénomènes musicaux, conditionnés par la mémoire et dépendant de son état psychologique.

Dans le cadre de cette recherche je me suis intéressée notamment à la correspondance entre ces différents aspects de la dimension temporelle et les réalisations et répercussions possibles dans la mise en place de mes idées musicales et leur mise en œuvre dans l'écriture. Plusieurs situations ont été explorées se juxtaposant dans le discours musical ou se superposant et relevant des couples d'oppositions tels que continu/discontinu (ou strié), statique/mobile, linéaire/pointilliste.

Au niveau plus global, mon travail compositionnel se développe dans une logique temporelle favorisant une évolution directionnelle caractérisée par des masses sonores en mouvement continu, des transformations évolutives, ou des succession plus ou moins contrastées de moments engageant une diversité de régimes temporels tels que :

- un temps pulsé mais articulé et au découpage irrégulier ;
- un temps instable, par superposition d'éléments dissemblables, une distribution d'accents imprévisibles ;
- un temps fragmenté par des contrastes, ruptures, moments qui se succèdent sans lien perceptible ;
- un temps conçu comme une transformation progressive et graduelle du matériau ;
- un temps très lisse, non caractérisé par des scansions de mesures avec pulsations ou rythmes repérables ;
- un temps suspendu ou apparenté au statisme, imaginé ainsi comme un écoulement continu d'une masse sonore, mais reflétant des sonorités suspendues et tendues où la temporalité musicale est étroitement liée au timbre et à l'espace.

Concernant la notion de temps lisse, il est à noter que souvent dans la phase d'écriture précédant la copie finale, la notation de mes partitions est réalisée sans les barres de mesure, qui

interviennent seulement à posteriori de sorte à mettre en exergue les instants saillants pour l'exécution.

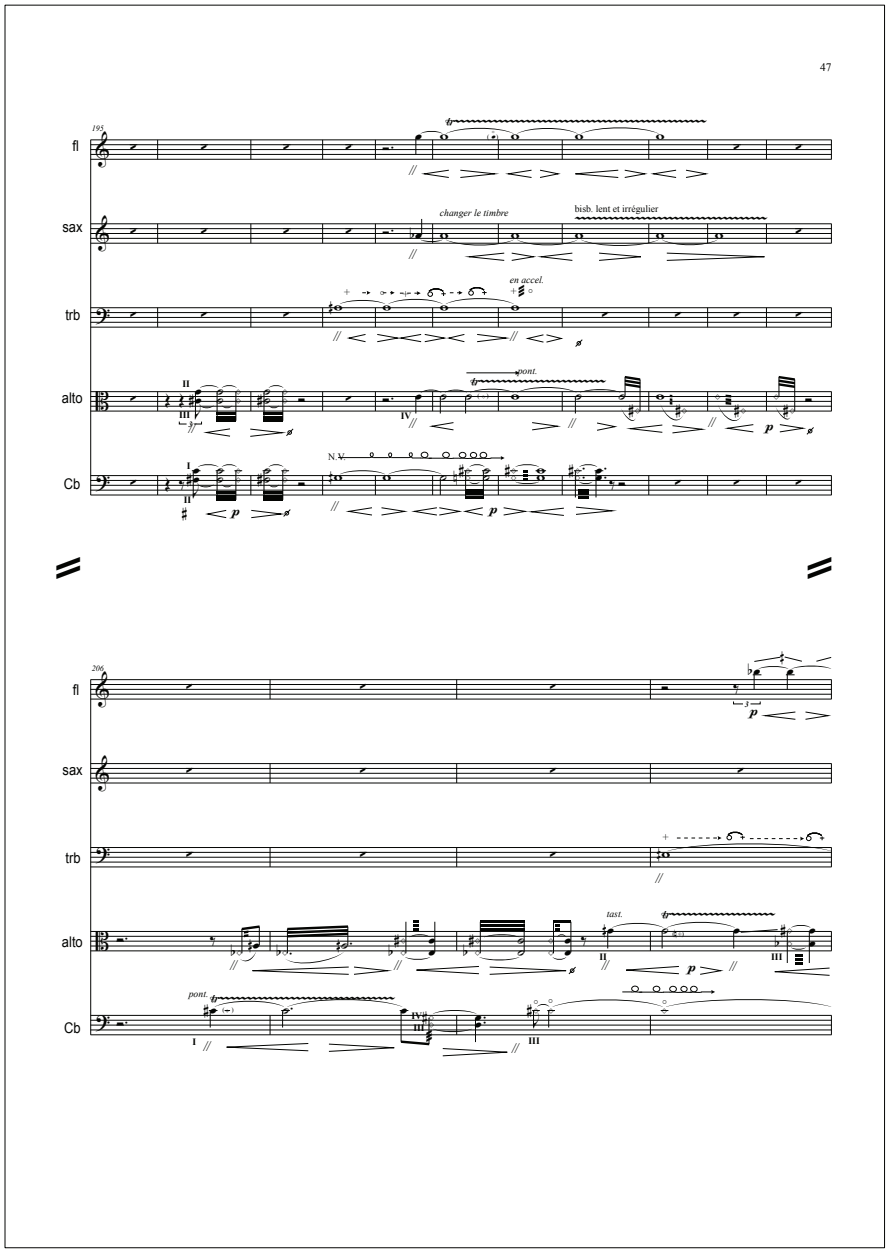
Un fort aspect de directivité, impliquant une vue à « long terme » des grandes sections et de l'œuvre, caractérise les différentes situations décrites, entrainant des transitions d'une situation à l'autre à travers plusieurs échelles (locale et globale) et différents dimensions relatives aux paramètres mis en jeu.

Dans l'univers des sons de synthèse la perception du temps est spécifique, et des potentialités temporelles différentes de celles présentes dans la musique instrumentale ou dans des sons exclusivement concrets émergent. Grâce aux riches possibilités de contrôle, l'écriture de l'électronique de synthèse peut aisément prendre en compte l'évolution de flux paramétriques à des échelles de temps différentes et évoluant chacun dans son propre temps. La construction d'un temps particulier est alors le résultat d'un ensemble de temporalités superposées et plus ou moins synchronisées entre elles interagissant dans un agencement complexe rendu possible par la programmation informatique. Grâce au développement des langages synchrones musicaux tels Antescofo[25] la possibilité de composer des processus dynamiques et réactifs, susceptibles de superposition et de dialogue entre eux, soumis à l'influence de l'interprétation du musicien dans l'interaction en temps réel, donne au travail compositionnel l'opportunité d'explorer une dimension temporelle radicalement renouvelée (Cont 2008).

Les divers régimes temporels décrits ont trouvé une correspondance dans la réalisation des sons électroniques évoluant en temps réel en fonction des mouvements instrumentaux (exemple fig. 15), produisant une matière sonore très articulée au niveau rythmique et par superpositions de figures temporelles et couches diverses, à la fois dense et pulvérisée, dynamiquement et morphologiquement changeante.

La question de l'organisation temporelle complexe d'un matériau si riche rencontre ainsi celle de la notation, en se rappelant que la nécessité de coordonner les sons électroniques avec le jeu d'un instrumentiste oblige le compositeur à considérer ces problématiques dès la conception de l'œuvre. Au moment de l'écriture même de la partition se pose ainsi la question de l'agencement de la structure interne et de la synchronicité des processus élaborés et mis en relation avec leurs propres temporalités et leurs interactions.

[25] Les langages synchrones et temporisés ont été développés à l'Ircam dans le projet MuTant par Arshia Cont, Jean-Louis Giavitto, Philippe Cuvillier et José Echeveste, au sein de l'équipe Représentations Musicales.




```
; ---------- mesure 199 --- beat 658 --- time signature 4/4

NOTE C4 1 mesure199

::pulse(199, "4/4", 4, 1) //mes, time_sig, temps, dur


addSynth_gen SynthInitSec3 off 10
crea_track8 bajo-sec3 off 5

crea_track8 bajo_mes13 0 1 3 trackpreset bajo-sec3 #fader ($fader("synth1"))
crea_track8 bajo_mes13 amp 2
crea_track8 bajo_mes13 set 00_TPan8 pos 0.1

group freeze_mes13
{


    crea_track8 freeze_fl13 0 4 0 AudioInput input $flIn #-> TGranFreeze8 rate 1 buf 6 trate 17.5 dur 0.06 durDev 0.06 panDev 0.7 amp 4.8 #fader ($fader("synth2"))
    crea_track8 freeze_sax13 0 4 0 AudioInput input $saxIn #-> TGranFreeze8 rate 1 buf 7 trate 11.5 tratedev 123.51 dur 0.04 durDev 0.25 panDev 1 amp 4.5 #fader ($fader("synth2"))
    crea_track8 freeze_vla13 0 4 0 AudioInput input $altoIn #-> TGranFreeze8 rate 1 buf 8 trate 9 tratedev 220.74 dur 0.17 durDev 0.09 panDev 0.7 amp 3.73 #fader ($fader("synth2"))

    crea_track8 freeze_tbr13 0 4 0 AudioInput input $trbIn #-> TGranFreeze8 rate 1 buf 9 trate 9.6 tratedev 187 dur 0.05 durDev 0.21 panDev 0.7 amp -9 #fader ($fader("synth2"))
    crea_track8 freeze_cb13 0 4 0 AudioInput input $cbIn #-> TGranFreeze8 rate 1 buf 10 trate 19.9 tratedev 119 dur 0.15 durDev 0.09 panDev 0.7 amp 3 #fader ($fader("synth2"))

10 ::line_multi_out("crea_track8", "freeze_fl1", "amp", [0, 2, 0, 5, -5, 10, -20])
::line_multi_out("crea_track8", "freeze_sax1", "amp", [0, 2, 0, 5, -5, 10, -20])
::line_multi_out("crea_track8", "freeze_vla1", "amp", [0, 2, 0, 5, -5, 10, -20])
::line_multi_out("crea_track8", "freeze_tbr1", "amp", [0, 2, 0, 5, -5, 10, -20])
::line_multi_out("crea_track8", "freeze_cb1", "amp", [0, 2, 0, 5, -5, 10, -20])
}
```

Fig. 15. Extrait de la deuxième section de Estremo d'ombra *avec l'écriture dans la partie électronique de cinq granulateurs ayant différents rythmes.*

III.3 Synchronismes : écriture de l'interaction

Dans le contexte des travaux de thèse, l'écriture processuelle du temps revient à la mise à point d'un scénario interactif qui prends en compte la partition, l'exécution par l'interprète humain, et les actions électroniques synchrones ou asynchrones qui devront être réalisées par la machine. Un des premiers questionnements dès la conception de l'œuvre touche à la façon d'écrire le temps des actions électroniques en l'accordant avec le temps de l'interprétation humaine.

Si les outils permettant de manipuler le temps symbolique sont essentiellement destinés à un travail en amont du concert, il a été nécessaire explorer de nouveaux paradigmes offrant un modèle temporel moins statique, s'adaptant à des nécessités musicales variées et aux situations interactives en temps réel de la performance.

L'interprétation musicale du jeu du musicien se réalise par des subtiles (ou moins subtiles) variations expressives de nuances et de tempo permettant de donner du relief, d'appuyer un phrasé, ce qui crée des difficultés pour la coordination de l'électronique. Les systèmes temps-réel et les langages synchrones étendent les possibilités d'écriture de l'électronique, ouvrant ainsi la possibilité d'une nouvelle expressivité en ce qui concerne l'écriture du temps. Par le biais de l'utilisation du logiciel Antescofo, que j'ai approché initialement comme un suiveur de partition[26] il m'a été possible de prendre part, au fil des années de collaboration intense avec l'équipe Représentations Musicales à l'Ircam aux avancements des recherches relatives à la question des polytemporalités, ainsi qu'à celle de la reconnaissance par la machine d'écoute des modalités de jeu instrumental complexes. Ces deux thématiques constituent des progrès récents des technologies de suivi synchrone, auxquels j'ai contribué en soumettant à l'équipe des cas d'usage toujours plus sophistiqués qui constituaient de nouveaux défis pour la recherche en informatique musicale. Ainsi, la collaboration avec l'Ircam autour du logiciel Antescofo a signé le début d'une exploration qui a accompagné et caractérisé la plupart de mes œuvres mixtes depuis 2011.

À l'origine des recherches de cette thèse se centre le travail réalisé sur une œuvre mixte (*Raggi di stringhe,* pour violon et électronique réalisée à l'Ircam en collaboration avec José Miguel Fernández pour l'élaboration de la partie informatique et dont une analyse plus détaillée sera

[26] Le suivi de partition est un processus programmé pour suivre une partition en permettant à l'ordinateur de se synchroniser automatiquement à l'exécution musicale humaine en temps réel. Produit par des recherches croisées entre intelligence artificielle, langages synchrones, reconnaissance des motifs, traitement du signal, ce sujet représente, depuis son introduction en 1984 par Barry Vercoe et Roger Dannenberg, un des centres d'intérêt majeurs pour des compositeurs comme Pierre Boulez, Philippe Manoury, Marco Stroppa, et il est développé dans sa version la plus récente à travers le logiciel Antescofo dans l'équipe Représentations musicales à l'Ircam.

donnée dans la section sur les études de pièces), dans laquelle ces aspects et réflexions convergent autour de certains éléments clefs : l'écriture du son et du temps mise en relation avec les possibilités d'interaction en temps réel entre homme et machine, en prenant en compte également le rôle de l'interprète dans la performance.

La démarche initiale de cette exploration repose sur plusieurs points et exigences compositionnelles :

- la nécessité de développer des caractéristiques de l'écriture mises en relation avec un système plus réactif et interactif (et mieux adaptée au jeu instrumental) ;
- la nécessité d'une réalisation électronique plus articulée et adéquatement synchronisée à la performance musicale ;
- la recherche de traitements du son produisant des textures sonores singulières, grâce notamment à l'exploitation de l'analyse de certaines caractéristiques timbrales de l'instrument.

Concernant ce dernier point, a pris place un travail sur les techniques instrumentales comme les modes de jeu *sul ponticello* ou *sulla tastiera*, les jetés et d'autres types d'articulations, le '*col legno'* et les distorsions liées à la pression de l'archet, en alternance avec la production de sons clairs et cristallins. La palette recherchée veut reproduire métaphoriquement l'oscillation et les fluctuations produites par les cordes en mouvement, selon la théorie des cordes en physique fondamentale à laquelle le titre fait référence.

Le travail préparatif de cette œuvre a suscité toute une série de problématiques artistiques et technologiques inhérentes l'écriture instrumentale et celle de la partie électronique, par rapport notamment aux dimensions temporelles et timbrales. Avant tout, la nécessité de mettre en relation l'écriture instrumentale (soliste) et l'interprète avec un dispositif informatique est née du besoin de pousser plus loin l'imagination et la conception même de l'œuvre, à travers la recherche d'extension des possibilités techniques et sonores propres à l'instrument acoustique et la possibilité d'amplifier certains éléments de mon écriture (tels que la virtuosité, le développement et la superposition de matériaux, les échelles et dynamiques temporelles diverses, l'articulation et la prolifération rythmique, etc.) en cherchant résonance et démultiplication par l'électronique.

J'ai souhaité travailler sur la réalisation d'une partie informatique imposant à l'écriture de l'électronique le même défi qu'à l'écriture instrumentale : une véritable recherche de ce qui pourrait provoquer l'interprète sur un terrain comme la virtuosité, reculant de la même façon les limites de l'instrument et de l'ordinateur.

Dans *Raggi di stringhe*, par exemple, la partie électronique est conçue d'une façon très articulée

et imaginée comme un complément idéal à la virtuosité instrumentale, une extension des possibilités sonores instrumentales. L'exigence d'une réalisation électronique aussi définie et détaillée que l'écriture instrumentale (les sons électroniques composés sont travaillés au niveau rythmique par divers types de traitement pour trouver étroite correspondance avec les reliefs, les accents, les rythmes et les gestes instrumentaux), afin de rendre l'électronique partie intégrante du discours musical, a poussé la réflexion vers la recherche d'un système informatique capable de synchroniser les actions musicales de l'interprète avec un retour et une réponse assez performante et fiable de la machine.

En même temps, j'ai recherché une relation et une interaction musicale qui ne se limitent pas à une fonction de synchronisation (uniquement spécifiée par des successions de notes ou une prise en compte du tempo) ou de déclenchement, mais qui s'étendent aussi à un renouvellement de l'écriture conjointe instruments/électronique, jusqu'à intégrer la mise en relation avec d'autres médias artistiques — prenant en compte les caractéristiques du système artificiel d'interaction de manière à optimiser les choix en fonction du résultat visé, et en tirer le meilleur parti.

Tout en partant d'une approche très expérimentale au début de cet aventure, le travail mené dans *Raggi di stringhe* a concerné notamment les stratégies de synchronisation entre plusieurs types d'événements, en créant une correspondance très forte entre le geste instrumental, le jeu interprétatif et la réponse de l'électronique, ainsi qu'une recherche sur la possibilité de détecter différents modes de jeu complexes en vue d'établir une reconnaissance entre le matériau sonore instrumental et la réaction de la machine. Cela a été pour moi l'occasion d'expérimenter longuement avec le chercheur Arshia Cont et le réalisateur en informatique musicale José Miguel Fernández une série d'effets dynamiques et de techniques instrumentales étendues constituant des cas très difficiles pour la machine d'écoute.

Dans la mise en place de la pièce j'ai pu penser et tester une écriture caractérisée par des situations et des effets sur lesquelles synchroniser différents types de traitement. Parmi ces effets, des *glissandos*, par exemple, dont la durée n'est pas toujours précisément définie, ou bien des *accelerandos* et *rallentandos* librement interprétés par le musicien, ou des notes répétées, dont la hauteur n'est pas précise et reconnaissable à cause d'effets de distorsion timbrale. Tous ces cas sont des redoutables défis pour Antescofo.

Le développement du langage consécutif à ces échanges a permis d'obtenir un système plus robuste et fiable, permettant d'exprimer des relations temporelles de plus en plus fines, des connexions entre processus en lien aussi avec l'interprète qui implique des intéressantes possibilités d'écriture du temps pour la musique mixte.

Les apports entre technologie et le travail compositionnel deviennent alors réciproques, constituant un progrès et un bénéfice mutuel.

III.4 Interprétation et liberté

Un axe de réflexion important dans ce travail doctoral touche à l'interprétation et aux différentes possibilités de liberté qu'elle laisse pour le contrôle d'exécution de la performance dans la musique mixte.

Quand on prend en compte le jeu interprétatif d'une partition par un musicien on fait toujours référence à la possibilité d'exprimer avec un certain degré de liberté les situations musicales en jouant sur le phrasé, les accentuations rythmiques et agogiques, les inflexions dynamiques et temporelles pour mettre en valeur certaines articulations du discours. Ces éléments d'expressivité apportent une couleur personnelle à chaque exécution, donnant vie à différents résultats musicaux à partir des mêmes passages fixés sur le papier par la notation.

L'aspect temporel, par exemple, ne peut pas être totalement contrôlé ou respecté par rapport à la spécification de l'écriture. Cet aspect a été toujours une composant majeure à prendre en compte dans l'exécution de la musiques mixte en relation aux dispositifs techniques mises en place depuis le début de ce genre jusqu'aux évolutions les plus récentes.

Depuis les premières productions pour instruments acoustiques et support comportant la contrainte de s'aligner sur une bande préenregistrée, avec la rigidité d'un model temporel préfixé, plusieurs avancés technologiques ont permis l'élaboration de systèmes permettant à l'interprète une superposition plus souple et dynamique avec les sons fixés, tout en arrivant à développer des dispositifs basés sur la reconnaissance du jeu instrumental par l'ordinateur, qui peut par conséquence s'aligner et se synchroniser avec la partition musicale jouée en direct. Le suivi de partition comme on l'a dit a été un sujet de recherche des plus étudiés qui a marqué nombre de productions musicales contemporaines.

Les exigences de l'exécution musicale ont toujours poussé la recherche vers une demande de flexibilité et d'adaptabilité du système pour prendre en compte la variabilité de l'interprétation humaine. Dans le contexte particulier de la musique mixte, pour synchroniser les actions électroniques avec le jeu du musicien il est nécessaire considérer diverses situations, comme le contexte général musical de l'œuvre, le tempo réel du musicien, l'occurrence des événements musicaux, la possibilité d'erreur du musicien ainsi que de la machine, tous les aléas par lesquelles le déroulement de l'exécution peut subir des modifications qui influencent le fonctionnement de la « machine d'écoute ». Un système comme Antescofo permet de définir un

ensemble de stratégies pour le rattrapage des erreurs. L'anticipation des événements selon des modèles probabilistes de prédiction est prise en compte dans l'« écoute », en considérant le contexte musical, comme dans la pratique de la musique de chambre où les interprètes utilisent différentes modalités pour jouer ensemble. Les problèmes de synchronisation et de coordination musicale, très étudiés dans Antescofo, sont devenu cruciaux dans la mise en œuvre de certaines de mes productions musicales et notamment certaines pièces réalisées pendant cette formation doctorale. *Estremo d'ombra*, par exemple, a été complétement conçue en prévoyant de nombreux degrés de liberté soit au niveau de l'indépendance du musicien par rapport à de multiples facteurs (exécution musicale, interaction avec les autres interprètes, le dispositif électronique et l'espace) soit au niveau de la conception générale de l'œuvre en relation à la forme et ses implications multidisciplinaires (dramaturgie, création lumière, mise en espace). Parmi les choix qui ont été faits à cet égard, on peut relever:

- l'utilisation des pupitres classiques et le format des partitions, qui sont envoyés sur des écrans, ne nécessitant pas de tourner des pages ;
- l'absence d'un chef d'orchestre, pour garder une dimension chambriste dans l'exécution de l'œuvre avec le type de coordination musicale intime évoqué ci-dessus pour mener à terme le déroulement de l'action sonore et scénique ;
- le déplacement et la liberté de mouvement dans des moments clefs de la structure formelle, signifiant symboliquement la libération du geste musical par rapport à la fixité du support et de l'écriture ;
- l'introduction d'une brève section finale d'improvisation est un aspect complètement novateur dans ma production musicale où le langage est caractérisé plutôt par un contrôle absolue de l'écriture.

Ces choix d'exécution ont permis une sortie de scène progressive des musiciens dans l'obscurité, tout en pouvant continuer à jouer (par le biais des sons et traitements électroniques qui prolongent et alimentent la trame sonore), sur des cellules et modules avec les hauteurs, registres, rythmes et modes de jeu établis auparavant (fig. 16).

Fig. 16. Moment de la section finale de Estremo d'ombra *: les musiciens se dispersent en continuant à jouer dans l'obscurité de l'espace scénique jusqu'à la dispersion totale de l'énergie à la fin de l'œuvre.*

L'aspect de liberté conféré à l'interprétation trouve tout son déploiement dans les dernières pièces mixtes réalisées qui intègrent ainsi la captation gestuelle. Les possibilités offertes par l'intégration de capteurs de mouvement placés sur la main ou d'autres points d'articulation d'un interprète ou performer ouvre des opportunités très intéressantes de contrôle sur le médium électronique afin d'obtenir les résultats sonores visés par une synchronisation ultime aux choix et gestes de l'humain. Dans le cas particulier de mon cycle d'œuvres pour piano (*Philiris*, 2016 et *Liphyra*, 2018, voir chapitre V) et électronique, la possibilité de mettre en place le dispositif interactif adapté aux exigences musicales de l'œuvres a permis une prise en main directe du travail d'interaction entre instrument et électronique. Étant moi-même ainsi l'interprète de l'œuvre il a été possible d'expérimenter une situation de production et de contrôle sonore directs et idéaux : l'outil informatique étant en quelques sortes disponible sous mes mains, le pouvoir de gérer, moduler, modifier les sons et la synthèse en temps réel (ou d'autres types de traitements comme la granulation ou la synthèse concaténative et autres sonorités qu'il ne serait pas possible de produire par le seul jeu du piano acoustique), a représenté une véritable expérience de symbiose entre les divers moyens et sources sonores. La liberté de l'interprète devient alors un enjeu encore plus primordial, avec une réactivité particulière de sa part aux réponses de la machine rendue possible par le fait d'être l'interprète et le compositeur en même temps. Dans ces pièces j'ai pu expérimenter également la liberté d'intégrer des passages improvisés (sur des éléments

musicaux et électroniques bien définis et programmés en amont), nécessaires dans certaines sections où le déchiffrage de la partition serait rendu impossible par la position du corps, penché sur la table d'harmonie du piano afin de produire des effets et sonorités particulières à l'intérieur de l'instrument.

La transcription des gestes a représenté dans ces pièces un champ difficile à cerner d'un point de vue graphique et ergonomique. Certaines des solutions proposées, à la fois trop élaborées et pas complétement intelligibles pour l'exécutant, demandent encore des réflexions plus approfondies pour représenter de façon plus complète et efficace l'ensemble des consignes et indications en vue de reproduire le geste voulu et d'obtenir le résultat sonore souhaité.

Cet aspect du travail concernant la notation méritera un temps supplémentaire de recherche afin de mettre au point un médium symbolique de transmission des informations nécessaires pour l'exécution d'une partition interactive qui puisse être mise en place et réalisée autant que possible sans la transmission directe via le compositeur.

III.5 Interaction avec d'autres médias

Tout au long du XXe siècle, les expérimentations menées par des artistes qui souhaitaient dépasser les catégories conventionnelles et les frontières entre arts ont multiplié les formes d'échanges et les relations entre diverses disciplines. Des productions artistiques composites, musicales, visuelles, littéraires, se croisent, plusieurs dimensions se mutualisent : les concepts de temps et espace, par exemple, deviennent des constituants communs ouvrant à un processus de régénération des formes par le mélange et l'interaction.

L'intégration de la technologie dans la musique a également renouvelé en profondeur la praxis musicale en introduisant dans le processus artistique des éléments matériels nouveaux (nouvelle lutherie numérique et instrumentale, programmes informatiques, dispositifs de spatialisation, interfaces gestuelles, écrans etc.), ouvrant la voie à une certaine dramaturgie et facilitant le passage à d'autres modalités artistiques.

Ces technologies permettent ainsi un croisement de différents modes d'expression, tout en favorisant le questionnement d'un art par un autre et la fertilisation croisée. Aujourd'hui, les frontières entre arts visuels, musique, danse, théâtre, cinéma sont de plus en plus perméables et tendent à s'effacer. En cherchant à s'éloigner des traditions inhérentes aux genres, les artistes créent des œuvres pluridisciplinaires où sons, corps, voix, images fixes ou en mouvements participent à un même projet.

À travers analogies et correspondances, différentes formes de dialogue sont mises en place, les éléments interagissent, des pôles hétérogènes et des processus croisés évoluent. Un questionnement central porte sur la cohérence contextualisée de cet ensemble d'interactions, comme conséquence des choix esthétiques et techniques multidisciplinaires.

Au niveau de la production réalisée tout au long de ce cycle doctoral la conception de certaines œuvres (comme *Octaédrite*, *Microgroove I*, *Estremo d'ombra* et *Taygeta II,* cf. chapitre V)[27] et leur processus d'écriture ont été liés au souhait de connecter le medium musical avec d'autres arts.

Je me suis notamment intéressée aux possibilités de mise en relation avec l'univers visuel, la mise en espace dans ses dimensions matérielles, la création de lumières, accompagnés par la recherche d'un parcours dramaturgique (à la fois symbolique et métaphorique) suivant l'évolution des œuvres. À partir des différents langages artistiques, j'ai souhaité explorer les relations de causalité, subordination, correspondance, proximité, produisant des formes de corrélation, de contraintes, d'interactions croisées.

Afin d'explorer des territoires alternatifs et originaux par rapport au traitement des matériaux employés et l'élaboration de formes interdisciplinaires et multimédia, des interrogations multiples ont touché notamment à un travail conjoint avec une artiste plasticienne[28], caractérisé par une réflexion partagée sur la gestion et le développement de l'écriture sonore et visuelle, en relation aux dynamiques temporelles et spatiales, produisant ainsi différentes perceptions de l'œuvres dans le lieu d'écoute.

L'expérience de pouvoir envisager un objet/source sonore sous le double aspect de son apparence visuelle et de ses conséquences acoustiques a été porteuse d'interrogations nouvelles pour ma réflexion artistique, habituellement centrée sur ma spécialité. Prendre en compte ces nécessités au moment compositionnel et lors de la réalisation technique a signifié prendre acte d'une mise en cause des catégories et formes esthétiques tenues pour assurées pour s'adapter à une médiation, voire une hybridation entre médias.

Dans chacun des travaux réalisés la recherche s'est focalisée sur des aspects distincts et particuliers : dans *Estremo d'ombra*, par exemple, la nécessité de créer une interaction à plusieurs niveaux (interprétatif, individuel et collectif entre les musiciens, avec l'ordinateur et le dispositif mis en place, avec l'espace, les déplacements sur scène et le déroulement dramaturgique de l'action, ainsi qu'avec un dispositif de lumières évoluant selon les différents

[27] La composition d'une musique pour le film *Les atomes* de Lara Hirzel, doctorante de La Femis a été réalisée également, ainsi qu'une collaboration pour le projet de *Virtual Dream Center* de Jean-Baptiste Lenglet.

[28] Il s'agit de Félicie d'Estienne d'Orves, avec laquelle j'ai mis en place l'œuvre audiovisuelle *Octaédrite* et l'installation *Microgroove I.*

moments expressifs et structurels de l'œuvre — voir exemples figures 17 et 18) a mené à des solutions d'écriture « centralisée » pouvant contenir et contrôler, dans les lignes de programmation informatique, toutes les informations nécessitant à la production et synchronisation des actions musicales, électroniques, spatiales et visuelles.

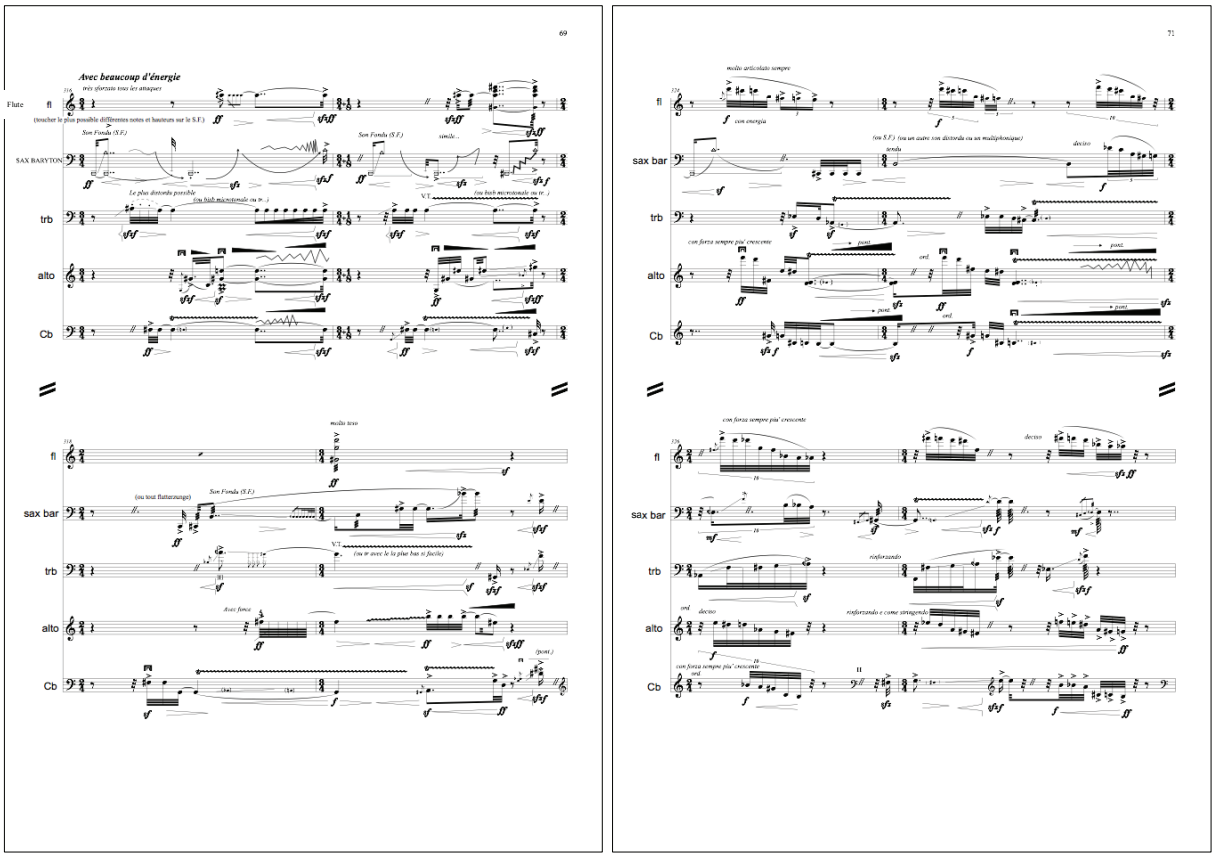



Fig. 17. Deux extraits du début de la dernière section de Estremo d'ombra *où les attaques et les directionnalités des gestes instrumentaux, selon la position en diagonale des musiciens sur scène, reflètent les trajectoires des lumières.*

Par rapport à l'utilisation des lumières conçues comme un moyen important accompagnant les différentes évolutions formelles et expressives de la pièce *Taygeta II* (pour caisse claire, tom grave, captation gestuelle, transducteurs, électronique et un ensemble de percussions résonantes) un dispositif informatique a été programmé pour synchroniser parfaitement aux divers changements structurels de l'écriture instrumentale et musicale les gestes, les lumières et les transducteurs répercutant les traitements et les résonances produites sur les instruments à percussions placés sur scène. L'interaction entre les diverses situations musicales mises au point a été possible grâce à l'utilisation d'une écriture électronique prenant en compte les multiples paramètres des actions intégrées.

Fig. 18. Localisation des interprètes sur scène selon la ligne en diagonale des lumières caractérisant le début de la troisième section de Estremo d'ombra.

III.6 Écriture de l'espace

Au XXème siècle la question des relations entre la musique et l'espace a pris une place particulière par l'intérêt croissant des compositeurs pour la localisation des sources sonores et leurs trajectoires spatiales. Dans les œuvres de compositeurs tel que Varèse, Stockhausen, Xenakis ou Nono, l'espace devient une dimension à part entière du son, sa « cinquième dimension », selon une expression de Boulez (Boulez 1987). À partir des premières approches dans les années d'après-guerre en passant par l'utilisation des hautes capacités de calcul des ordinateurs des années 1990 jusqu'aux outils aujourd'hui disponibles, l'espace est resté « condition immanente » de la musique (Bioteau 2013) qui a donné lieu à une véritable intégration de cet élément comme paramètre d'écriture structurant la composition et jusqu'à la conception même de l'œuvre.

À travers l'installation spécifique de musiciens dans l'espace de la scène et le positionnement des haut-parleurs dans les œuvres utilisant des moyens électroniques, une nouvelle « lutherie » a été mise en place, suscitant de nombreuses questions théoriques et pratiques autour de ce type de projection sonore. À travers des approches générales de la spatialisation, acoustique et électroacoustique, prenant en compte le développement technologique dans le domaine de la diffusion du son, diverses pratiques de l'utilisation de l'espace dans les travaux de compositeurs comme Henry Brant, Karlheinz Stockhausen, John Chowning constituent des marques de fabrique en caractérisant la pensée compositionnelle de leur auteurs (cf. Chowning 1971, Stockhausen 1958). Une des préoccupations importantes depuis les années cinquante a

été de favoriser le rapprochement de la conception musicale spatialisée en tant qu'architecture et en tant que dynamique sonore, tout en faisant évoluer la perception auditive des écouteurs. La spatialisation est conçue comme pensée paramétrique, directement liée au concept de traitement informatique d'un son de synthèse ; le travail se développe sur des fonctions, dans le sens mathématique du terme, des procédés de géométrisation accompagnent la programmation des outils d'écriture du son et de l'espace tout en devant intégrer une écriture du temps de plus en plus complexe et une expectative sur la perception finale de l'auditeur, restant dépendante de sa propre localisation par rapport au dispositif.

Anne Sèdes rappelle les données de l'acoustique des salles en présentant l'outil technologique de spatialisation HOA mis au point par son équipe de recherche : « *En acoustique des salles, un champ sonore direct correspond aux premières réflexions du son émis, venant par exemple de la scène, alors qu'un champ sonore diffus correspond aux réflexions secondaires produites par la réponse de la salle. Consistant en la synthèse de champ sonore, la bibliothèque HOA fait coexister deux paradigmes de la spatialisation du son : champ direct et champ diffus. Le champ sonore direct correspond à l'approche de la source sonore ponctuelle (un point dans l'espace), avec ses attributs de localisation et de mouvement. Le champ sonore diffus correspond pour ainsi dire au paradigme du son environnant, immersif, venant de toutes les directions.* » (Sèdes 2015).

En effet, des dispositifs artificiels peuvent prolonger ou transformer l'expérience physique de l'acoustique naturelle du lieu voire en changer la qualité ou simuler un lieu virtuel :

« la qualité acoustique a une forte influence sur notre capacité à organiser des scènes sonores complexes … À l'aide d'algorithmes et transducteurs (haut-parleurs ou casque) il est possible de simuler l'effet d'un champ acoustique naturel. » (de Cheveigné 2005). Une disposition spatiale particulière produit des effets sur le public en relation aux contraintes acoustiques de la situation d'écoute et en fonction des caractéristiques perceptives des auditeurs. « La connaissance des limites et stratégies perceptives permet au compositeur d'ajuster son écriture pour obtenir une efficacité maximale. » (Solomos 1998).

Parmi les différentes pensées musico-spatiales développées, les positions de Boulez, pour lequel la spatialisation « permet la clarification de l'écriture. Elle en est une composante directe, pas seulement quelques choses qui, par les biais des haut-parleurs lui est surajoutée », marquent des catégories et concepts généraux tels que l'utilisation dynamique du mouvement sonore dans l'espace et « la localisation fine, statique et très précise du son » (Boulez et Nattiez 1991).

Les théorisations faites par Emmanuel Nunes construisent une pratique de la spatialisation

intégrant, dans plusieurs de ses œuvres, diverses possibilités de mise en relation concrète de l'écriture musicale avec l'écriture de l'espace. Considérant la spatialisation comme « un paramètre à part entière, au même titre que les hauteurs et les rythmes[29] » dans le cycle d'œuvres comme *Lichtung III* ou *Enspielung I* pour violon et électronique, chaque note des instruments est spatialisée en appliquant une enveloppe au son instrumental en temps réel, associée également (selon ses propres règles combinatoires) à chaque haut-parleur et transformée avec des traitements en temps réel (*harmonizer, frequency shifter*, modulation en anneau).

À partir de cette exploration chirurgicale de l'espace chez Nunes, d'autres considérations ont attiré mon intérêt, tels que des études sur la possibilité de faire des traitements de granulation en utilisant différents types d'enveloppe qui peuvent changer au cours du temps et en même temps être spatialisés dans un système de diffusion multicanal (des exemples se retrouvent dans *Estremo d'ombra*). Dans la composition des pièces présentées dans le contexte de cette thèse la pensée autour de la dimension spatiale a évoluée progressivement à travers les différentes expériences.

Dans *Embedding tangles*, par exemple, le début de l'œuvre est caractérisé par un type de spatialisation directement contrôlée par la dynamique du jeu instrumental. La flûte, en relation aux différents accents, aux *sforzato* et aux reliefs dynamiques dans l'exécution des passages articulés rapidement avec une composante soufflée évidente, alterne des intensités différentes et contrastées (qui contrôlent ainsi d'autres paramètres et traitements appliqués sur le mode de jeu, comme, par exemple, le *frequency shifter* utilisé pour modifier la couleur de l'instrument de façon évolutive dans la première partie de la pièce), tout en modifiant (par déviation et renvoi dans des directions différentes) les trajectoires spatiales dans le système de diffusion. Plus l'énergie de l'attaque est grande, plus la vitesse de déplacement dans la trajectoire est manifeste ; des ensembles de directionnalités se croisent ainsi dans l'espace perceptif prévu autour du public.

L'écriture et la relation avec l'espace dans les œuvres successives ont été développées en utilisant divers types de procédés appliqués aux évènements et paramètres comme, par exemple, l'analyse par descripteurs audio des flux sonores issus des instruments acoustiques ou la captation gestuelle (qui contrôle aussi la synthèse). Les trajectoires dynamiques sont écrites algorithmiquement dans le langage Antescofo.

Grâce à l'utilisation de transducteurs électroacoustiques et électromécaniques (pour diffuser la synthèse sonore contrôlée par la captation gestuelle directement dans le corps de l'instrument),

[29] Emmanuel Nunes, communication personnelle à l'auteur, 2012.

dans la composition de la pièce *Philiris* j'ai pu imaginer de nouvelles solutions mettant en dialogue l'espace sonore physique de l'instrument sur scène et le système de multidiffusion de la salle du concert. Le dispositif spatial mis en place par l'organisation de l'œuvre autour d'un instrument acoustique et d'un piano virtuel (traité et diffusé par les transducteurs, voir plus bas) est distribué dans un espace sonore localisé sur scène et déployé dans la salle du Kubus au ZKM (où l'œuvre a été créée en 2016), par le système de diffusion multicanal appelé *Klangdom*.

La possibilité d'imaginer, pour cette pièce, l'élaboration et la superposition de divers plans sonores, prenant en compte l'alternance entre des dimensions sonores et spatiales différentes pour altérer l'expérience d'écoute et la perception du spectateur, a inauguré la nécessité d'approfondir ultérieurement ces idées par de nouvelles explorations pour les œuvres suivantes, qui seront décrites avec plus des détails au chapitre V.

Mon travail de recherche s'oriente de plus en plus sur la possibilité de créer des espaces sonores « modulaires » à l'intérieur du lieu d'écoute du concert, en association avec les possibilités offertes par la captation gestuelle, utilisée pour contrôler en temps réel les divers types d'évolution et de déformation des espaces particuliers créés de façon virtuelle dans l'espace perceptif global de la salle.

Grâce à la possibilité d'intégrer de nouveaux outils aux paramètres de composition et de conception sonore, je m'intéresse ainsi aux influences que les modifications de la sphère perceptive peuvent amener dans la situation d'écoute, en troublant la perception ou en guidant le spectateur dans différentes modalités de cognitions spatiale en lui proposant une expérience auditive plus immersive ou plus paradoxale.

À ce propos j'envisage un élargissement de la recherche prenant en compte de nouveaux aspects qui touchent au traitement physique et perceptif de la directivité des sources sonores, intégrant des techniques de spatialisation pour la localisation des différentes sources dans l'espace global d'écoute, associées à des objets résonants qui seront excités par des transducteurs pilotés par un dispositif de captation gestuelle, comme j'ai commencé déjà à le réaliser dans mon dernier travail pour percussions et électronique pour la pièce *Taygeta* (cf. chapitre V).

Les procédés de synthèse sur lesquelles sont basées les techniques de spatialisation aujourd'hui disponibles (binaurale, *Wave Field Synthesis* et *Ambisonics*) combinés au travail sur les réponses impulsionnelles 3D et la synthèse haute-résolution de la directivité des sources virtuelles, représentent le point de départ d'une exploration future qui pourrait mettre l'accent sur la possibilité de construction d'« espaces dans l'espace », d'espaces « modulaires »,

échangeables et transformables notamment par des procédés de morphing.
Dans cette exploration il sera pour moi nécessaire d'intégrer des connaissances sur la cognition spatiale pour l'intégration pertinente des paramètres spatiaux dans le processus compositionnel pour la réalisation de nouveaux objets multimédia, interactifs et spatiaux.

IV Problématiques technologiques

IV.1 Temps-réel

Les deux paradigmes du temps-réel et du temps-différé (fig. 19) ont longtemps structuré la recherche en informatique musicale. Marqué par le concept d'immédiateté et « la garantie du respect d'une contrainte temporelle préalablement établie » (Barkati 2009) il est intéressant, dans le cadre de ce manuscrit, d'aborder la notion générale du temps-réel en art.

Temps réel	*Temps différé*
modèle de l'instrumentiste	modèle du compositeur
interprétation ou improvisation	partition
éphémère	pérennité
signal	code

Oppositions classiques entre temps réel et temps différé en musique

Fig. 19. Exemple des différences entre temps réel et temps différé proposées par Karim Barkati à la page 30 de sa thèse de doctorat : Entre temps réel et temps différé (Barkati 2009).

Dans le *Dictionnaire des arts médiatiques* élaboré par le Gram (Groupe de recherche en arts médiatiques), de l'université du Québec à Montréal, en 1996, le terme est défini comme une « *modalité temporelle des systèmes de traitement de l'information dans lesquels il n'y a pas de délai entre la sortie d'informations et l'entrée de données, ou, si l'on veut, dans lesquels l'output suit immédiatement l'input. Le temps-réel est caractéristique du mode interactif.* ». Une deuxième partie de cette définition prend en compte plutôt le point de vue du traitement et de la synthèse sonore : *« Certains traitements ou synthèses sonores informatiques exigent trop de calculs pour être effectués en temps réel. On obtient donc le résultat avec un délai qui peut parfois être très long : c'est le "temps différé". Mais la puissance actuelle des ordinateurs est telle que de plus en plus de systèmes de synthèse réagissent en « temps réel », ce qui permet au compositeur d'avoir un contrôle perceptif immédiat et continu de son travail.*».

Curtis Roads écrit en 1998 : « *Certaines techniques de synthèse et de traitement du signal sont gourmandes en calcul et sont ainsi difficiles à réaliser en temps réel. Ceci signifie qu'il existe un retard d'au moins quelques secondes entre le moment où nous commençons à calculer un son et le moment où nous pouvons l'écouter. Un système avec un tel retard est appelé système différé.* » (Roads 1998). Et encore : « *Le rêve du musicien " informatique", dans les années 70,*

c'était une machine capable de générer en même temps des centaines de fréquences sinusoïdales. » (Roads 1992).

On comprend bien qu'au début de la musique informatique la synthèse en temps différé était la seule option possible. Grâce à l'augmentation de la puissance des ordinateurs, des processus informatiques calculables sans délai perceptible sont désormais banals et présents dans la plupart des applications musicales. Pouvoir écouter le résultat d'un paramétrage, d'une programmation ou d'un processus, pouvoir intervenir par des modifications apportées « en direct » en réagissant à ce qu'on entend dans une relation perception/action, engendre la possibilité de rétroactions (*feedback*) par lesquelles l'humain, en modifiant le système en fonction de ce qu'il perçoit devient partie intégrante du système. Ouvrant la voie à des nouvelles pratiques musicales, les systèmes informatiques qui offrent une rétroaction relativement rapide permettent au compositeur une exploration interactive du champ sonore et la mise en place de systèmes flexibles pour l'interprétation, l'improvisation, les installations sonores interactives, la performance.

C'est ainsi que Vaggione clarifie son acte compositionnel. En parlant du passage de la situation d'écriture silencieuse présente dans la composition instrumentale pure à l'audition « concrète » de la composition musicale électroacoustique Vaggione valide le *feedback* entre action et perception comme « propre aux processus musicaux » (Barbanti *et al*. 2004).

En devenant à partir des années '80 un des principaux axes de recherche à l'Ircam, le temps-réel influence ainsi la pensée musicale et compositionnelle, notamment à travers les œuvres de Boulez et Manoury qui en devient un théoricien et un héraut « ... *les systèmes en temps réel offrent désormais une puissance de calcul qui permet d'avoir un contrôle d'une très grande finesse.* » (Manoury 2007).

Des positions différentes et parfois critiques ont été soutenues par d'autres compositeurs, parmi lesquels Jean-Claude Risset (Risset 1999). Défenseur du temps-différé et inquiet surtout de la pérennité des œuvres menacée par l'obsolescence rapide des moyens technologiques en évolution perpétuelle, il soutient : « C'est le travail sur des systèmes hors temps réel qui a abouti à la plupart des innovations concernant le son musical. ». Marco Stroppa s'interroge sur les efforts trop souvent consacrés plutôt à des questions technologiques qu'à des considérations esthétiques et met en évidence l'expressivité musicale réduite produite par les outils en temps réel par rapport aux possibilités du jeu d'un instrumentiste, surtout du point de vue de l'articulation temporelle pendant l'interprétation (Stroppa 1999).

Au-delà de ces diverses positions, dans la plupart des œuvres mixtes réalisées à l'Ircam, le temps-réel et le différé sont utilisés conjointement et ne s'excluent donc pas forcément.

IV.2 Captation gestuelle et instruments augmentés

Dans les recherches menées et les projets réalisés pendant mon parcours doctoral mon champ d'étude a traité de différentes problématiques relatives à la musique mixte : l'interaction interprète-ordinateur, les paradigmes informatiques pour la gestion du temps et de l'interaction, les outils de synchronisation de processus, l'analyse de flux sonores et gestuels, l'extraction ou la structuration automatique de divers types d'informations provenant du signal, le contrôle des paramètres à partir du son instrumental, la recherche sur la question du timbre instrumental et de ses descripteurs numériques. Tout en continuant l'intégration de plusieurs types de technologies informatiques différentes dans les œuvres composées, mon travail a débouché rapidement sur l'intégration d'un autre axe de recherche devenu très important pour le développement de mes créations, celui de la captation gestuelle et de la production d'un dispositif informatique adapté au traitement des gestes et mouvements de l'interprète, pouvant déboucher dans certains cas d'utilisation sur la configuration d'un instrument augmenté.

L'intérêt accru pour les systèmes musicaux interactifs basés sur un contrôle gestuel touche non seulement la musique mais les arts de la scène, les installations interactives et le spectacle vivant dans son ensemble. Il s'agit de recherches à caractère fortement interdisciplinaire intégrant différentes disciplines scientifiques, la physiologie et la biomécanique, les sciences cognitives et les domaines artistiques.

Tout en partant de la reconnaissance, la captation et la modélisation du geste, mon intérêt vers la mise au point de dispositifs interactifs mêlant capteurs gestuels (à base d'accéléromètres, de gyroscopes, boussoles), transducteurs (éléments de haut-parleurs qui mettent en vibration les surfaces contre lesquels ils sont placés et les transforment ainsi en source sonore), objets scéniques résonants, création lumières et spatialisation, a mené à la réalisation de projets de composition mixte élargissant l'utilisation des instruments traditionnels par le biais de l'intégration d'une nouvelle lutherie.

Concernant le développement de systèmes d'analyse du geste pour l'interaction entre interprète et processus sonores, je me suis intéressée principalement à deux types de gestes : les gestes instrumentaux propres à la pratique instrumentale experte et les gestes non instrumentaux, qui n'ont pas une relation directe avec le jeu d'un instrument particulier mais sont aussi bien générateurs d'événements électroniques. Le souhait est de pouvoir faire interagir un instrument acoustique (le piano ou les percussions dans le cas des œuvres présentées) et l'électronique d'une façon plus expressive par une relation étroite avec les gestes instrumentaux tout en ayant un retour sonore directe sur l'instrument.

Dans le système interactif mis en place pour les projets présentés, réalisés en collaboration avec le compositeur et réalisateur en informatique musicale José Miguel Fernández, l'idée d'augmenter les fonctionnalités instrumentales classiques se réalise concrètement par l'intégration aux instruments acoustiques de transducteurs dans le but de produire différents types de sons, à travers les résonances de l'instrument même, avec des traitements électroniques ou des sons synthétiques générés en temps réel. Ces sons électroniques diffusés par les transducteurs sont générés, transformés et pilotés par des capteurs IMU *(Inertial Measurement Unit)* posés sur des gants. Ce dispositif permet une grande diversité de modes de jeu, comme par exemple la possibilité, utilisée dans l'œuvre *Liphyra* (voir exemple fig. 20), de jouer, par les gestes des mains, un piano virtuel conçu selon une intonation microtonale ainsi que pour produire des traitements et de la synthèse en temps réel en jouant directement sur l'instrument, ce qui se rapproche, par le ressenti tactile de l'instrument, d'un système rétroactif.

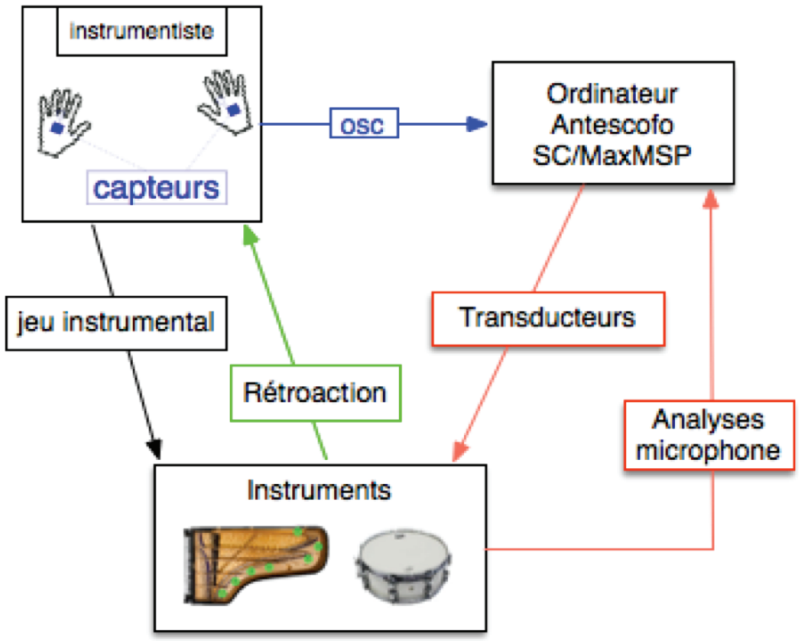


Fig. 20. Schéma général du piano augmenté, les données des mouvements des mains sont utilisés pour piloter la synthèse et les traitements audio à travers le mapping dynamique dans Antescofo. La sortie audio des sons générés est réinjectée vers l'instrument acoustique à travers l'utilisation des transducteurs collés dans la surface du corps résonant.

Une de thématique de recherche qui a beaucoup sollicité mon imagination musicale touche au rôle et à la liberté de l'interprète dans la performance et aux mises en relation directe de son exécution avec le résultat musical souhaité. Cette liaison stricte permet de prendre en compte les possibilités de réponse directe de la machine à laquelle l'instrumentiste pourra s'adapter pour produire une réelle et « totale » interaction live.

L'opportunité de redonner au musicien l'information en temps réel sur l'effort qu'il fait lorsqu'il est en train de jouer un instrument peut être considérée comme essentiel pour qu'il puisse avoir un contrôle très fin du jeu. Claude Cadoz, directeur de l'ACROE à Grenoble (Cadoz 1994), soutient que « *le transducteur gestuel doit être rétroactif (ou à retour de force) pour assurer la fonction ergotique de l'interaction* ». F. Richard Moore (Moore 1987), en citant également Cadoz, dit que « *l'instrumentiste doit recevoir tant le retour sonore que tactile d'un instrument musical de manière synchronisée — autrement il ne sera pas en condition d'apprendre à jouer de cet instrument d'une façon musicale* ».

Il n'est pas inutile à ce stade de rappeler brièvement l'importance considérable du geste humain comme moyen de contrôle, dans et au-delà de la musique.

Les gestes de la main sont un moyen naturel et instinctif de communication que l'homme possède pour interagir avec son environnement. Dans les utilisations les plus variées, ils peuvent être utilisés pour indiquer, manipuler des objets, communiquer, renforcer le significat de la parole, jusqu'à représenter ainsi un langage à part entière avec la langue des signes (Conseil 2008).

Plusieurs définitions de la notion de geste (assimilé ainsi dans sa définition de façon générale à tous les mouvements d'une partie du corps), touchant également à la signification de geste musical et geste instrumental (considéré comme étant un cas particulier du premier, une modalité de communication spécifique au canal gestuel) ont été proposées au fil du temps.

Dans sa définition du geste musical, par exemple, Métois considère le geste comme étant tout ce qui remplit l'espace entre les intentions musicales — cognition, psychologie, musicologie — et les sons musicaux — formes d'onde physique (Métois 1996). Pour Cadoz le geste représente un des canaux de communications les plus riches qui soient. Dans son travail théorique sur le geste instrumental il commence par le définir comme « moyen d'action sur le monde physique et aussi comme moyen de communication informationnelle à double sens : émission et réception d'informations » (Cadoz 1994). Il est utile de rappeler les différents repères théoriques et notamment la notion de geste instrumental proposée par Cadoz, associant à la main différentes fonctions[30].

Le geste comme producteur des sons électroniques existe depuis presque un siècle (Théremin : 1919, Ondes Martenots : 1928). Dans les musiques mixtes et en particulier à l'Ircam les

[30] Dans le domaine des Interfaces Homme-Machine la main peut servir à pointer (pour remplacer la souris), à manipuler des objets (pour la réalité augmentée ou virtuelle), ou à communiquer par gestes avec un ordinateur. Par rapport à la richesse de l'information véhiculée par les gestes de la main, les possibilités de communication avec les ordinateurs sont aujourd'hui réduites avec la souris et le clavier.

recherches commencent dans les années ’80 avec la flûte midi et l’idée du suivi de partition dans laquelle l’électronique suit l’interprétation de l’instrumentiste. Puis à partir des années 2000, avec l’avènement des matériels (*hardware*) spécifiques pour la captation des gestes des musiciens, l’utilisation de ces technologies a commencé à intéresser aussi bien les musiciens que les compositeurs. Aujourd’hui, les mouvements des mains, des doigts, des poignées, des bras ainsi que du corps entier de l'instrumentiste peuvent être mesurés et captés par un ensemble de capteurs embarqués sur le corps, ou en utilisant également la vidéo ainsi que de la captation optique 3D ou à infrarouges. Grâce à différentes méthodes il est possible de mesurer et de modéliser les gestes de l’instrumentiste ; diverses problématiques ont été abordées comme l'apprentissage d’un geste, le contrôle moteur, la caractérisation de modes de jeu en fonction des paramètres sonores et gestuels, l’intégration d’autres gestes et mouvements extra-musicaux ainsi que la modélisation de phénomènes de coarticulation gestuelle.

Parmi les principaux points et les distinctions faites par Cadoz dans le contexte de son travail théorique sur le geste[31], les gestes instrumentaux sont ceux qui produisent le son. Par rapport au « retour instrumental », les actions physiques renvoyées par l’instrument sur son utilisateur sont définies comme la *rétroaction primaire,* essentiellement liée au contrôleur gestuel, et la *rétroaction secondaire* directement liée à la production sonore. La *rétroaction primaire* est constituée du retour *visuel*, *tactilo-kinesthésique* et *auditif primaire*, ce dernier étant le bruit résultant du fonctionnement de l'instrument. Dans le cas d'un instrument à vent, il s'agit du bruit des clés. Quant à la *rétroaction secondaire*, elle est constituée par le « *retour du signal sonore de l'instrument »* aux oreilles du musicien (Cadoz 1988).

À partir de ces considérations Cadoz classifie les gestes instrumentaux en trois groupes : le geste d’*excitation* (fournissant de l’énergie qui se retrouve dans l’onde sonore, comme par exemple, le geste effectué par la main d’un percussionniste) ; le geste de *modulation* (qui modifie les propriétés d’un instrument sans provoquer une énergie qui participe directement au phénomène sonore[32]) ; le geste de *sélection* (qui caractérise un choix entre divers éléments au moment du jeu, comme le geste de sélection des touches d’un piano). Ce dernier est à différencier selon Cadoz, n’ayant pas de communication d’énergie ni modification de l’objet par rapport aux gestes d’excitation et de modulation.

---

[31] Il s’agit des gestes *ergotiques* (liés aux actions matérielles, avec échange d’énergie), des gestes *épistémiques* (utilisés pour l’exploration tactile et la connaissance et perception de l’environnement), des gestes *sémiotiques* liés à l’émission et à la communication d’informations utiles à l’environnement.

[32] Ce type de geste peut être divisé en deux catégories : les gestes de Modulation Paramétrique (entraînant une variation de paramètres continue, comme par exemple ceux de la main gauche d’un violoniste) et les gestes de Modulation Structurelle (qui modifient la structure d’un instrument, comme par exemple le changement de registres d’un orgue à tuyaux).

Par gestes « non instrumentaux », on entends les mouvements dans l'air sans relation directe ou toucher de l'instrument.

Dans un colloque sur les instruments électroniques (DMI de l'anglais *Digital Musical Instruments*), J-C. Risset affirmait : *« le geste de l'instrumentiste n'est pas un geste spontané, mais un geste d'expert, longuement travaillé »* (Wanderley 1997).

Dans des études, par exemple, mettant en relation le geste avec la parole (Rimé et Schiaratura 1991), le geste sémiotique est divisé en différentes sous-catégories, intéressantes pour la classification de certains mouvements utilisés :

- les gestes *iconiques* (Wundt 1973) sont utilisés pour transmettre des informations sur la taille, la forme ou l'orientation de l'objet du discours, tout en décrivant un élément à partir de ses caractéristiques ;
- les gestes de *pantomime* sont des gestes d'imitation pour illustrer l'utilisation d'outils ou d'objets « invisibles » dans la main de l'orateur ;
- les gestes *déictiques*, à usage démonstratif (comme dans les gestes de pointage, ou indiquant la direction de l'attention des auditeurs à des objets et événements spécifiques), sont les gestes les plus souvent utilisés en IHM (Interface Homme Machine) ;
- les gestes *symboliques* sont des gestes ayant assumé un sens unique dans les différentes cultures (comme le geste pour indiquer « OK », par exemple, et même la langue des signes peut rentrer dans cette catégorie).

Dans le contexte de ma recherche un important travail de *mapping* a été réalisé pour transférer ces gestes[33] à la synthèse et traitements sonores avec pour objectif d'utiliser cette expertise instrumentale et de ne pas devoir apprendre un nouvel instrument en partant de zéro comme c'est souvent le cas pour les DMI.

Pour élargir la palette de possibilités gestuelles, j'ai intégré aussi dans mon environnement de travail des modes de jeux sans interaction physique directe avec l'instrument qui rentrent principalement dans les catégories de gestes de *pantomime,* comme, par exemple, le jeu des accords, des *glissandos* du piano dans l'air ou le jeu des percussion virtuelles sans percuter aucun instrument physique. Des gestes *iconiques* ont été également intégrés, comme le mouvement d'inclinaison et orientation des mains, qui n'ont pas, au contraire des gestes de pantomime, de relation avec le jeu instrumental.

[33] Certaines typologies de gestes ont été également prises en compte pour des mouvements extra-musicaux à intégrer dans l'hypothèse d'une réalisation conjuguant la mise en place d'une dramaturgie, pas encore finalisée dans le contexte du portfolio de cette thèse.

Dans la prise en compte des gestes instrumentaux pour la réalisation des œuvres produites, il est possible de les catégoriser de la façon suivante :

- Gestes continus, basés sur des mouvements continus des mains dans l'espace instrumental et dans l'air, associés, d'un point de vue de la programmation informatique, à des procédés de contrôles continus et de détections de seuils. Un exemple de cette typologie est représenté par des *glissandos* dans l'air ou des mouvements continus du percussionniste ou pianiste sur l'instrument sans le toucher.
- Gestes discrets, caractérisés par des mouvements brusques et rapides comme des *kicks* (détection de mouvements rapides), donnés par la dérivée de l'accélération et utilisés comme déclencheurs (triggers).

En ce qui concerne ce type de gestes il est possible repérer également des accords microtonaux joués en l'air dans la pièce *Liphyra* ou des percussions virtuelles ou synthétiques produites par les mouvements des mains dans certaines sections de *Taygeta*. Des mouvements rapides et continus sont ainsi associés à des effets différents (comme des *trémolos*, dont l'exécution peut être arrêtée par un mouvement brusque) ; des *kicks* sont ainsi mis en œuvre en fonction de la position, ou des informations sont transmises par rapport à la position relative des mains des instrumentistes.

Il serait intéressant en vue des œuvres futures de mener également une réflexion sur l'attention aux agogiques (la structure expressive des durées en musique et en parole), à la signification expressive et musicale des gestes, et à la correspondance sonore de ces gestes sur différents plans : le geste de préparation (ou avant-geste) par exemple est aussi un moment expressif qui peut être exploité musicalement ou d'un point de vue théâtral, tout en considérant les différents liens avec des aspects de dramaturgie et mise en espace qui peuvent être prises en compte dans la réalisation de la performance.

IV.3 Capteurs

À travers la réflexion sur les significations et utilisations des gestes je me suis notamment intéressée aux possibilités de développement d'outils fondés sur des capteurs[34] pour l'acquisition et le traitement du geste.

Parmi les différents types de capteurs (optiques, mécaniques, magnétiques, etc.) utilisables en musiques mixtes, nous avons beaucoup travaillé avec des IMU (de l'anglais *Inertial Measurement Unit*) comme les accéléromètres, gyroscopes et magnétomètres, ainsi qu'avec des caméras.

Nous avons décidé d'utiliser les capteurs RiOT (qui mesurent l'ensemble des mouvements impliqués dans un même geste avec 9 degrés de liberté et déterministes) développés à l'Ircam par Emmanuel Fléty et commercialisés par Bitalino[35], de les intégrer dans un gant (fig. 21), et de combiner ces données avec des capteurs indirects (microphones).

Nous avons choisi un système simple, performant, facile à mettre en place lors des concerts et intégrable d'une façon « naturelle » au jeu des instrumentistes sans perturber leur façon de jouer, qui puisse être remplacé facilement dans le futur au cas où ce type spécifique de capteur n'existerait plus (afin de préserver la pérennité de ces œuvres mixtes en regard de l'évolution continue des technologies).

Utilisés par plusieurs musiciens, compositeurs et chercheurs (Laetitia Sonami, Marcelo Wanderley, Pierre Yves Fortier, Michel Waisvisz, Georges Aperghis, Imogen, etc.) les gants s'avèrent être un support très simple et effectif de placement des capteurs IMU, surtout du type accéléromètres et flexion.

Dans le cas des instruments augmentés mis au point pour les pièces présentées, les gants et d'autres modes de positionnement des capteurs sur les mains ont été testés et approuvés par différents musiciens, percussionnistes, pianistes et violonistes.

---

[34] Par capteur on entend un système qui sert à détecter, sous forme de signal souvent électrique, un phénomène physique afin de le représenter. Ils sont les éléments de base des systèmes d'acquisition de données, qui représentent l'interface entre le capteur et l'ordinateur.

[35] URL : http://bitalino.com/en/r-iot-kit

Fig. 21. Exemple de gant intégrant un capteur RioT 9 DOF.

Le RiOT (fig. 22) est un capteur 9 DOF (9 *Degree of Freedom*, trois axes accéléromètres, gyroscopes et magnétomètres) avec un microprocesseur intégré et programmable avec le logiciel Energia, à la façon Arduino. Il intègre un processeur cortex ARM et un module Wi-fi qui envoie de l'OSC directement vers un réseau local. Il intègre aussi par default une implémentation du *Filtre Madgwick* pour fusionner les données des différents capteurs et obtenir les angles d'orientation absolus (*yaw*, *pitch*, *roll*) avec une latence d'environ 5 ms.

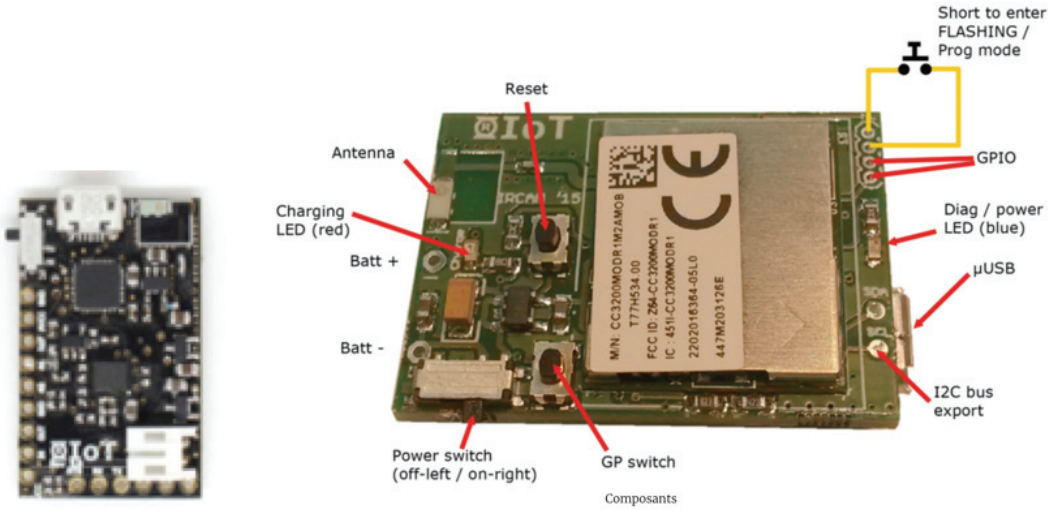


Fig. 22. Bitalino RiOT V3 et IRCAM RiOT V1.

IV.4 Mapping

Le *mapping*[36] dans notre contexte est la relation entre le dispositif de captation gestuel, les capteurs RiOT et le système de synthèse et traitements sonores. Le capteur ou contrôleur gestuel est le dispositif qui génère les données d'entrés vers le dispositif de contrôle générique (Antescofo) qui à son tour servira à créer les différents *mappings* pour piloter et contrôler séquentiellement les synthèses et traitements sonores (fig. 23).

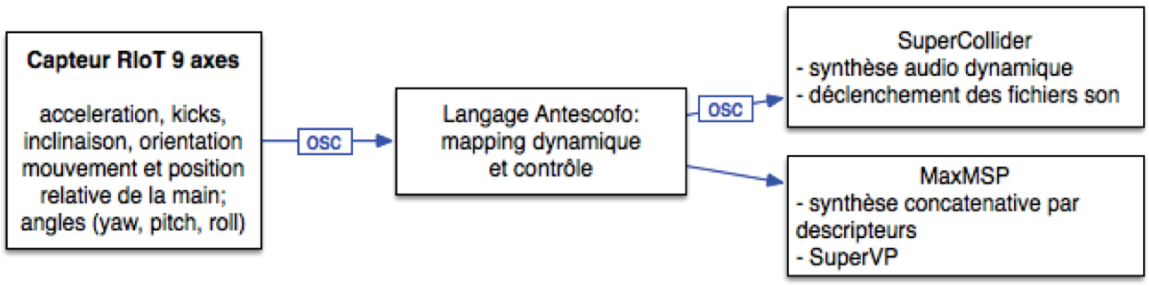


Fig. 23. Représentation du système de captation et mapping. Les données issues des capteurs (déjà prétraitées par le microcontroleur) rentrent directement via OSC dans Antescofo qui fera les mappings vers les synthétiseurs (SuperCollier et MaxMSP) et qui séquencera les événements à déclencher en fonction du déroulement de la partition.

La séparation entre le contrôle gestuel et la génération du son (Miranda et Wanderley 2006) dans les instruments augmentés, à la différence des instruments acoustiques, autorise théoriquement l'utilisation de n'importe quel son en relation avec l'entrée, ce qui permet une grande richesse d'interaction entre son instrumental et sons électroniques générés à partir d'un même geste.

À la différence des systèmes classiques où le son généré via la captation du geste instrumental est découplé de l'instrument (par l'utilisation des haut-parleurs externes à l'instruments), dans le système proposé, le retour du son directement dans l'instrument grâce au couplage instrument/transducteurs confère à l'instrumentiste une relation à l'électronique beaucoup plus directe, expressive et réactive.

Il est possible d'avoir différents types de *mapping*, direct, indirect, dynamique.

En ce qui concerne le *mapping* direct, il faut distinguer entre les contrôles directs unidimensionnels et multidimensionnels :

- Dans les contrôles directs unidimensionnels, la captation gestuelle issue des données des capteurs est "mappée" directement vers un ou plusieurs paramètres d'un synthétiseur. Ces données vont être mises à l'échelle et éventuellement transformées

[36] Mot anglais désignant la mise en cohérence entre deux types d'information, selon la définition sur https://fr.wikipedia.org/wiki/Mapping

par une fonction de *transfert*. Par exemple, le mouvement choisi permet de se déplacer dans un buffer audio (SuperVP[37] ou synthèse granulaire) avec les données d'inclinaison de la main.

- Dans les contrôles directs multidimensionnels, une ou plusieurs données de la captation vont servir à faire des interpolations entre différents états d'un ou plusieurs modules de synthèse (interpolation de *presets*). Par exemple, la vitesse de mouvement de la main va changer toutes les fréquences d'une synthèse additive en fonction des états prédéfinis.

Un *mapping* dynamique est possible également, grâce aux nouvelles fonctionnalités du logiciel Antescofo permettant de changer les *mappings* vers les différentes synthèses et traitements au cours du temps (fig. 24). Par exemple, l'inclinaison de la main droite (avec le gant 9 degrés de liberté) pourra servir dans un premier événement à moduler la fréquence d'une synthèse et dans un deuxième événement pourra servir au même temps à moduler l'intensité d'une modulation en anneau.

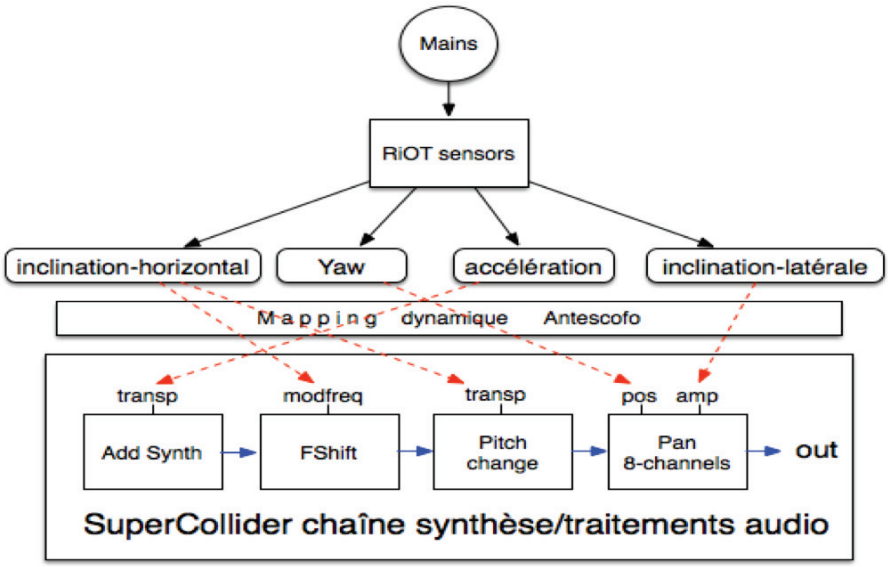


Fig. 24. Exemple de mapping pour le contrôle d'une chaine de synthèse audio dans SuperCollider. Les données de captations sont "mappées" par le langage Antescofo qui instancie et crée les connexions nécessaires pour moduler les paramètres de synthèse et traitements.

[37] *SuperVP* (Super Phase Vocoder, Depalle et Poirot 1991), librairie développée à l'Ircam pour le traitement et l'analyse du son en temps différé et en temps réel, il est basé sur une mise en œuvre du vocodeur de phase (Dolson 1986) en utilisant une représentation interne du spectre de fréquences du son. *SuperVP* fournit un ensemble important d'effets d'élaboration audio de haute qualité (filtrages, dilatation ou compression en gardant ou non les transitoires et la hauteur, transposition en gardant ou non le timbre, etc.).
URL: http://anasynth.ircam.fr/home/software/SuperVP

IV.5 Les logiciels, aspects pratiques

Nous évoquons brièvement ici trois systèmes logiciels qui ont été essentiels pour permettre la réalisation de la partie électronique des pièces mentionnées dans ce travail : Max/MSP, SuperCollider et Antescofo.

L'environnement de programmation Max/MSP

Max est un logiciel musical avec une programmation graphique pour le contrôle en temps réel d'applications musicales et multimédia, inventé à l'Ircam à la fin des années 1980 et développé ensuite par l'entreprise américaine de softwares Cycling '74. Initialement conçu par Miller Puckette (Puckette 1991), en collaboration avec le compositeur Philippe Manoury, comme l'éditeur des patchs permettant de piloter la machine 4X développé à l'Ircam, Max a été baptisé en hommage à Max Mathews, ingénieur électronicien aux *Bell Telephone Laboratories* (pionnier de la synthèse sonore par ordinateur, en développant en 1957 le programme Music I sur un IBM 704). Max permet une programmation visuelle de la synthèse, du traitement et du contrôle du son en temps réel. Le fonctionnement de ce logiciel permet une large palette d'applications : les bibliothèques disponibles dans Max permettent d'appeler des configurations implémentant les principales techniques de synthèse, échantillonnage, filtrage, séquencement, spatialisation, suivi de partition, ainsi que divers types de traitements et contrôle de dispositifs « externes » (connexions Midi, vidéo, robots, éclairages, etc.), fournissant un système interactif programmable majeur dans le cadre de la musique électroacoustique, mixte et des productions multimédia.

MSP (*Max Signal Processing* ou Miller S. Puckette) est une bibliothèque d'objets Max qui permet de travailler en temps réel avec le signal audio (DSP).

SuperCollider

SuperCollider est un langage de programmation créé en 1996 par James McCartney (McCartney 1996, 2002) pour la synthèse audio en temps réel et la composition algorithmique, qui s'est imposé au cours de ses évolutions successives comme un outil essentiel de la recherche musicale (synthèse acoustique) grâce à une architecture client-serveur robuste permettant une programmation interactive et dynamique des chaînes de traitement audio.

Dans le cas des œuvres de ce doctorat, il a été utilisé pour la production de sons de synthèse et de traitements en temps réel, notamment pour la granulation et la spatialisation. Le caractère dynamique de construction des chaines audio s'intègre de façon très naturelle avec le nouveau

langage de programmation Antescofo, avec de nouvelles fonctionnalités (*fonctions, processus*, *objets, dictionnaires)*[38] qui peuvent être instanciées à la volée.
Pour l'utilisation de ces fonctions et l'intégration dans la réalisation des travaux réalisés nous renvoyons à la présentation plus détaillée au chapitre sur les études d'œuvres.

OpenSoundControl

Développé au CNMAT par Adrian Freed et Matt Wright[39], OSC est un protocole de communication conçus pour le contrôle en temps réel et spécifiant un format de transmission de données entre ordinateurs, synthétiseurs et autres appareils multimédia (Schmeder, Freed et Wessel 2010). L'utilisation d'OSC dans notre travail a été essentielle pour la transmission des différents évènements entre Max/MSP et SuperCollider (contrôlés tous deux par Antescofo).

Le suivi de partition : Antescofo

Dans la mise en œuvre des pièces contemporaines associant instrumentation classique et électronique, le suivi de partition a été un des axes de recherche les plus explorés depuis les années 80 à l'Ircam. Cette technique a été développée afin que la partie électronique dans une composition mixte soit interprétée par l'ordinateur d'une façon active et que l'interprète puisse garder la flexibilité agogique du phrasé propre à son interprétation. Ainsi l'interprète n'est plus soumis à la rigidité mécanique d'une bande préenregistrée.
Depuis l'apparition des premiers systèmes de suivi de partition différentes technologies ont pu être utilisées : suivi de signaux MIDI, analyse du signal audio avec l'extraction de hauteurs, alignement audio-audio, etc. Plus récemment, le couplage de techniques d'apprentissage automatique et de techniques informatiques issues de la communauté temps-réel ont fait du logiciel Antescofo une référence dans le domaine.
Développé à l'Ircam au sein du projet MuTAnt, commun à l'Ircam, Inria et le CNRS, dans l'équipe Représentations Musicales, le projet Antescofo a été démarré en 2007 par Arshia Cont, pour la pièce *Of Silence* de Marco Stroppa pour saxophone alto et électronique en temps réel. En s'appuyant sur des techniques informatiques avancées, il a fourni de nouvelles possibilités d'interaction entre ordinateurs et instrumentistes, rendant possible un véritable dialogue entre

[38] Dans le cadre de ces développements voir les travaux compositionnels et de recherche développés par José M. Fernández (URL : https://medias.ircam.fr/x0c8bba) et Julia Blondeau (Blondeau 2017).
[39] Pour la communication entre les éléments est disponible le document en ligne http://opensoundcontrol.org/files/OSC_in_SC_Server.pdf

les deux, tout en permettant une synchronisation temporelle et dynamique plus fine et en améliorant en termes d'expressivité les outils à disposition des compositeurs de musique mixte.

Antescofo, concrétisé sous la forme d'un objet Max, n'est plus confiné, à la différence des autres systèmes, à suivre une partition et déclencher des événements mais prend en compte la dimension temporelle du suivi et peut déduire un tempo « courant », c'est à dire une estimation du tempo « actuel » auquel l'instrumentiste joue. Ceci va permettre d'avoir une électronique « adaptative ou élastique » qui se synchronise à l'interprète d'une façon dynamique (fig. 25). À différence d'anciens systèmes, la partie électronique n'est plus un esclave de l'interprète perçu à travers des événements discrets, mais peut interagir d'une manière plus vivantes et réactive grâce à cette information de tempo.

Plusieurs pièces ont été créées avec ce système depuis sa création ainsi que d'autres plus anciennes qui ont été adaptées.

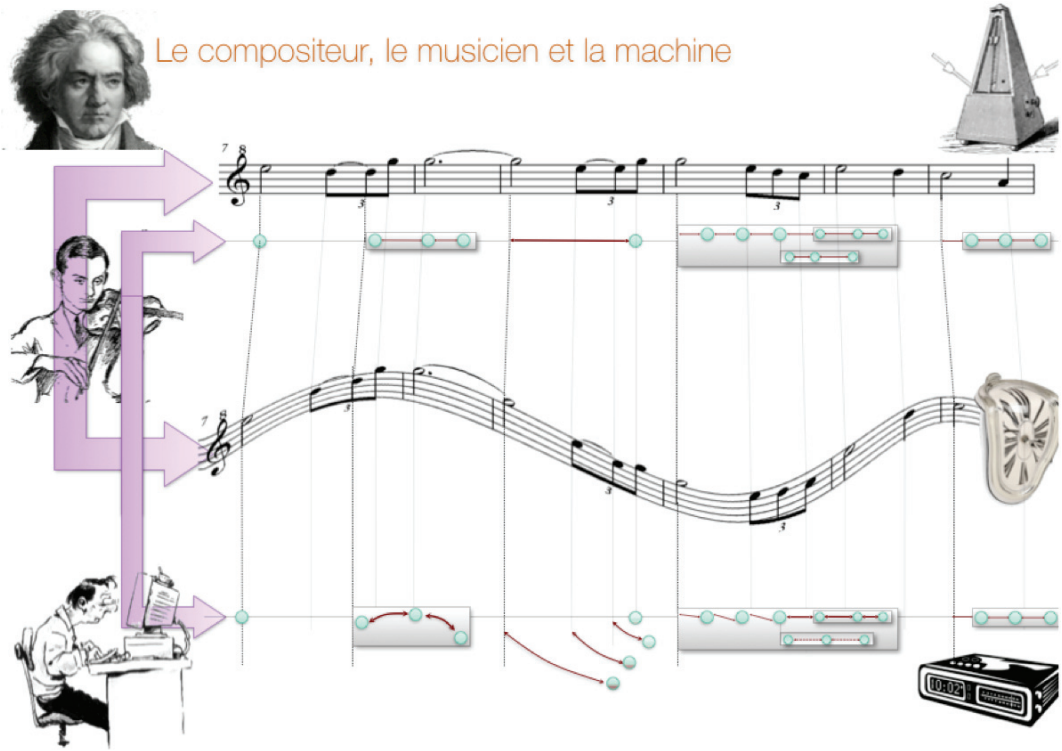


Fig. 25. Présentation des relations entre les différents temps qui interviennent dans le cadre d'une œuvre de musique mixte : le temps écrit de la partition, le temps interprété de la performance et le temps de l'électronique. Le système Antescofo pemet de définir comment adapter le temps écrit de l'électronique en fonction de l'interprétation (Jean-Louis Giavitto au Colloque « État de l'art/état d'alerte » organisé par Philippe Manoury le 6 juin 2017 au Collège de France).

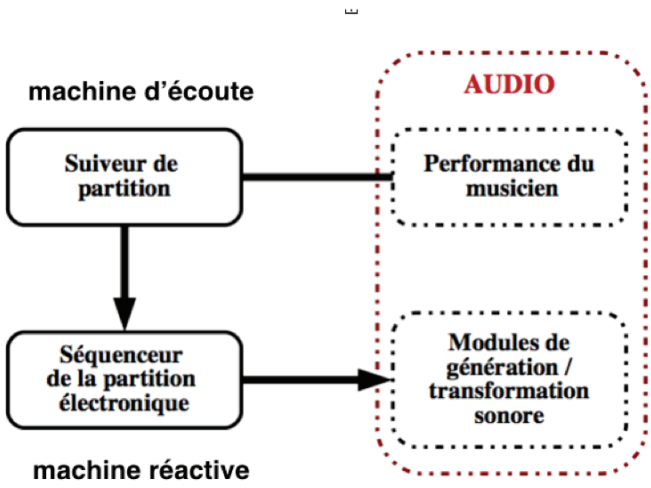


Fig. 26. Fonctionnement de la machine d'écoute.

Selon la description donnée par Arshia Cont, Florent Jacquemard & Pierre-Olivier Gaumin[40] (voir exemple fig. 26) :

« *Dans sa version actuelle, Antescofo est constitué essentiellement de deux modules :*

- *Le premier est une machine d'écoute artificielle qui extrait en temps réel du signal audio produit par les musiciens, les paramètres musicaux qui sont nécessaires à l'interprétation par ordinateur de la partie électronique. Parmi ces paramètres, on trouve en particulier le tempo courant et la position dans la partition. La machine d'écoute combine des techniques avancées de traitement du signal et d'apprentissage automatique dans un système multi-agents, où les processus de détection du tempo et de la position travaillent en collaboration et en compétition à chaque instant. Pour la détection du tempo, le système s'appuie sur un modèle du processus cognitif de la synchronisation musicale entre plusieurs interprètes basé sur le phénomène de « sympathie des horloges ».*
- *Le second module d'Antescofo est un séquenceur, qui reçoit en entrée les informations fournies par la machine d'écoute, et se charge de la coordination en temps réel d'actions électroniques avec le jeu de l'instrumentiste. En d'autres termes, connaissant les partitions respectives de l'électronique et de l'instrumentiste, et étant informé à chaque instant du tempo et la position de ce dernier, le séquenceur répond en lançant les actions décrites dans la partie électronique, en respectant les délais spécifiés. […]* »

[40] URL : https://interstices.info/antescofo-a-lavant-garde-de-linformatique-musicale/

Prenant en compte l'imprévisibilité des actions, l'interprétation du musicien et la possibilité de rattrapage d'erreurs lorsque l'interprète ou la machine d'écoute manquent des notes, ce système réactif et synchrone (qui intègre également un langage de programmation pour la spécification de processus temporels), a rendu possible une écriture des parties électroniques (traitements, processus, multitemporalités, production de sons de synthèse, spatialisation) et également des évènements non musicaux comme le contrôle des lumières, de la vidéo, dispositifs motorisés et d'autres éléments visuels et scénographiques (pour l'utilisation dans le contexte des œuvres présentées pour cette thèse, voir la dernière partie de ce manuscrit).

Un langage de programmation du temps pour l'interaction

Les environnements de traitements et synthèse audio tels que Max, Pd, SuperCollider même s'ils sont flexibles et modulaires ne possèdent pas des notions de structure temporelles. Il s'agit d'un ensemble des « boites noires » avec des inputs/outputs qui sont activées et paramétrées par des *cues-list* (événements discrets) ou *presets*.

Si bien des programmes existent pour gérer la temporalité dans ces systèmes, comme les objets Max *detonate*, *note~*, *bach*, *rs.delos* et autres *timelines* OSC par exemple, ou encore Max4Live ou le système de Patterns dans SuperCollider, ceux-ci restent peu flexibles et ne fonctionnent pas à partir d'une partition électronique centralisée et encore moins en interaction étroite avec un instrumentiste grâce à un système de suivi de partition avec détection de hauteurs et tempo.

Le langage de programmation Antescofo permet de programmer des événements dans différentes temporalités (temps absolus et temps relatifs) de façon souple et polyphonique. Avec l'addition de structures de données, comme les tableaux et les dictionnaires, et de structures de contrôle, comme les processus dynamiques, il est possible aujourd'hui programmer des événements d'une façon plus expressive dans un langage de programmation textuel que ce que permettent les langages visuels cités précédemment.

Antescofo/SuperCollider

Dans le choix d'utiliser le logiciel SuperCollider dans les productions informatiques réalisées avec J.M. Fernández, un des principaux avantages dans l'association de ces systèmes est le dynamisme : il est possible créer, détruire et modifier des processus audio à la volée, ce qui est beaucoup plus cohérent avec les processus dans Antescofo. De cette façon toutes les chaînes de traitements audio peuvent être crées et modifiées en temps réel dans un environnement dynamique.

Séparation entre le moteur de rendu audio et l'interface graphique (GUI)[41]

Dans SuperCollider les interfaces graphiques sont séparées du moteur audio, caractéristique qui lui donne une grande stabilité et performance (optimisation des ressources dans la gestion de la partie graphique).

Le moteur de rendu audio (le serveur) est indépendant de toute interface graphique et contrôlé par des messages OSC (dans le cas des travaux présentés pour cette thèse il s'agit des messages crées dans le langage Antescofo).

[41] *Graphical user interface* est un dispositif de dialogue homme-machine mise en œuvre par un ensemble de logiciels permettant à l'usager une manipulation physique des objets dessinés sous forme de représentation graphique schématique. URL : https://fr.wikipedia.org/wiki/Interface_graphique.

V Dispositifs et créations

V.1. Le score-following : *Raggi di stringhe*.

Mes recherches sur les systèmes synchrones trouvent leur origine dans l'idée de composer une œuvre pour violon et électronique où le jeu instrumental pouvait être directement suivi tout en permettant une expression concise et une exécution efficace des actions électroniques jouées par l'ordinateur en temps réel.

Le travail réalisé dans cette pièce synthétise plusieurs aspects de ma recherche décrits dans différentes parties de ce texte, s'attachant aux outils de synchronisation de l'électronique en temps réel et différé, aux systèmes informatiques pour la gestion du temps et de l'interaction, à l'analyse des signaux de flux sonores, au contrôle des paramètres à partir du son instrumental, à divers types de traitement des dynamiques timbrales et à différentes problématiques liées à l'interaction interprète-ordinateur.

Un travail de recherche sur la possibilité de reconnaissance des différents modes de jeu du violon à intégrer dans un système de suivi de partition basé sur le langage Antescofo a également motivé la conception musicale et technique de l'œuvre. Mais dans sa première création cette partie du travail n'avait pas complétement abouti, par manque de temps (les développements musicaux envisagés nécessitaient l'élaboration de nouveaux modules de suivi impliquant plusieurs tests menant à la mise en place d'un système plus robuste, ce qui excédait les enjeux initiaux de l'expérimentation de l'œuvre). Certains éléments d'écriture instrumentale complexe (comme les notes répétées au début de l'œuvre, ou des sons en *glissando* articulés « avec fluidité » dans des figures rythmiques, ou certaines sonorités distordues) ont suscité toute une série de réflexions et d'approfondissements sur lesquels les chercheurs de l'équipe[42] et le réalisateur en informatique musicale J.M. Fernández, avec lequel j'ai réalisé la partie électronique, ont continué à avancer par la suite pour mettre au point de nouvelles solutions et stratégies de programmation.

Le titre de la pièce fait référence à la théorie des cordes selon laquelle les particules qui composent tout dans l'univers sont constituées par des « brins » d'énergie vibrante, appelés cordes (*stringhe*). De façon analogue aux différents modes de vibration des cordes d'un

[42] L'équipe-projet Inria-Ircam-CNRS MuTAnt, au sein de l'équipe Représentations Musicales de l'Ircam, constituée autour du système Antescofo, mobilisait outre Arshia Cont (Ircam), Jean-louis Giavitto (CNRS), José Echeveste (doctorant) et Philippe Cuvillier (doctorant).

instrument à cordes, les diverses vibrations de ces minuscules *stringhe* donnent aux particules leurs caractères distinctifs et, vibrant constamment, « jouent » les caractéristiques de chaque particule, menant ainsi à l'hypothèse que toutes ces particules vibrées puissent être considérées comme des manifestations différentes d'une unité fondamentale.

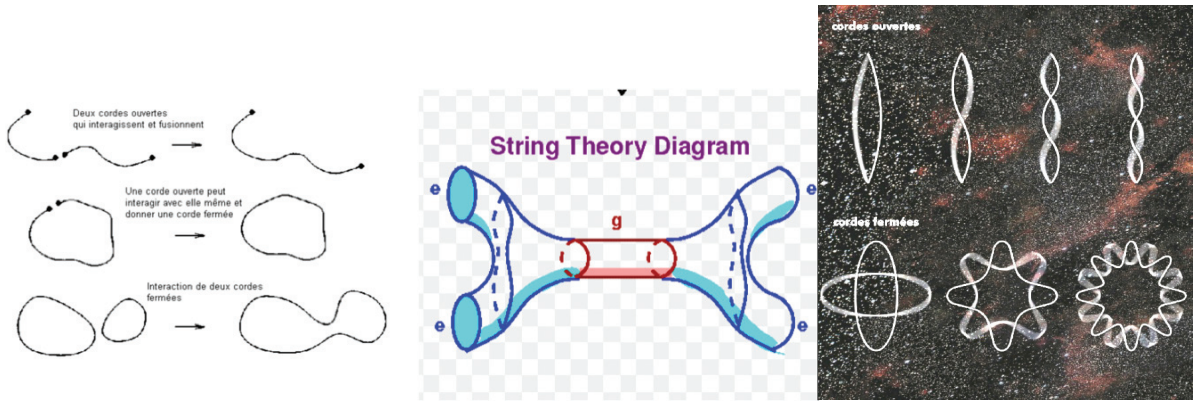


Fig. 27. Quelques diagrammes illustrant la notion de corde.

Les diagrammes de la fig. 27 illustrant l'oscillation de ces cordes pouvant être ouvertes, fermées, qui interagissent et se croisent, créant de nouvelles *stringhe* (qui pourront à leur tour se diviser en produisant d'autres formes et vibrations), ont largement inspiré la composition de la pièce. Les différentes possibilités de fusion, prolifération, fractionnement, scission sont illustrées métaphoriquement à travers l'écriture de deux parties (instrumentale et électronique) conçues de façon organique et unitaire, tout en cherchant une véritable fusion entre ces deux univers différents. Dans une relation d'influence réciproque constante et à travers une dynamique faite d'actions et réactions, détections et réponses, l'électronique, en tant que partie intégrante du discours musical, est conçue comme un complément à l'écriture instrumentale et aux possibilités sonores de l'instrument.

L'électronique est également approchée comme un enveloppement "électroacoustique" du son du violon à travers des sons de synthèse. J'ai fortement recherché dans la pièce cette diversité et complémentarité entre la coexistence des sons instrumentaux, les sons issus des traitements et les sons électroniques, pour créer un dialogue et un mélange des différents univers sonores, et connecter des mondes distincts, divers et complémentaires, grâce à différentes techniques (en temps réel et différé) qui sont discutées et illustrées dans ce chapitre.

La réalisation informatique a eu comme point de départ l'intégration d'un système de suivi de partition ainsi que des outils pour obtenir différentes possibilités d'analyse du son instrumental et une description de ses paramètres et caractéristiques à travers des descripteurs pour réaliser et contrôler différents types de traitement en temps réel et la synthèse (voir exemples figures 28 et 29).

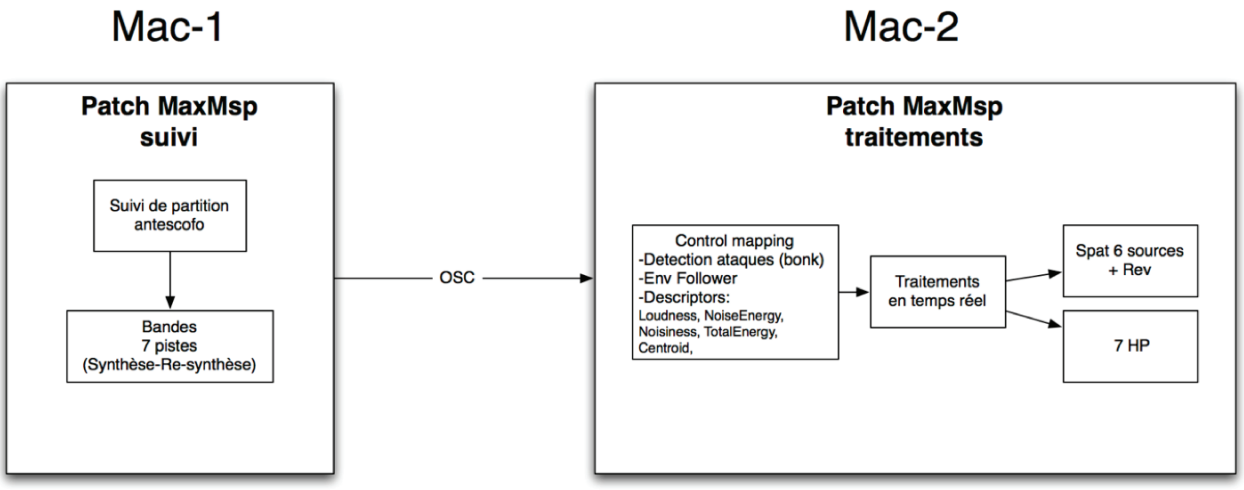


Fig. 28. L'ordinateur Mac-1 avec le suivi de partition Antescofo, déclenche des fichiers audio multicanaux et contrôle l'ordinateur Mac-2 avec les traitements en temps réel.

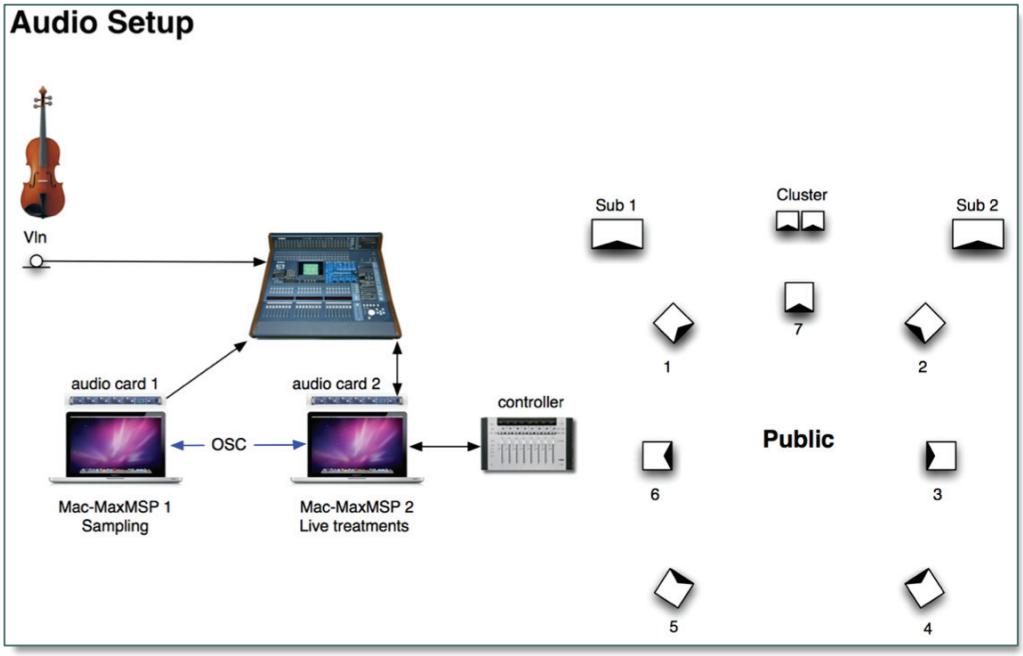


Fig. 29. Schéma technique du setup de la pièce.

Le parcours sonore et formel de *Raggi di stringhe*, qui se déploie à travers cinq sections générales, est lié notamment à la recherche de différentes possibilités d'interaction entre le son du violon et l'écriture de l'électronique à travers une attention particulière portée sur les réactions et les transformations du son de l'instrument.

L'intention de refléter les détails de l'articulation rythmique du jeu instrumental, souvent très virtuose, trouve une correspondance directe dans l'écriture de la partie électronique, conçue d'une façon très méticuleuse, dans un échange continu de réactions réciproques établissant la directionnalité et l'énergie de l'œuvre.

Chaque section de l'œuvre (structurée par des sous-sections internes et des transitions amenées par des éléments se transformant et assumant des caractéristiques contrastantes) est caractérisée par une utilisation différente de l'électronique qui varie, dans sa fonctionnalité et dans son développement, tout au long de la pièce. La figure 30 décrit les différents types de traitement employés dans les diverses parties de la pièce.

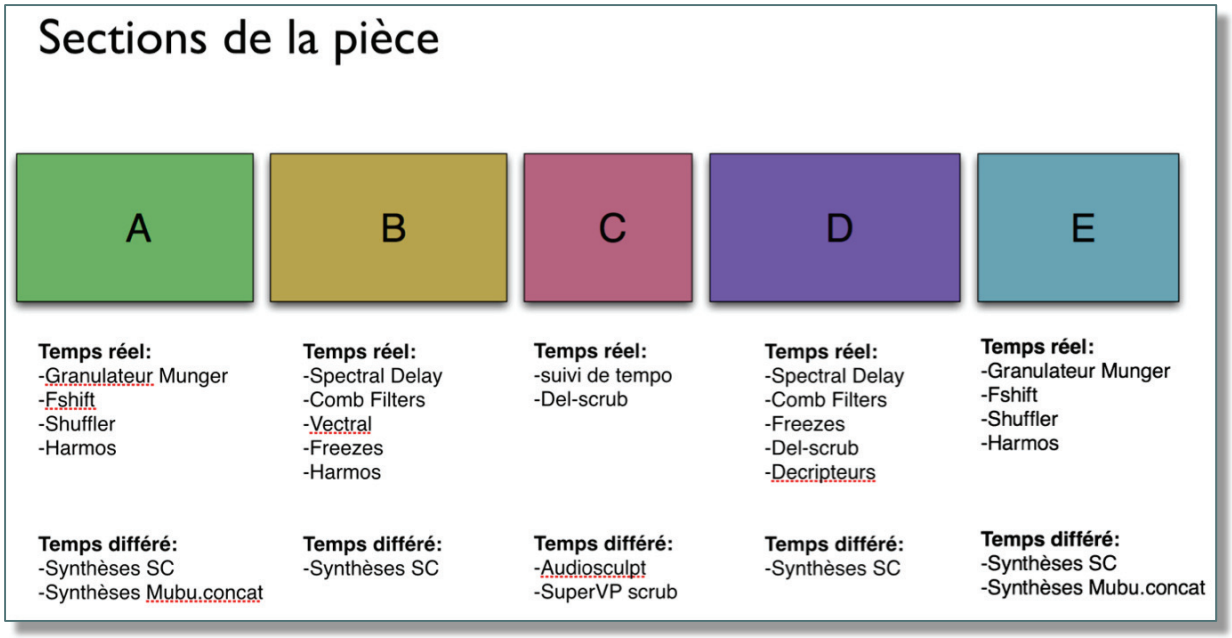


Fig. 30. Représentation des traitements électroniques correspondants aux différentes sections de la pièce.

J'ai imaginé la composition de certaines sections en particulier avec un jeu instrumental morphologiquement changeant, dans l'objectif de tester un matériel musical diversifié pour obtenir des réponses et résultats qui pouvaient faire réagir et avancer le système en cours d'expérimentation dans les directions souhaitées.

En plus de la problématique de la synchronisation, ne se limitant pas seulement à de nombreux déclenchements d'événements proches ni à la seule prise en compte des hauteurs ou du tempo, j'ai travaillé l'écriture instrumentale de sorte à assurer un meilleur suivi de divers effets tout en préservant le résultat visé. Il a ainsi été nécessaire de s'interroger sur certains éléments de mon écriture rythmique, comme par exemple les *acciaccature*, souvent utilisées pour anticiper des figures rythmiques en augmentant également la durée des cellules auxquelles elles se réfèrent ou ayant fonction d'accélérer certains gestes rythmiques à l'intérieur de la pulsation régulière établie. La nécessité d'un questionnement sur la notation pour intégrer les informations nécessaires au système de suivi a représenté ainsi un champ intéressant de réflexion pouvant mener à une nouvelle modalité de conception et réalisation de l'écriture rythmique. L'exemple

donné à la figure 31 relatif à la dernière section de la pièce représente, par exemple, une solution efficace pour donner un rythme et une hauteur d'arrivée finale au *glissando* avec une note en *acciaccatura*, tout en permettant la détection et le suivi du tempo pour les articulations suivantes du geste musical instrumental. Cette stratégie d'écriture m'a permis de garder une fluidité rythmique, au caractère irrégulier et imprévisible (*i.e.*, non codé dans une pulsation figée), déclenchant une partition électronique écrite d'une façon « chirurgicale » demandant une très grande efficacité de suivi et de synchronisation.

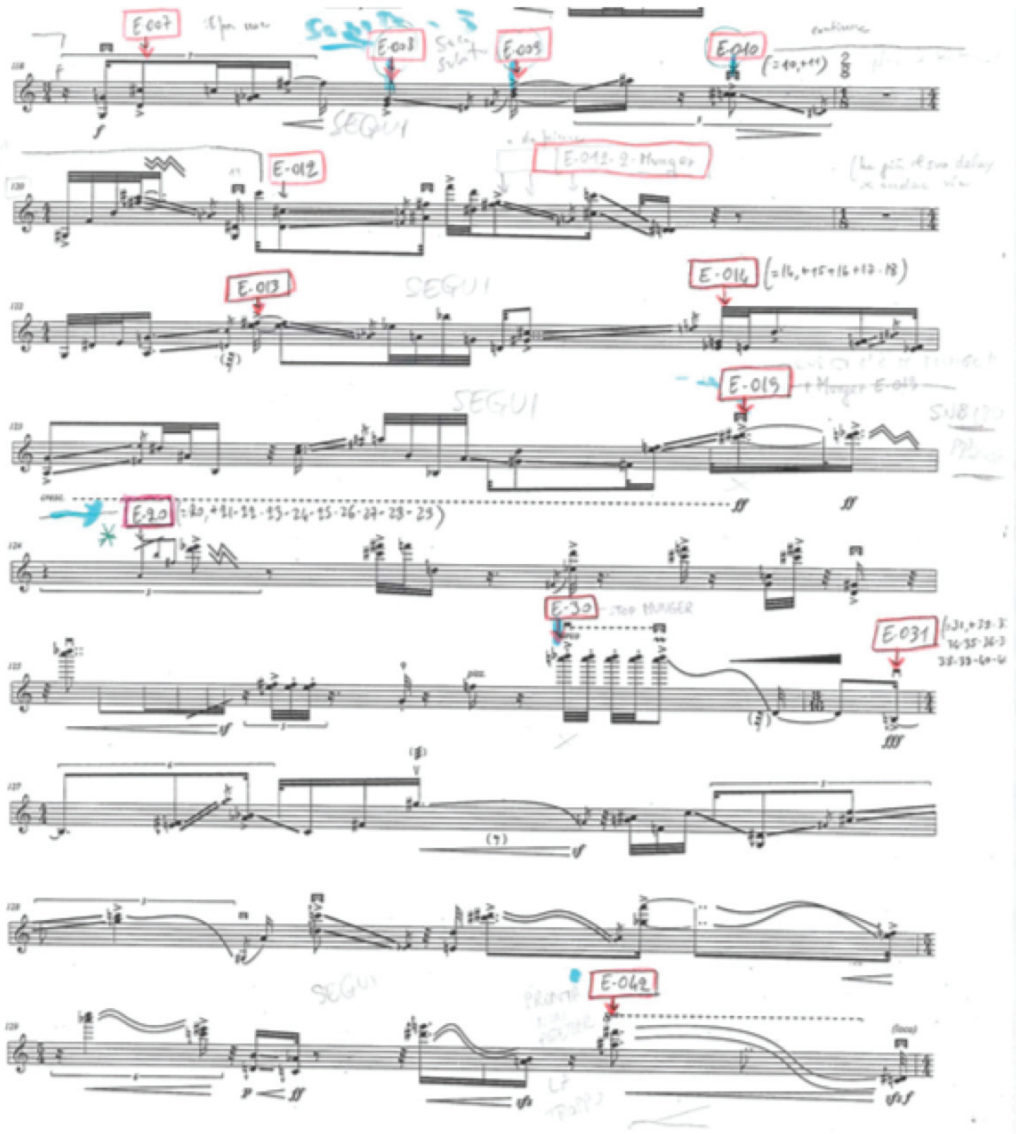


Fig. 31. Fragment de la section finale de Raggi di stringhe. *Partition de travail de la compositrice.*

La section initiale, au profil très rythmique, débute avec des notes répétées, une articulation constante de la pulsation, au départ régulière et s'enrichissant progressivement de gestes et de modes de jeu (jeté, *glissando* en jeté, *glissando* avec un effet d'écrasé) et de dynamiques temporelles variées. Cette pulsation se développe graduellement et se transforme jusqu'à sa

prolifération dans des figures plus articulées et progressivement plus fluides, “liquides”, horizontales et continues, à travers une expansion de l’espace acoustique qui touche les différents registres et couleurs de l’instrument. Les effets répondant aux différentes propositions de la partie instrumentale sont un granulateur (le *munger*), un *shuffler* (un type de granulateur avec des enveloppes déterminées), un *frequency shifter* et un *harmonizer*, ainsi que des sons réalisés en temps différé nécessaires pour ponctuer le discours musical à certains moments d’articulation des phrases – et obtenus, par exemple, avec de la synthèse concaténative (fig. 32).

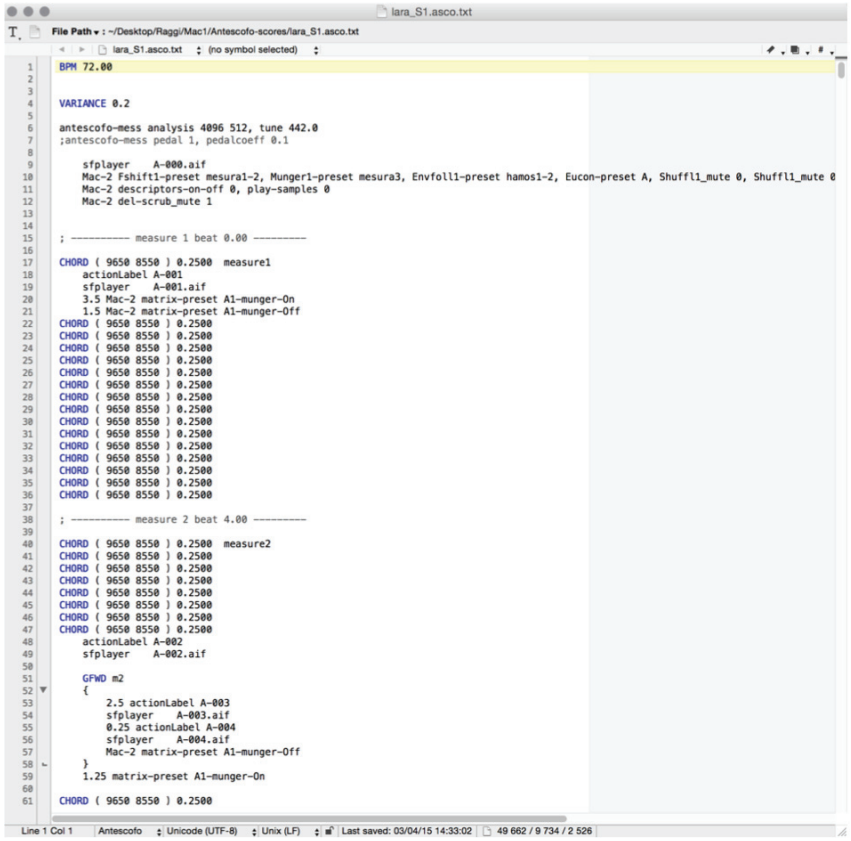


Fig. 32. Programmation des premières deux mesures de Raggi di stringhe *en Antescofo.*

À partir d’un travail d’analyse spectrale, et en utilisant également certains échantillons enregistrés du violon, il a été aussi possible dans cette section de développer dans le logiciel SuperCollider des patches pour obtenir des resynthèses et des trames spectrales.

Dans la deuxième section, plus introspective, expressive et suspendue, la recherche timbrale instrumentale trouve son extension dans les types de traitements utilisés.

La couleur recherchée a été étroitement imaginée en liaison avec les traitements en temps réel employés et testés dans des phases de travail en studio, simultanément à l’évolution de l’écriture de la partie instrumentale, représentant ainsi pour moi une véritable composition mixte à part entière. Parmi les différentes solutions évaluées, par exemple, grâce à l’alternance

entre des sons normaux et des sons effleurés (qui produisent des harmoniques naturelles aigues), j'ai obtenu des sonorités ambiguës et fluctuantes, soulignées par l'électronique mettant en évidence une oscillation constante de la couleur instrumentale, tout en créant des trames sonores plus continues, indéfinies et changeantes.

Les traitements en temps réel mis en place pour la section décrite sont le *spectral delay* (sur lequel il est possible de sélectionner des parties du spectre où appliquer le retard), le *comb filter* (basé sur des banques des filtres en peigne), le *vectral* (interpolation spectrale), des *freezes*, *harmonizer* etc. Ces sonorités s'associent aux synthèses produites dans SuperCollider.

J'ai imaginé une représentation visuelle de modèles de *stringhe* qui parfois se réunissent en changeant de dimension et de forme. Cette représentation qui guide la composition est cependant virtuelle dans le concert qui reste un spectacle purement musical.

Sont présents beaucoup de *glissandos* 'soufflés', jetés *col legno* et autres modes de jeu qui se succèdent et alternent jusqu'à composer une image de plus en plus articulée et nerveuse, évoluant et se transformant pour conduire vers la section suivante, directement enchainée.

Cette section a été réalisée pour mettre en place et tester certaines possibilités expérimentales d'Antescofo avec l'équipe de recherche. Par l'écriture de pages caractérisées par l'instabilité du tempo, obtenue à travers de nombreux *accelerandos* et *rallentandos,* interprétées librement par le musicien sur des figures rythmiques de demi-croches apparemment égales, l'électronique doit suivre le profil, la hauteur et la vitesse du jeu de l'interprète (voir exemple fig. 33), s'adaptant à l'élasticité rythmique de l'exécution et déclenchant les événements au bon moment.

Je voulais travailler sur cette idée de déformation du temps en donnant vie à une véritable polyphonie de voix, de directionnalités, de temporalités et de traitements.

Parmi les traitements utilisés dans ce passage de la pièce on peut remarquer le *delay-scrub,* qui permet une relecture en temps réel à différentes vitesses des fragments joués par le violon, tout en créant un épaisseur et un entrelacement de lignes de même couleur et matière autour de l'instrument. À ce type de traitement est associée une réverbération et la synchronisation de divers fichiers son, coïncidant avec des moments culminants de l'articulation formelle.

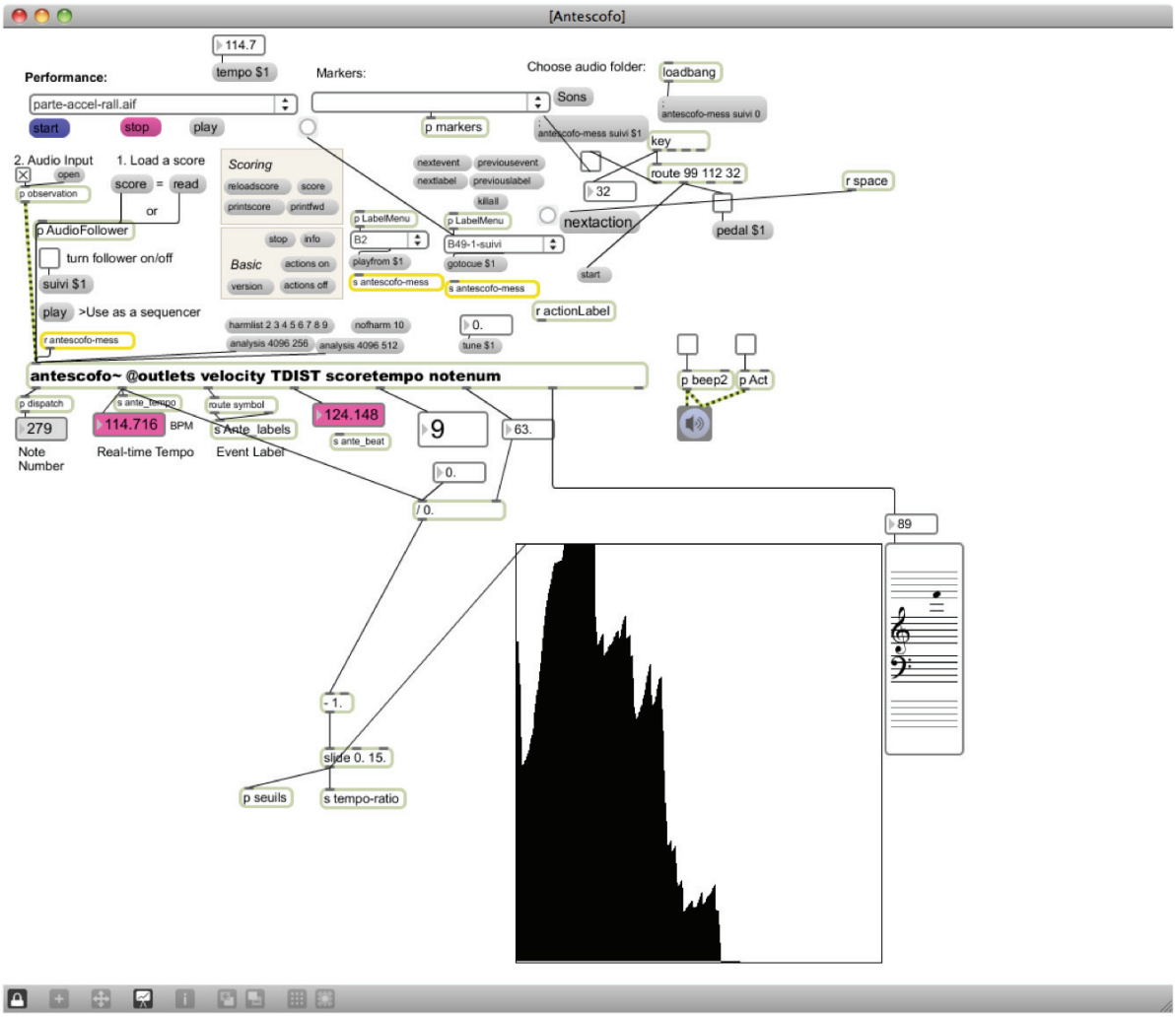


Fig. 33. Patch pour calculer le ratio du tempo entre le tempo du jeu instrumental en temps réel et le tempo écrit dans la partition.

Dans la quatrième section j'ai utilisé pour le violon une écriture basée sur une oscillation continue de la sonorité entre le *tasto* et le *ponticello*, combinée à des trilles doubles entre des harmoniques et des effets de *glissando* lent où la pression de l'archet augmente jusqu'à la distorsion de la hauteur perçue. Divers traitements par rapport à l'harmonicité, l'énergie, la brillance, le bruit, la fréquence fondamentale sont lancés (fig. 34). Ces types de traitement réalisent une partie très raréfiée et suspendue, dans un processus en transformation continue qui se reconstruit en se densifiant progressivement pour devenir l'élan vers la section suivante.

La section finale de la pièce représente le moment culminant de l'énergie et de l'intensité ainsi que de la densité dans les superpositions et dans l'interaction entre les son instrumentaux et les sons électroniques, avec une correspondance « capillaire » entre ces derniers, presque « chirurgicale », d'une stricte correspondance et complémentarité.

Ces éléments rythmiques sont associés à des modes de jeu, comme des *glissandos* à vitesse variable (qui servent à déstabiliser continument la pulsation métrique/rythmique de base) ou des

sons aigus écrasés, qui trouvent correspondance dans un mélange de sons électroniques bruités, percussifs et résonants à la fois.

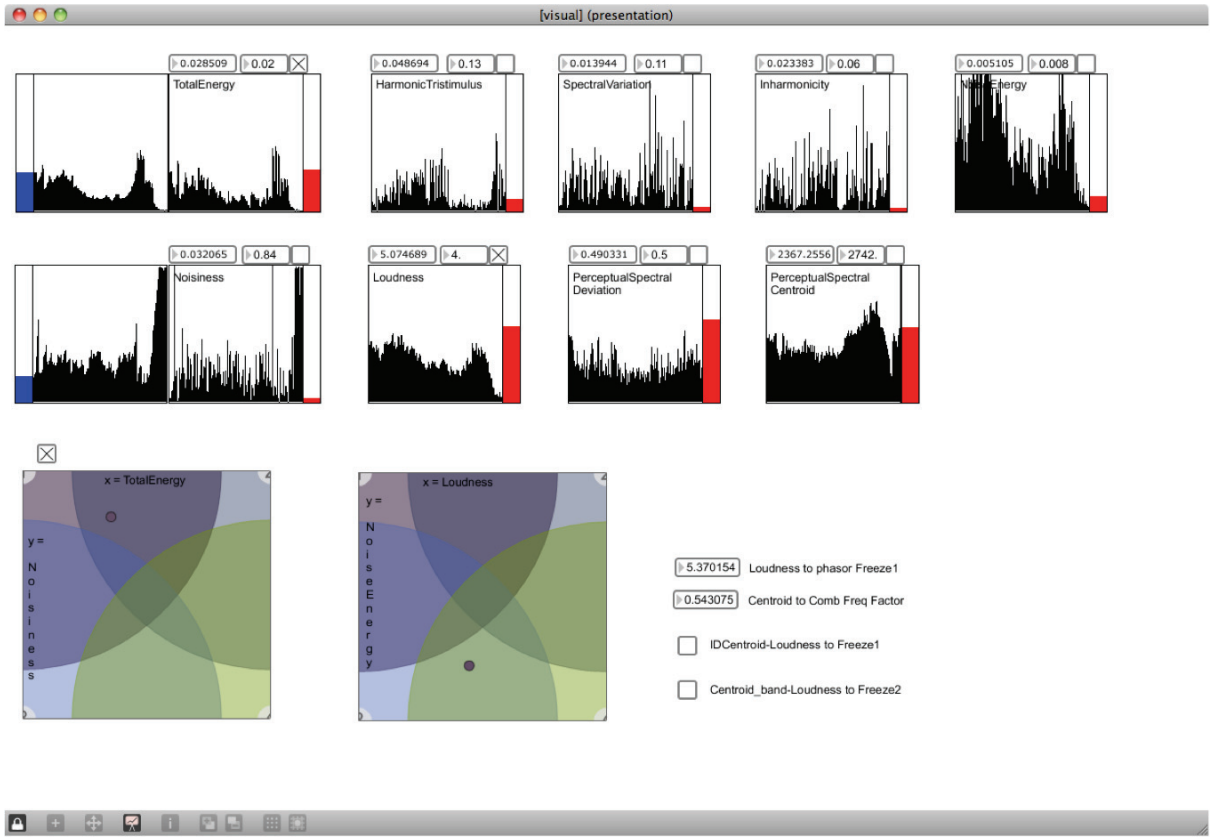


Fig. 34. Représentation graphique des différents descripteurs audio ; en bas, le couplage entre deux descripteurs pour le contrôle d'interpolation des paramètres.

Grâce à l'avancement concomitant des recherches sur Antescofo il a été possible lors des diverses reprises de l'œuvre en concert tout au long de la formation doctorale (notamment à l'occasion d'un concert organisé à l'Istituto Italiano di Cultura à Strasbourg le 25 février 2017, dans le cycle de concerts « Tracce… di Lara Morciano »), d'étendre le suivi à certains passages pour lesquels il n'était pas assez fiable initialement. Dans la dernière section de la pièce (fig. 35), par exemple, il a ainsi été possible de suivre correctement les modes de jeu en *glissando* (cf. fig. 31), en prenant en compte chaque état intermédiaire de la succession jusqu'à la note d'arrivé (auparavant, il était nécessaire pour cette partie de synchroniser les événements à la main, tâche très ardue compte tenu de la densité rythmique). Le travail mené par les chercheurs en interaction constante avec la création a ainsi rendu possible la réalisation d'idées musicales considérées utopiques jusque-là.

L'étude du principe de modélisation anticipative théorisé par A. Cont (Cont 2011), dans ses évolutions et intégrations successives (Echeveste 2015) semble nous fournir désormais un langage plus fiable et robuste, et certaines nouvelles possibilités pourront être approfondies à

l'occasion de la reprise de la pièce pour le concert qui sera donné par Hae-Sun Kang à la Philarmonie de Paris le 14 décembre 2018. Je souhaite ainsi reprendre des tests sur la première section de l'œuvre, caractérisée par des successions de notes répétées et plusieurs modes de jeu donnant lieu à une prolifération d'éléments dans l'écriture électronique, passage qui posait encore des problèmes difficiles à la machine d'écoute.

Il semble toutefois qu'il n'est pas toujours possible de détecter en temps réel des modes de jeu complexes uniquement à partir des informations spectrales et de tempo, comme le fait habituellement le suiveur d'Antescofo. L'approche suivie par Antescofo reste celle d'un alignement de l'audio à une représentation symbolique de la partition. Pour ce faire le système utilise une information spectrale issue du signal et une information temporelle. Par rapport à nos premiers travaux, les améliorations du système de suivi ont surtout porté sur le modèle temporel permettant une prise en compte plus pertinente des durées et une inférence plus efficace et plus pertinente du tempo. Par ailleurs, le langage permettant d'exprimer les actions électroniques et leurs synchronisations avec les musiciens a très largement évolué, offrant de nouvelles possibilités et une gestion plus fine des stratégies de synchronisation.

Bien que beaucoup des problématiques posées à l'origine de ce système ont reçu des réponses satisfaisantes, de nombreuses et complexes questions restent encore ouvertes et je continue d'échanger avec Jean-Louis Giavitto qui développe la partie langage à l'Ircam (Giavitto 2014).

La technologie propose plusieurs pistes pour augmenter la robustesse du suivi, pour étendre l'analyse du signal (par exemple pour détecter des modes de jeux contemporains), pour généraliser le suivi à une écoute multimodale (par exemple pour intégrer le geste**)** ou multi-objectifs (pour intégrer des descripteurs multidimensionnels). Ces développements ouvriraient de nouvelles possibilités d'écriture et mériteraient d'être soutenus au regard des résultats déjà acquis.

Le rapport avec l'espace a été imaginé et réalisé dans la pièce en relation à certains aspects de l'écriture rythmique ainsi qu'à la dynamique et aux accents. Les trajectoires sonores, les gestes musicaux et tous les matériaux électroacoustiques sont diffusés et démultipliés dans la salle grâce à plusieurs types de traitements sonores et de spatialisation. Une attaque du violon trouve son rebondissement d'un autre côté de l'espace d'écoute, un jeté trouve son reflet dans un son électronique projeté dans une direction différente, les sons granulaires suivent des trajectoires diverses à des vitesses différentes, en se déplaçant au tour de l'auditeur. Des spatialisations statiques ponctuelles sur des haut-parleurs spécifiques, comme des grains sonores, complètent le dispositif.

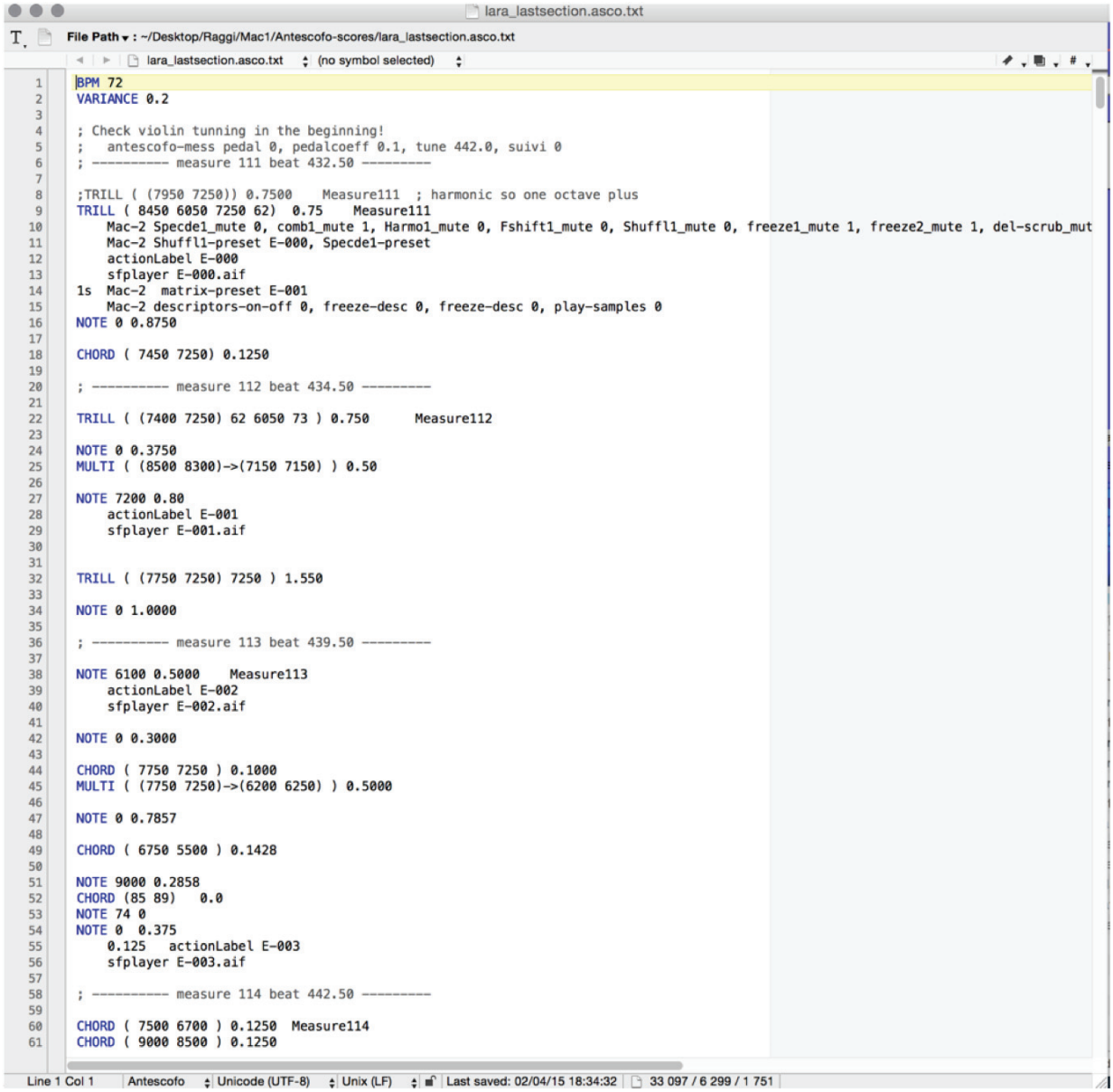


Fig. 35. Exemple de programmation du début de la dernière section de Raggi di stringhe.

Cette œuvre est marquée par l'écoute et le traitement d'événements discrets dans une virtuosité de rythmes et de modes de jeu spatialisés. Dans d'autres pièces décrites plus bas, la problématique de l'extraction continue de descripteurs et du paramétrage continu de la synthèse ou du traitement sera abordée, soulevant des réflexions nouvelles et imposant des stratégies musicales et informatiques différentes.

V.2 *Estremo d'ombra* : une écriture électronique interactive

Estremo d'ombra est une composition pour cinq solistes et électronique commandée par l'Ircam-Centre Pompidou et la Biennale de Venise, créée le 3 octobre 2015 au Teatro Piccolo Arsenale à Venise et en création française le 6 février 2016 au Festival Présences de Radio France à Paris. L'idée du travail vient du souhait de combiner les possibilités instrumentales et expressives de cinq interprètes d'exception comme le flûtiste Mario Caroli, le saxophoniste Claude Delangle, le tromboniste Benny Sluchin, l'altiste Garth Knox et le contrebassiste Nicolas Crosse, à une écriture et une réalisation de la partie électronique (réalisée dans les studios de l'Ircam en collaboration avec José Miguel Fernández) conçue d'une manière très détaillée et articulée, en tant que complément à la virtuosité instrumentale.

Dans *Estremo d'ombra* l'élaboration d'un système interactif de synchronisation entre les interprètes, les traitements et la synthèse en temps réel a conduit à la réalisation d'une partition électronique « centralisée » à travers le langage de programmation Antescofo pilotant les logiciels SuperCollider et MaxMSP et l'affichage dynamique des partitions sur des écrans avec openFrameworks[43]. Il a été possible d'exprimer des situations temporelles plus complexes en interaction avec les performances des musiciens et en gérant la relation avec l'espace, la création des lumières et le parcours dramatique symbolique. Le système informatique permet de contrôler cinq écrans présents sur scène, utilisés à la place des pupitres conventionnels pour afficher les partitions des musiciens. L'espace est considéré ici tant du point de vue électroacoustique que de celui de l'emplacement physique des instrumentistes dans la scène et dans la salle. Il lui est associé une dramaturgie subtile et symbolique (les solistes sont souvent sollicités pour changer de position et de pupitres sur scène), selon le parcours formel et dramaturgique imaginé en collaboration avec le metteur en scène Linda Duskova, qui intègre également l'utilisation d'un dispositif de lumières asservi aux moments structuraux de la composition.

Tout en imaginant une appropriation progressive de l'espace et des différents territoires par les interprètes, l'alternance d'éloignement, proximités et interférences conduit les cinq personnages à croiser leurs chemins dans un parcours d'exploration à la recherche de différentes agrégations et combinaisons instrumentales, allant des solos aux duo et jusqu'à d'autres regroupements timbraux différenciés.

Les contrastes et les diverses combinaisons se succèdent, les figures s'échangent et se métamorphosent selon un développement temporel dans lequel les gestes, les éléments visuels

[43] openFrameworks « *an open source C++ toolkit for creative coding* ». URL : http://openframeworks.cc/

et spatiaux, et les traitements électroniques soulignent et multiplient l'alternance des plans sonores. Grâce à la suggestion évocatrice de la lumière, la plasticité de l'ombre et la spatialisation sonore, l'architecture de la composition prend vie, les objets se brisent, se diffractent, se recomposent, tout en créant des interférences et des propagations.

La structure générale de la pièce est formée de trois grandes sections principales : la première se développe jusqu'à la mesure 187 ; la deuxième s'étend de la mes. 188 à la mes. 315 ; et la troisième de la mes. 316 jusqu'à la fin de l'œuvre, avec une petite section finale ayant une fonction de Coda qui dissipe l'énergie accumulée dans la dernière partie par des fragmentations et réverbérations du matériau sonore dans toute la salle.

Différentes sections internes structurent ultérieurement l'articulation de ces parties, par un développement de la matière sonore et des différentes possibilités acoustiques et électroniques qui change et évolue en fonction du parcours formel et narratif de la composition. La dualité entre l'écriture solistique et la densité instrumentale, la singularité et la choralité, l'expressivité interprétative et l'interaction avec le dispositif électroacoustique en temps réel caractérise cette œuvre.

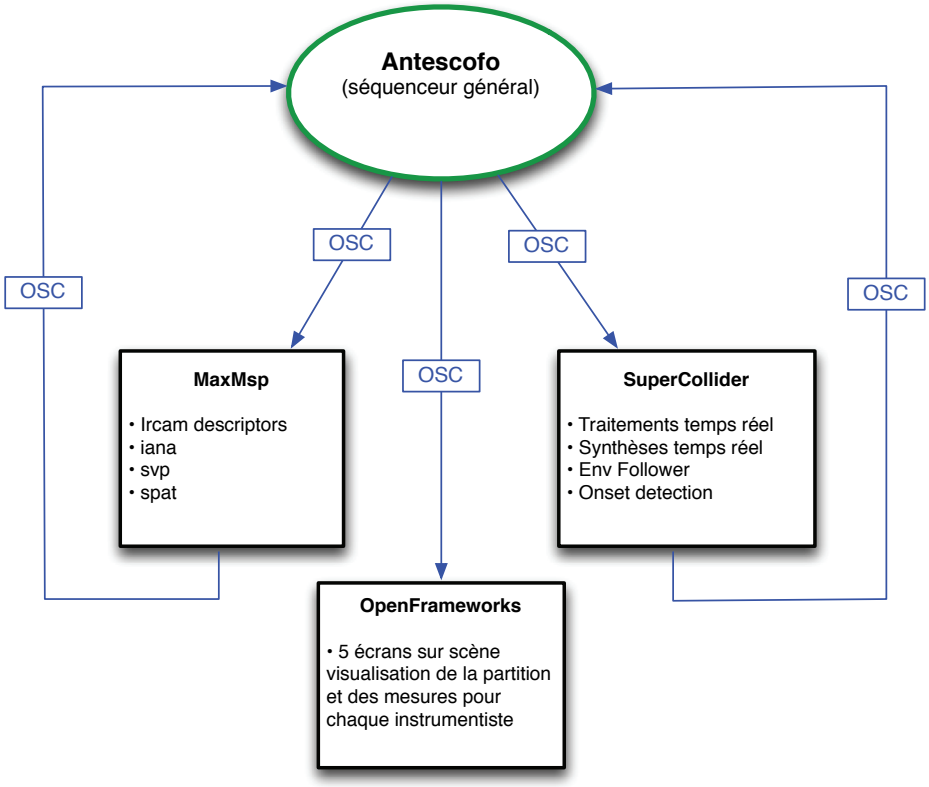


Fig. 36. Schéma de l'architecture de base du système utilisé : Antescofo employé comme « méta séquenceur » pour organiser tous les événements dans le temps en synchronisation avec la partition écrite par le protocole de communication OpenSoundControl.

Les principales fonctions du système sont conçues en utilisant Antescofo notamment comme séquenceur pilotant le déroulement séquentiel général (fig. 36).

Dans la figure 37, l'interface graphique du patch MaxMSP se compose de trois parties : la partie supérieure est la zone relative aux entrées audio de chaque instrument ; la partie intermédiaire comporte le contrôle Antescofo (pour charger, par exemple, le partition électronique, pour exécuter le programme, ou sauter à une position précise de la partition pendant les tests) ; dans la zone inférieure sont affichés à droite l'analyse audio et le contrôle de la luminosité des écrans et à gauche la représentation de différents types de synthèses instanciées dans SuperCollider.

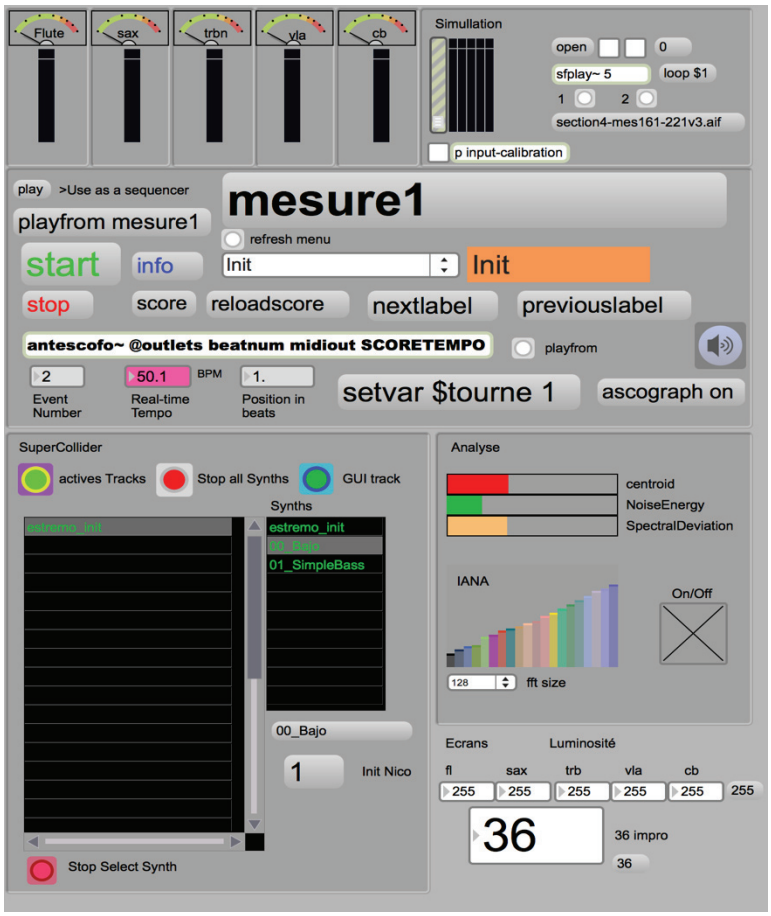


*Fig. 37. Le patch maître d'*Estremo d'ombra.

L'affichage des partitions aux musiciens est dynamique et contrôlé par openFrameworks. Cette bibliothèque a permis de créer une application dans laquelle il est possible d'afficher en haute résolution les partitions pour chaque instrumentiste, en indiquant dynamiquement le numéro de mesure, la métrique, les pulsations symbolisées par un carré mobile avec des couleurs différentes, codant le premier temps de la mesure, les temps intermédiaires et le dernier temps (exemple fig. 38). Ce système permet une synchronisation entre les interprètes et l'électronique

sans nécessiter la présence d'un chef d'orchestre, d'une clic-track ou d'une pédale de déclenchement. Le changement de page est géré automatiquement par Antescofo pour tous les instrumentistes, selon les requêtes personnelles de chaque musicien par rapport au temps nécessaire d'anticipation de la tourne. La fonction de « chef virtuel » prise en charge ici par Antescofo dans l'élaboration de ce dispositif original a permis de sauvegarder une dimension chambriste dans la réalisation et l'exécution de cette composition mixte à l'écriture très dense et articulée, favorisant une liberté d'expression et de mouvement des solistes qui se déplacent entre pupitres et sur la scène selon la dramaturgie de Linda Duskova.

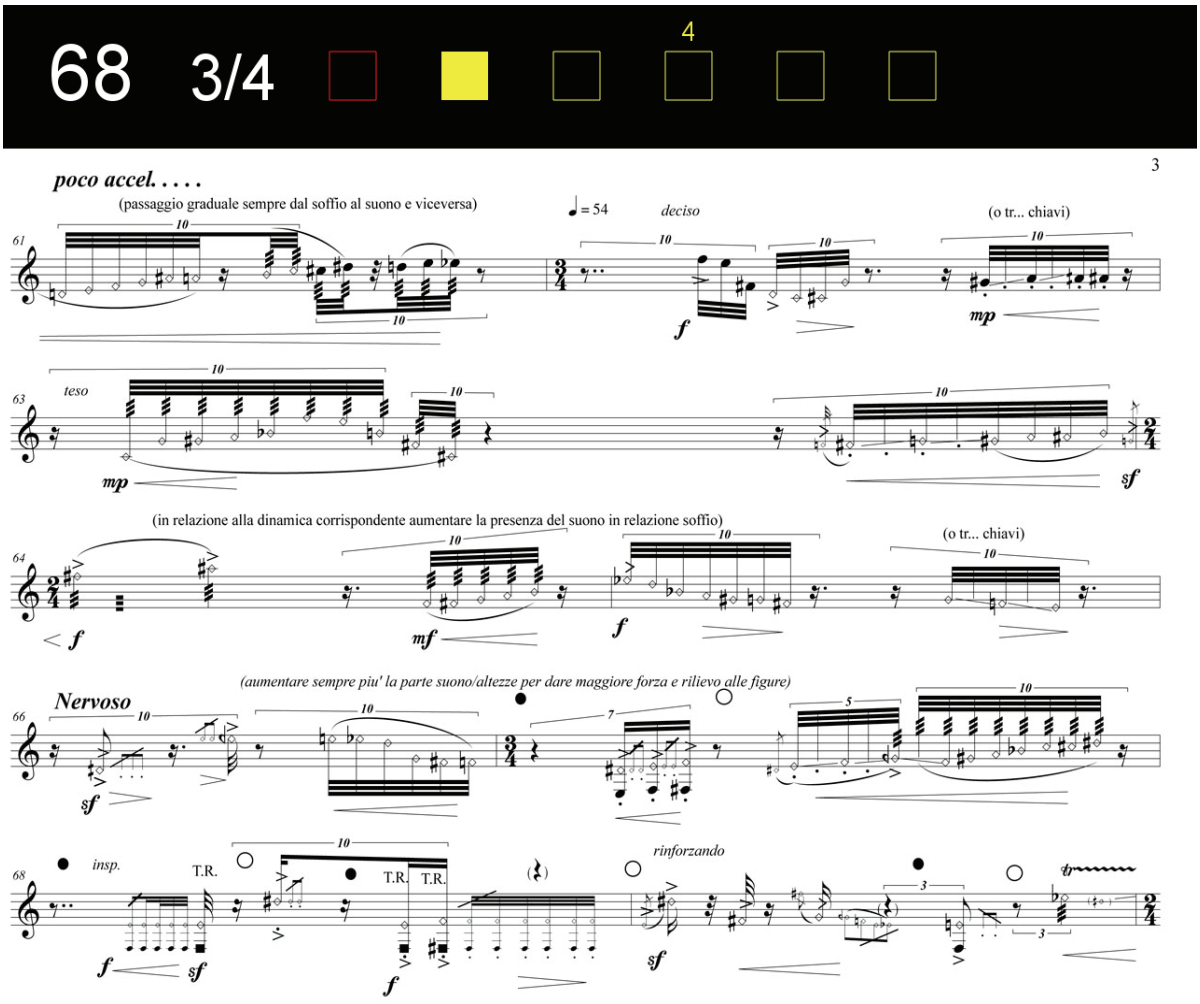


Fig. 38. Exemple de partition affichée selon le système mis en place pour Estremo d'ombra.

L'exploration timbrale menée dans *Estremo d'ombra* utilise les différentes possibilités de transformation du son pour créer des textures et des combinaisons spéciales.

Dans la section qui va de la mesure 188 à la mesure 315 les combinaisons instrumentales forment des sonorités timbrales complexes complémentées par les traitements et la synthèse en

temps réel. Pour cela, les flux audio sont analysés notamment par le programme Iana[44], qui permet d'extraire en temps réel les pics spectraux perceptivement prégnant, puis le résultat est transmis à SuperCollider chargé de produire une resynthèse additive. D'autres traitements (*freeze*, *harmonizer*, différents types de granulateurs) viennent compléter la palette.

À partir de la mesure 290 (correspondante à un passage soliste de la contrebasse, voir exemple antérieur à la figure 12), on a utilisé des descripteurs audios, grâce à l'objet MaxMSP *ircamdescriptor*[45], pour analyser des caractéristiques du signal audio comme *Spectral Centroid*, *NoiseEnergy* et *SpectralDeviation* (Peeters 2004). Les divers types d'analyses en temps réel sont alors utilisés pour contrôler différentes typologies de *freezes* spectraux par rapport à un certain seuil.

En plus de la synthèse additive, différents types de synthèse par table d'onde (*wavetable synthesis*) ont été intégrés (Horner, Beauchamp et Haken 1993).

Tous les traitements et la synthèse en temps réel ainsi que la possibilité de les activer au moment prévu et d'en modifier les paramètres sont contrôlés et exécutés par Antescofo.

Dans l'exemple de partition électronique fig. 39, de la ligne 42 à la ligne 54 on peut voir la définition de l'événement « mesure188 » dans lequel on active un « groupe » Antescofo qui instancie 3 effets de *freezes* granulaires (lignes 47-49) et 3 processus « rand_lfo » (lignes 51-53) de contrôle de la position panoramique du *freeze* appliqués à la flûte, au saxophone et à l'alto.

De la ligne 1 à la ligne 36, on voit un exemple de programmation du processus « rand_lfo » qui permet de créer des contrôles continus aléatoires avec une valeur minimale et maximale ainsi qu'avec un temps assigné. Ces processus instanciés dans le « groupe » sont utilisés pour contrôler la position panoramique des synthèses granulaires instanciées (lignes 47-49).

À la ligne 38, un port OSC est ouverte permettant la communication entre Antescofo et SuperCollider.

La relation établie entre Antescofo et SuperCollider permet de créer, détruire et modifier des processus audio instantanément, en fonction des besoins de la partition électronique et du déroulement de la pièce. Ainsi, toutes les chaînes des traitements audio sont totalement dynamiques ce qui constitue un gain en performance.

---

[44] iana~ est un objet Max développé à l'Ircam à partir du programme Iana mis au point par Dan Timis et Gérard Assayag dans les années '80 pour extraire les composantes les plus prégnantes pour la perception dans un spectre, à partir des travaux de psycho-acoustique de Ernst Terhard (Terhardt *et al.* 1982).

[45] *ircamdescriptor~* est un objet Max mis au point à l'Ircam qui calcule plus de 40 éléments audio (par exemple le pitch, le timbre, l'intensité, le spectre, le centroïde spectral, les MFCC etc.).

```
@proc_def ::rand_lfo($track, $module, $param, $min, $max, $type, $tpo)
{
    @local $v1, $v2, $duree, $lin, $curve_int_proc

    $v1 := $min
    $v2 := $max
    $curve_int_proc := 0

    $delay := @rand(1.) + 0.5

    group @tempo := $tpo
    {
        Loop $delay @exclusive
        {
            abort $curve_int_proc

            $v1 := $v2
            $v2 := @rand_range($min, $max)
            $delay := @rand(1.) + 0.5
            $duree := $delay

            $curve_int_proc := {
                                Curve @Grain := 0.005
                                @action :=  {
                                            crea_track8 $track set $module $param $lin
                                        }

                                { $lin {
                                            {$v1} @type := $type
                                    $duree {$v2}
                                    }
                                }
                            }
        }
    }
}

oscsend crea_track8 "localhost" :7002 "/crea_track8"

////////////////////////////////////////////////////////

NOTE C4 1 mesure188

group freeze
{

    crea_track8 freeze_fl1 0 8 0 AudioInput input $flIn #-> TGranFreeze8 rate 1 buf 1 pan 0 #fader ($fader("synth2"))
    crea_track8 freeze_sax1 0 8 0 AudioInput input $saxIn #-> TGranFreeze8 rate 1 buf 2 pan 0.25 #fader ($fader("synth2"))
    crea_track8 freeze_vla1 0 8 0 AudioInput input $altoIn #-> TGranFreeze8 rate 1 buf 3 pan 0.5 #fader ($fader("synth2"))

    $freeze_fl1_m188 := ::rand_lfo("freeze_fl1", "01_TGranFreeze8", "pan", 0, 2, 60, "exp")
    $freeze_sax1_m188 := ::rand_lfo("freeze_sax1", "01_TGranFreeze8", "pan", 0, 2, 60, "exp")
    $freeze_vla1_m188 := ::rand_lfo("freeze_vla1", "01_TGranFreeze8", "pan", 0, 2, 60, "exp")
}
```

Fig. 39. Exemple d'une partition Antescofo de contrôle des traitements dans SuperCollider.

La figure 40 décrit la configuration audio de la composition (*setup*) ; tous les sons et les traitements sont spatialisés dans un système octophonique[46], à travers le *Spat*[47] de l'Ircam (Carpentier, Noisternig et Warusfel 2015) et d'autres modules dans SuperCollider. L'exécution met en valeur la ductilité et la créativité des interprètes impliqués dans la création

[46] La spatialisation utilise ici des trajectoires décrites à la main ou produites par des procédés algorithmiques à travers Antescofo.

[47] Spatialisateur dédié au traitement de la spatialisation du son en temps réel, conçu de façon modulaire ; il permet à l'utilisateur de spécifier et automatiser les paramètres spatiaux et la possibilité d'indiquer les caractéristiques sonores de la salle, sans avoir recours au vocabulaire acoustique et architecturale.
URL : http://forumnet.ircam.fr/product/spat-en/

d'événements musicaux et dramaturgiques spontanés et inattendus, dans un projet dont la nature interroge la forme traditionnelle du concert.

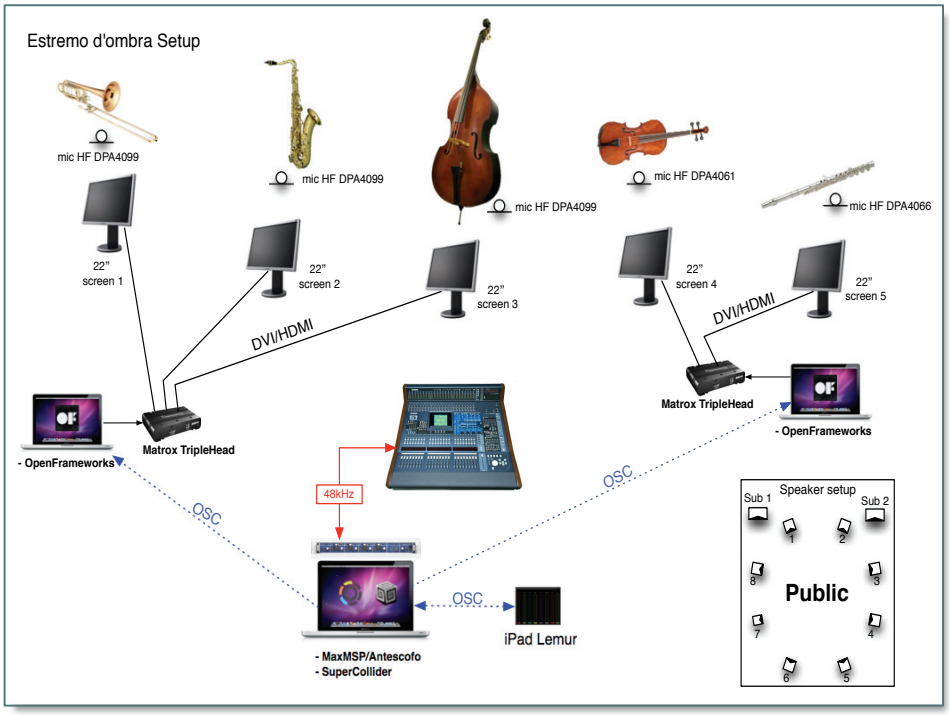


Fig. 40. Configuration audio de Estremo d'ombra.

La dimension innovante expérimentée dans le système technique de cette pièce offre des possibilités futures de développement et de recherche, dans la finalité de pouvoir concevoir une notion de partition interactive « centralisée » dans laquelle les différents paramètres du langage musical, de la dramaturgie, de la notation et de l'informatique puissent fusionner dans une nouvelle et cohérente modalité d'écriture. La figure 41 montre l'espace scénique de la pièce.

Fig. 41. Vue générale de l'espace scénique et de la régie informatique pour Estremo d'ombra *au studio 104 de Radio France.*

V.3 L'écriture inter-arts: *Microgroove I, Octaédrite*

Le projet audio-visuel *Octaédrite* s'inscrit dans un parcours artistique et de recherche sur l'interaction et le traitement en temps réel d'informations permettant la collaboration entre différents domaines et médias artistiques.

Ici l'on a exploré les possibilités d'écriture des paramètres sonores et temporels en relation avec les éléments visuels dans une intégration d'outils technologiques contemporains pour la production du son et de formes visuelles et spatio-temporelles.

Le dialogue possible entre les sons électroniques ou concrets et les signaux d'autre nature, comme l'image ou le geste, nous engage à connecter des mondes distincts et complémentaires, chacun possédant ses matériaux de nature différente.

L'idée principale se développe autour de la recherche d'une *synesthésie* entre l'univers visuel et le sonore en faisant coexister deux langages dans un seul processus artistique. La recherche d'une écriture conjointe entre les éléments sonores et visuels, par la mise en place d'un synchronisation réalisée de façon très fine et précise, pose les bases d'une réflexion interdisciplinaire sur l'interaction image-son, menant à l'élaboration d'un système contrôlant en temps réel les différents dispositifs.

Les œuvres composées dans la démarche de cette exploration multiple mettent en scène des structures ou figures de Widmanstätten[48] (voir exemples figures 42 et 43). Inscrites dans des météorites ferreuses appelées *octaédrites*, ces formes de cristallisation sont le résultat d'un long refroidissement du métal au cœur d'une planète, d'environ 1 degré par million d'années. Les coupes de ces pierres présentent un graphisme singulier, structuré par des parallèles et des géométries complexes dont la surface s'apparente à une plaque de gravure. Comme la lecture d'un disque gravé, le projet (qui se décline en installation ou en concert) des deux œuvres réalisées a pour objet d'explorer la surface cryptée des sillons de ces formations et d'en extraire des éléments intéressants pour réaliser une composition audiovisuelle.

Le développement et la réalisation du travail se sont déroulés à travers deux phases de recherche et création différentes : la mise en place d'une installation, réalisée en collaboration avec l'artiste plasticienne Félicie d'Estienne d'Orves dans le cadre de la Biennale du Festival Nemo « Quand les objets prennent vie » au 104 à Paris (du 4 décembre 2015 au 31 janvier

[48] Les figures de Widmanstätten ou structures de Thomson, sont des formes (lamelles ou aiguilles) de cristallisation se produisant dans l'acier des météorites au-dessus de 1 000 °C et révélées par une attaque de l'acier par un acide. URL : https://fr.wikipedia.org/wiki/Figures_de_Widmanstätten

2016) ; et le concert/spectacle représenté au Conservatoire National Supérieur de Musique et de Danse de Paris en janvier 2016.

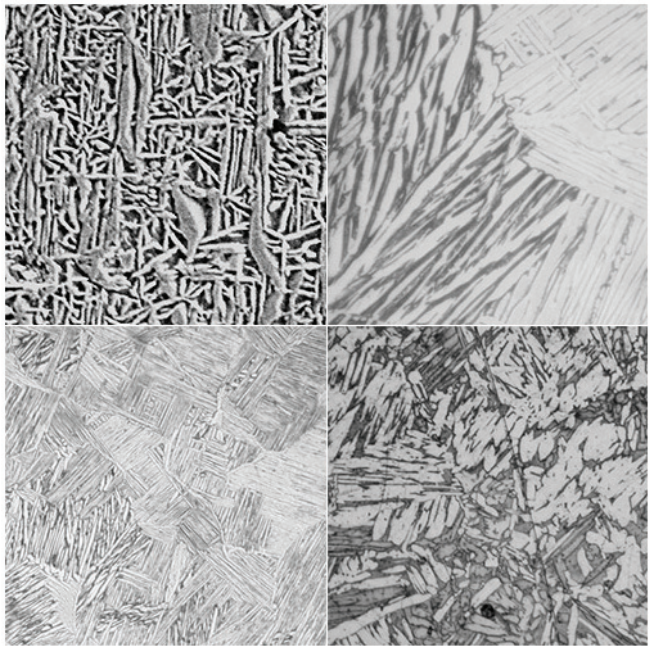


Fig. 42. Figures de Widmanstätten.

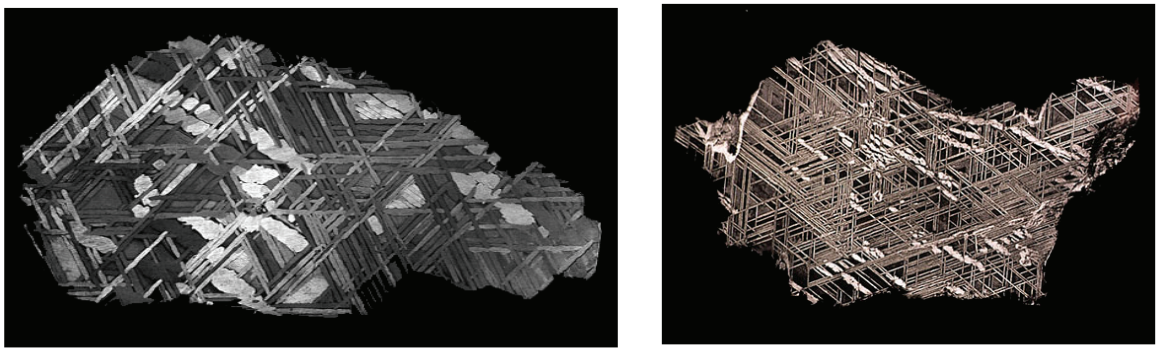


Fig. 43. Exemples de météorites ferreuses avec des figures de Widmanstätten.

Microgroove I

L'installation audiovisuelle réalisée au 104 s'articule autour de la présence d'une météorite ferreuse (fig. 44) exposée dans une salle noire où le spectateur est amené à découvrir cet objet fascinant et mystérieux à l'origine lointaine, posé sur un socle et protégé par une boite en plexiglas (fig. 45).

Les différentes images lisibles dans les sillons de la météorite produisent des motifs géométriques qui sont projetés, à une échelle plus grande, sur un écran présent dans la salle. Un bras mécanique motorisé a été mis au point pour effectuer une lecture de la superficie de la

météorite ; posé sur le même plan que la météorite, il est connecté à une caméra (attachée à un Raspberry Pi[49]) permettant, à travers des déplacements aléatoires, de réaliser des zoom sur les diverses régions à la surface de l'objet ferreux. Ce bras mécanique mobile, constitué de deux servo-moteurs pilotés par un microcontrôleur Arduino Mega, déplace la position de la caméra sur la météorite, capturant les images utilisées d'une part pour les afficher sur l'écran à côté du couvercle (voir figures 46 et 47) et d'autre part pour faire une analyse de la brillance d'un segment de l'image. Cette analyse, réalisée grâce à la librairie OpenCV *(Open Source Computer Vision Library)*[50] dans le logiciel Processing, est envoyée par OSC vers Antescofo pour piloter la synthèse granulaire et les déclenchements d'échantillons dans SuperCollider. Le résultat sonore est renvoyé à un transducteur (exemple fig. 48) collé sur la plaque en métal qui supporte la météorite. Les mouvements du bras mécanique sont réalisés à partir du langage Antescofo.
Le programme qui gère le mouvement du bras mécanique (fig. 49) est un processus Antescofo qui utilise des probabilités pour générer des rythmes et des coordonnées de déplacement du bras.

Fig. 44. L'octaédrite utilisée pour l'installation.

[49] Raspberry Pi est un nano-ordinateur basé sur le système d'exploitation GNU/Linux-Debian.
[50] URL : https://opencv.org

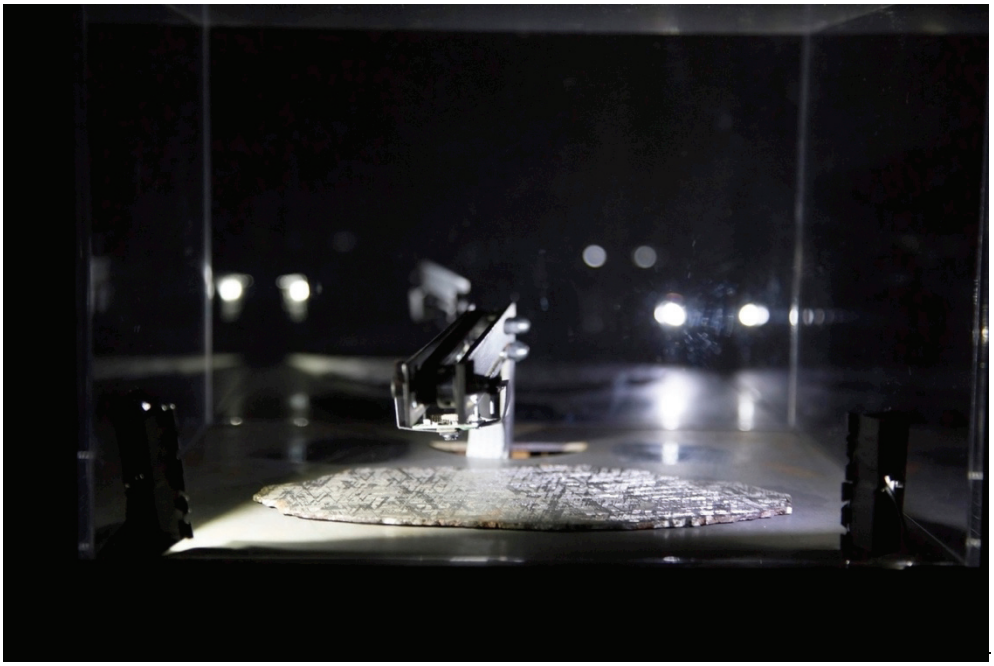


Fig. 45. Installation Microgroove I.

Le mouvement du bras est la cause des évolutions sonores. À chaque fois que le bras se déplace en coordonnées *x* et *y*, la camera capte les différences de luminosité des figures de Widmanstätten et, quand le mouvement s'arrête, le programme Antescofo déclenche des échantillons audio préalablement composés.

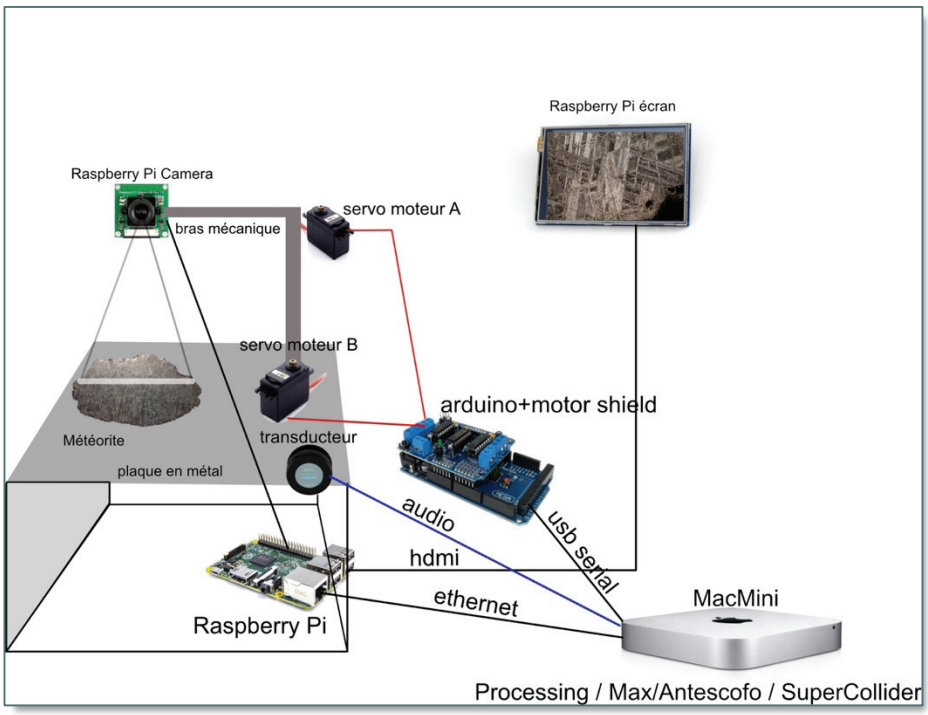


Fig. 46. Schéma de connexion entre les différents dispositifs de l'installation. L'ordinateur (Mac Mini) envoie les coordonnées au microcontrôleur Arduino pour déplacer le bras mécanique. L'image capturée est envoyée vers le Raspberry Pi qui la transfère à l'écran et au MacMini.

Fig. 47. Vue d'ensemble de l'installation avec la boite en plexiglas contenant la météorite, le bras mécanique et, sur le mur, l'écran qui projet les images captées par la caméra.

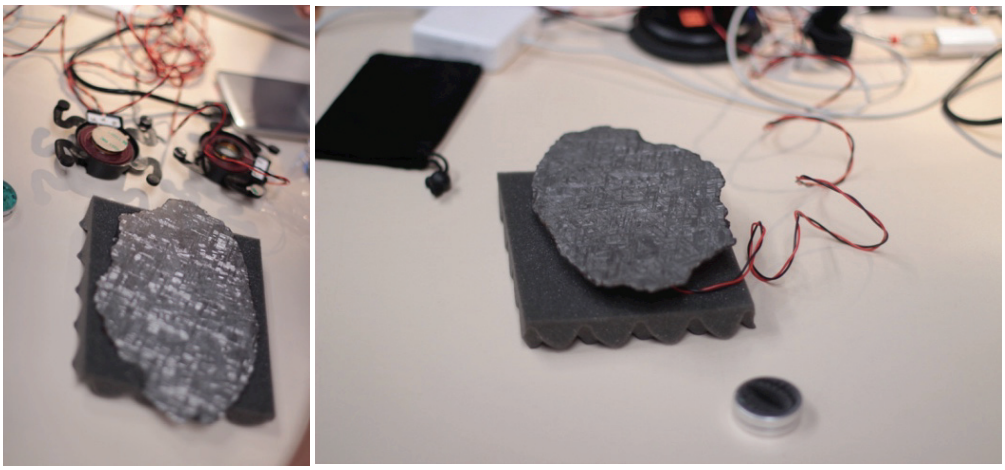


Fig. 48. Positionnement du transducteur au-dessous de la météorite : cette disposition n'a pas été retenue car la météorite étant trop petite et rigide, elle ne résonnait pas suffisamment. Le transducteur a finalement été posé sur une plaque en métal plus grande et résonante.

```
@proc_def ::play_coord()
{
    @local $x, $y, $dur, $minDur, $maxDur, $prob, $samp, $mov_synth, $gratt, $nom, $inc, $ryth_tab, $ryth_prob

    $x := @rand_range_int(-10, 150)
    $y := @rand_range_int(-150, 150)

    $inc := 0
    $gratt_map := ::deriva_multi(@rand_range(0.05, 0.1), $tracks_tab, $gratt,-6,5) //

    $ryth_tab := [[1, 3], [2.5, 7], [5, 10], [8, 15]] // 4 ranges_rythmes
    $ryth_prob := [0.25, 0.4, 0.2, 0.15] // poids de probabilites

    $prob := @vprob($ryth_tab, $ryth_prob)
    $dur := @rand_range($prob[0], $prob[1])

    loop $dur
    {
        print CURRENT_TIME $dur
        $nom := ("add"+$x)

            group coords
            {
                $gratt := @choose($grattages_1)
                coords ("X"+$x)
                coords ("Y"+$y)
                coords ("T"+($dur*1000)) // en ms
            }
        $prob := @vprob($ryth_tab, $ryth_prob)
        $dur := @rand_range($prob[0], $prob[1])

        $x := @rand_range_int(-10, 150)
        $y := @rand_range_int(-150,150)
        print actual_dur $dur
    }
}
```

Fig. 49. Exemple de partition Antescofo pour gérer les mouvements du bras mécanique.

Octaédrite

Dans la composition de l'œuvre audiovisuelle *Octaédrite*, pour dispositif électroacoustique et sculpture visuelle interactive, en collaboration avec la plasticienne Félicie d'Estienne d'Orves, créée au Conservatoire National Supérieur de Musique et de Danse de Paris en janvier 2016, le projet de co-composition sonore et visuelle vise à mettre en place la représentation d'un espace virtuel dans lequel chaque matériau, correspondance, geste, pulsation et mouvement, est représenté par l'auto-transformation de sons et d'images.

Les matériaux sonores et visuels sont constitués par la génération simultanée d'éléments graphiques et musicaux, en développant les différentes possibilités des langages propres par une recherche de synchronisation prenant en compte de manière croisée certains paramètres musicaux (intensité, fréquence, durée ou rythme, etc.) pour traiter les images et vice-versa.

La représentation visuelle du spectacle est basée sur des mises à l'échelle des figures de Widmanstätten reproduites à partir d'*octaédrites*, en simulant la présence d'une sculpture virtuelle dans l'espace. Pour mettre en place cette dernière idée en montrant la météorite à grande échelle, l'image de la météorite a été projetée sur un long tulle transparent par rétro-projection, tout en faisant faire ressortir des faisceaux de lumière de la scène grâce à l'utilisation d'une machine à fumée (voir exemples figures 50, 51 et 52). L'idée principale était de piloter ces deux éléments à partir d'Antescofo selon le même principe que la version installation, c'est à dire en « scannant » l'image et en sonorisant le résultat d'une façon

musicale.

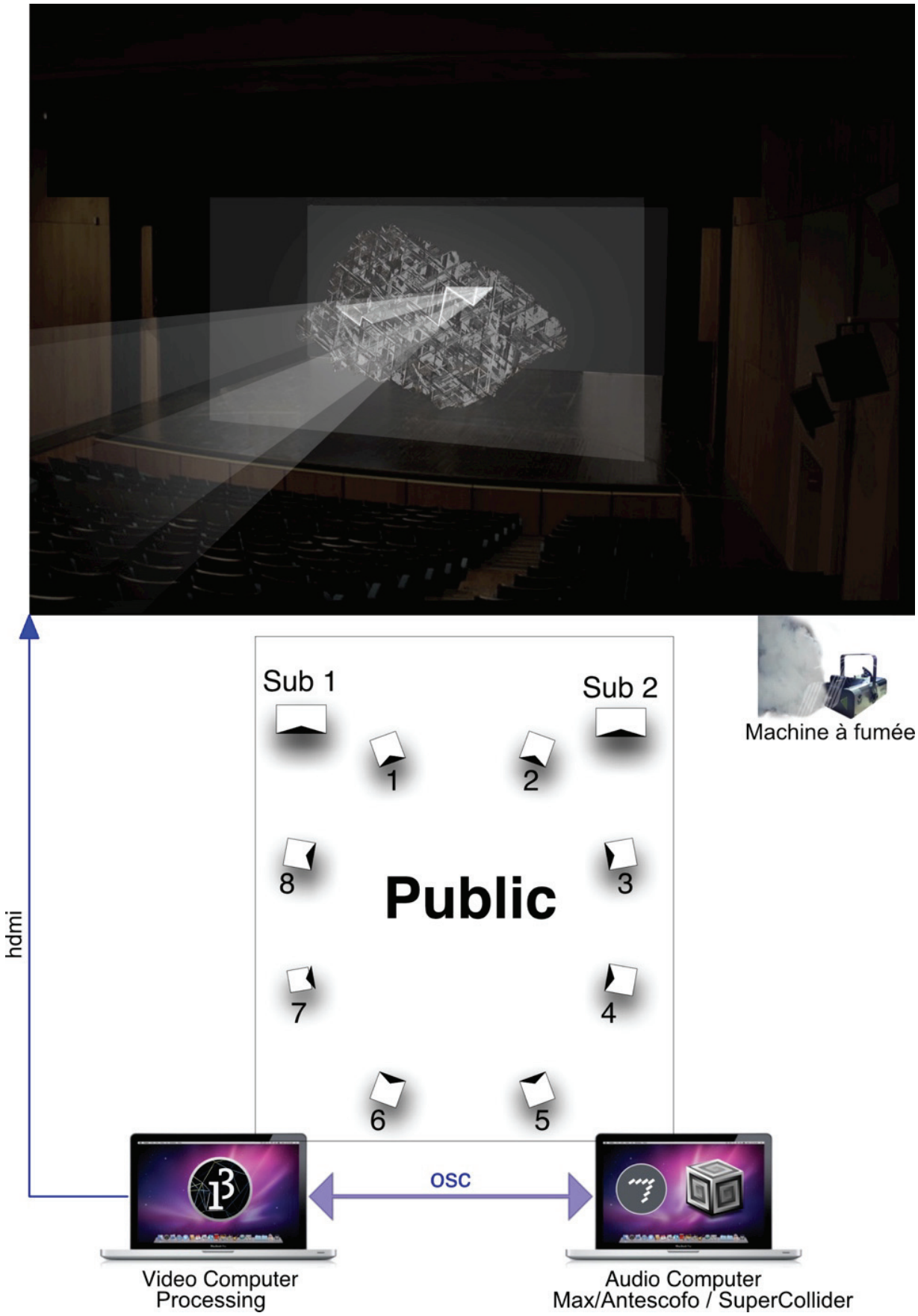


Fig. 50. Schéma de la version concert de l'œuvre audiovisuelle Octaédrite.

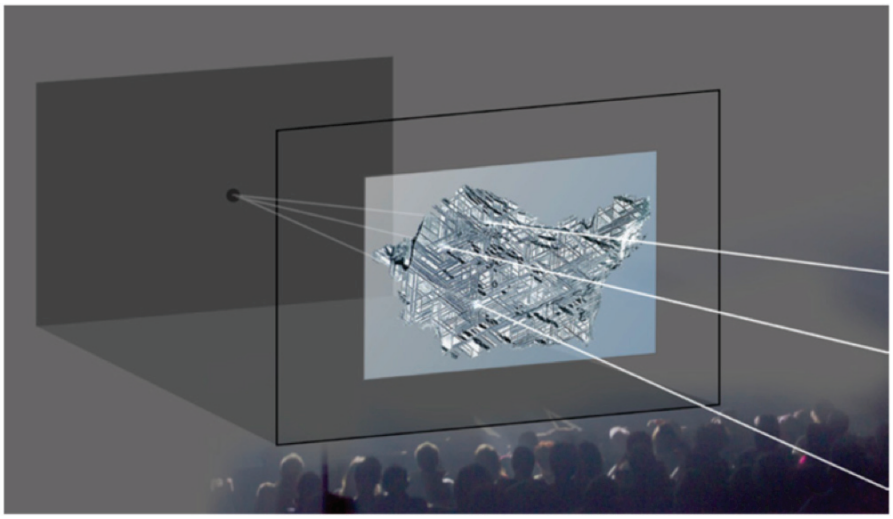


Fig. 51. Dans la piste de travail choisie après divers tests, les lignes traversent un plan découpé ; chaque ligne représente une tête de lecture et lit une partie de la composition musicale/sonore.

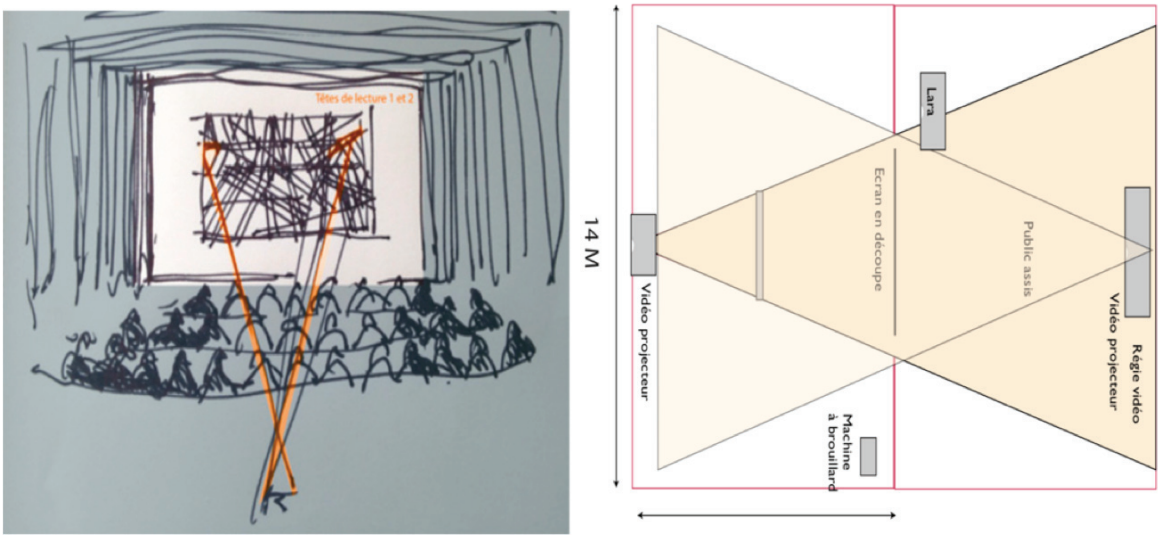


Fig. 52. Suivant les différents éléments sonores une ou plusieurs têtes de lecture peuvent lire et révéler en même temps différentes parties de la sculpture.

Fig. 53. L'UPIC de Iannis Xenakis.

La « sculpture » au contact d'une tête de lecture virtuelle, matérialisée par les faisceaux de lumière, révèle ses détails et engendre des sonorités. La lumière se déplace dans les motifs ou traverse des surfaces découpées en interaction avec la composition électroacoustique. Suivant les couches sonores des divers fragments et les moments musicaux de la composition une ou plusieurs têtes de lecture peuvent ainsi lire et révéler simultanément différentes parties de la sculpture.

En référence à l'UPIC de Iannis Xenakis (qui traduit un dessin en musique, exemple fig. 53), sur laquelle Félicie d'Estienne d'Orves avait déjà réalisé un travail précédent, le dessin est ici remplacé par une sculpture dans l'espace.

Pour la version concert de *Octaédrite*, nous avons fait plusieurs tests d'interaction entre le son et l'image. Les séquences audiovisuelles sont déclenchées à partir de la *timeline* du logiciel Logic Pro, ce qui nous permet de synchroniser les bandes son huit pistes préenregistrées avec les événements à déclencher dans Antescofo, qui à son tour envoie des données via OpenSoundControl à Processing pour générer l'image et à SuperCollider pour produire le son en temps réel (fig. 54).

Le développement formel de l'œuvre s'articule à travers six parties, correspondant aux divers types de lecture et interprétation choisie des éléments contenus dans la surface ferreuse. Ces parties correspondent à diverses archétypes de gestes, dessins et figures : Trajectoires, Grattage, Contours, Cristal, Billes et Scanner.

Dans la première partie dénommée « Trajectoires » les faisceaux dessinent et font émerger les figures de Widmanstätten. Comme dans une calligraphie, l'appui et l'épaisseur du trait est mis en relation à l'intensité du son grâce à un *envelope follower* qui pilote la vitesse et l'opacité du dessin. L'apparition des lignes se fait de plus en plus marquée et rapide jusqu'à la fin de cette première partie (fig. 55).

```
////Send to SuperCollider

oscsend crea_track8 "localhost" :7002 "/crea_track8"
oscsend trig_gran_seq "localhost" :7002 "/trig_gran_seq"
oscsend gran_trig "localhost" :7002 "/gran_trig"
oscsend gran_trig2 "localhost" :7002 "/gran_trig2"
oscsend wavetable "localhost" :7002 "/wavetable"
oscsend playsample2 "localhost" :7002 "/playsample2"
oscsend playsample_solo "localhost" :7002 "/playsample_solo"
oscsend crea_aux "localhost" :7002 "/crea_aux"
oscsend connect_aux "localhost" :7002 "/connect_aux"
oscsend aux_in_lev "localhost" :7002 "/aux_in_lev"

////Send to PROCESSING

oscsend scene1_1 127.0.0.1 :12000 "/scene00_00_P5" // index, on/off, vitesse, opacite, //epaisseur
oscsend scene1_1_op 127.0.0.1 :12000 "/scene00_00_P5_op" // index, on/off, vitesse, opacite, //epaisseur
oscsend scene1_1_vel 127.0.0.1 :12000 "/scene00_00_P5_vel" // index, on/off, vitesse, opacite, //epaisseur
oscsend scene1_1_light 127.0.0.1 :12000 "/scene00_Lights" // index, on/off, vitesse, opacite, //epaisseuroscsend scene2_1 127.0.
oscsend scene2_2 127.0.0.1 :12000 "/scene01_01_P5" // Index, ON/OFF<0-1>, Longueur <rand 0.2, 0.7>, vitesse <rand 0.001, 0.01>
oscsend scene3_1 127.0.0.1 :12000 "/scene02_00_P5" // Index, ON/OFF<0-1>, Longueur <rand 0.2, 0.7>, vitesse <rand 0.001, 0.01>
oscsend scene3_2 127.0.0.1 :12000 "/scene02_01_P5" // Index, ON/OFF<0-1>, Longueur <rand 0.2, 0.7>, vitesse <rand 0.001, 0.01>
oscsend scene3_2_sp 127.0.0.1 :12000 "/scene02_01_P5_sp" // Index vel
oscsend scene3_3 127.0.0.1 :12000 "/scene02_02_P5" // Index, ON/OFF<0-1>, Longueur <rand 0.2, 0.7>, vitesse <rand 0.001, 0.01>
oscsend scene3_4 127.0.0.1 :12000 "/scene02_03_P5" // Index, ON/OFF<0-1>, Longueur <rand 0.2, 0.7>, vitesse <rand 0.001, 0.01>

oscsend goToScene_P5 127.0.0.1 :12000 "/goToScene_P5" // Aller a la scene (int)
oscsend scene1_1_light 127.0.0.1 :12000 "/scene00_Lights" // index, on/off, vitesse, opacite, //epaisseuroscsend scene2_1 192.16

//////Receive from Processing

oscrecv scene1_1_r 1111 "/P5_scene00_00" $scene1_index, $scene1_onOff
oscrecv scene2_1_r 1111 "/P5_scene01_00" $scene2_1_index, $scene2_1_dist
oscrecv scene2_2_r 1111 "/P5_scene01_01" $scene2_2_index, $scene2_2_angle, $scene2_2_radius, $scene2_2_pos, $scene2_2_intensity
oscrecv scene3_1_r 1111 "/P5_scene02_00" $scene3_1_index, $scene3_1_onOff
oscrecv scene3_2_r 1111 "P5_scene02_01" $bille_idx, $ligne_idx, $rebond_force, $angle
oscrecv scene3_2_r 1111 "P5_scene02_01_Meteor" $bille_idx_meteor, $rebond_force_meteor, $angle_meteor
oscrecv scene3_2_r 1111 "P5_scene02_01_mag" $bille_idx_mag, $pos_mag
oscrecv scene3_3_r 1111 "/P5_scene02_02" $scene3_3_index, $scene3_3_angle, $scene3_3_intensity
oscrecv scene3_4_r 1111 "/P5_scene02_03" $scene3_4_index, $scene3_4_collisionPosition

// oscrecv trajectoires 1111 "/P5_scene1" $traj_index_scene1 $traj_off_scene1

oscrecv envfoll1 3333 "/envfoll1" $envfoll1
oscrecv envfoll2 3333 "/envfoll2" $envfoll2
oscrecv envfoll3 3333 "/envfoll3" $envfoll3
```

Fig. 54. Première partie de la partition électronique Antescofo avec la création des ports d'envoi et de réception des commandes OSC pour la communication entre les logiciels Max/Antescofo, SuperCollider et Processing.

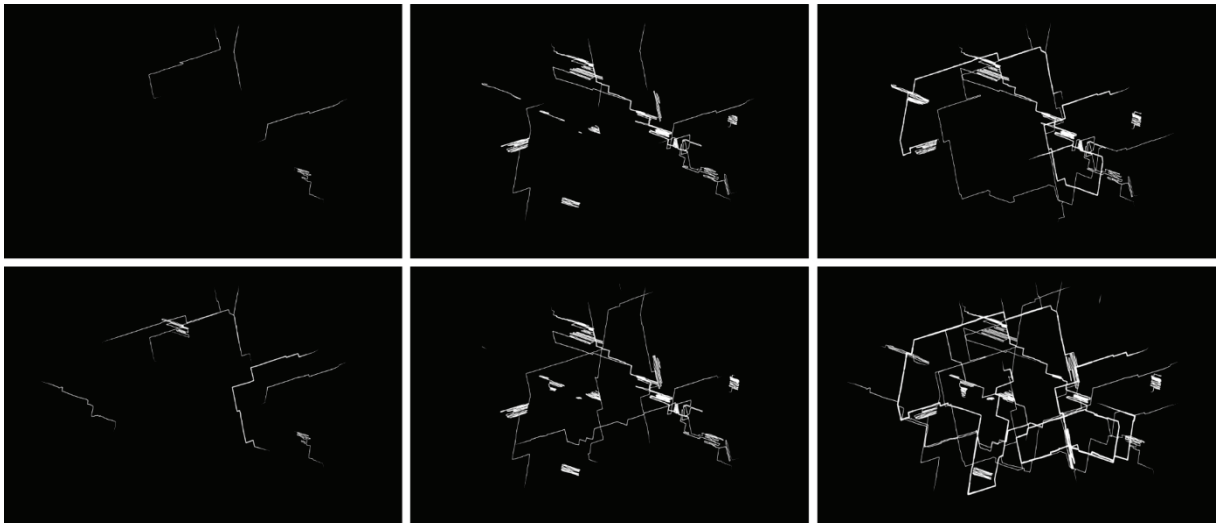


Fig. 55. Captures d'écran de différents états d'évolution des trajectoires de l'image.

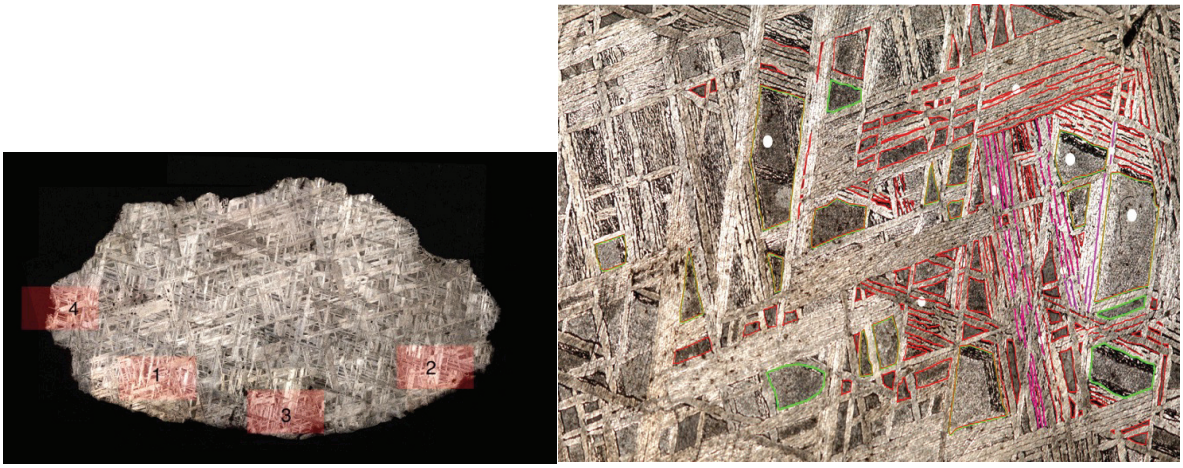


Fig. 56. Représentation des quatre zones agrandies pour la partie II « Grattage » et image zoomée de la zone 1. On voit les billes blanches qui se déplacent soit directement sur les lignes de Widmanstätten, soit dans des régions intermédiaires (par exemple les régions en vert).

Dans la deuxième partie « Grattage », un processus de zoom permet l'alternance entre une vue macro et micro, en analogie à un microscope qui regarderait les lignes de Widmanstätten de plus près (fig. 56). Le zoom dans les sillons est réalisé sur quatre zones différentes de l'image de la météorite. Une fois l'image agrandie, on aperçoit des billes (petits cercles blancs mobiles) qui "grattent" la surface de l'image comme des poinçons ou des têtes de lecture métallique, en se déplaçant sur les lignes de Widmanstätten et dans les régions intermédiaires. Des sonorités produites par synthèse granulaires se superposent et se synchronisent aux mouvements des billes.

Dans la troisième partie dénommée « Contours », les contours de l'image de la météorite sont analysés grâce à la librairie OpenCV implémentée dans le logiciel Processing. À ce moment de la composition l'écran devient noir (fig. 57) et les contours de l'image commencent à se dessiner. Chaque mouvement de la tête de dessin est sonorisé en temps réel (exemple fig. 58) par une synthèse granulaire "lisse" (avec superpositions de plusieurs grains pour avoir un son continu).

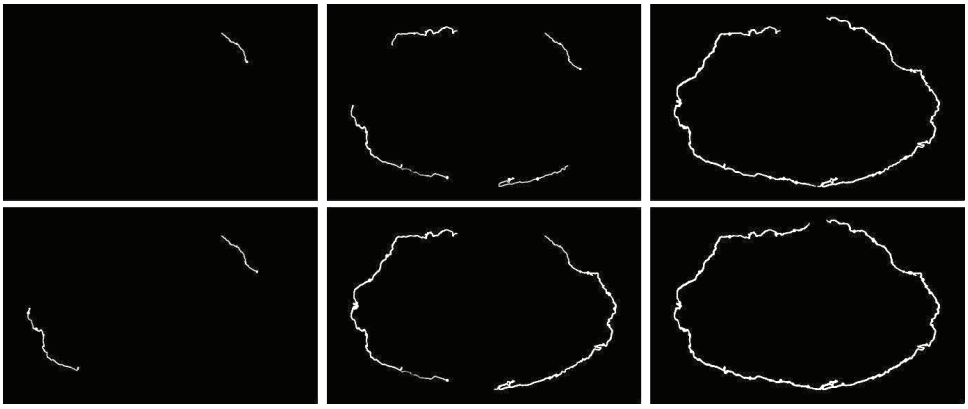


Fig. 57. Captures d'écran de différents états d'évolution des contours.

```
1  $cont_obj_amps_store := map{}
2
3  @obj_def gran_contour($index, $buf, $amp, $transp_min, $transp_max)
4  {
5      @local $x, $local_amp, $track, $input_map
6
7      @abort {
8          trig_gran_seq $track off 0.1
9      }
10
11     @init
12     {
13         $track := ("bord"+$index)
14         $x := 1 //par default controle de amp
15         $input_map := 1
16         trig_gran_seq $track TGranBuf_8c2_dur $buf // instantie la synthese granulaire
17         trig_gran_seq $track set out 0 trigRate 30 dur 5000 amp $amp rate 1 matrix_ramp 2 //(@rand(2.)+1)
18     }
19
20     @whenever ($scene2_2_index==$index)
21     {
22         // print $bille_idx_mag $pos_mag
23         if($input_map==1){
24             trig_gran_seq $track set startPos $scene2_2_pos
25             trig_gran_seq $track set pan ($scene2_2_pos*2) rate @scale($scene2_2_intensity, 0., 1., $transp_min, $transp_max, 1)
26             // print $x
27             if($x==1){
28                 $local_amp := (@scale($scene2_2_intensity, 0., 1., -10, 0, 1) + $amp)
29                 trig_gran_seq $track set amp $local_amp
30                 $cont_obj_amps_store := $cont_obj_amps_store.insert($index, $local_amp) //store last amp
31                 // print $local_amp
32                 // print @scale($scene2_2_intensity, 0., 1., -10, 0, 1)
33             }
34         }
35         // print $scene2_2_angle $scene2_2_radius $scene2_2_pos $scene2_2_intensity
36     }
37
38     @fun_def amp($a) {
39         trig_gran_seq $track set amp ($a + $amp)
40     }
41     @fun_def amp_on_off($onoff) {
42         $x := $onoff
43     }
44     @fun_def freeze($f, $r) {
45         $input_map := 0
46         trig_gran_seq $track set durDev $f rate $r
47     }
48 }
```

Fig. 58. Exemple de l'objet "gran_contour" programmé dans le langage Antescofo. Les données de l'index de la tête qui dessine les contours vont créer l'index d'instance d'un objet dans Antescofo qui contient à son tour les instances de synthèse dans SuperCollider : à chaque instance de l'objet, la méthode @init va initialiser une synthèse granulaire dans SuperCollider. La position et l'intensité (opacité) de la tête sont "mappées" vers la spatialisation (ligne 25 du code) et vers l'amplitude (ligne 29 du code). Chaque instance d'objet est stockée dans un dictionnaire (map dans Antescofo) pour pouvoir être contrôlée soit de façon individuelle, soit en groupes, comme, par exemple, pour éteindre toutes les synthèses avec une seule commande.

Section IV : « Cristal ». En suivant le processus de cristallisation qui a donné naissance aux lignes de Widmanstätten, on reproduit dans le champ audiovisuel cette notion de 'refroidissement et durcissement de la matière' par l'illustration de lignes qui se creusent à l'intérieur de l'image de la météorite, accompagnées par des sons de synthèse cristallins. Le dispositif programmé crée ces lignes définies à l'avance mais activées à partir de positions aléatoires (voir figures 59 et 60).

```
1   Event 1 ligne_2
2
3   scene3_1 1 1 @rand_range(0., 1.) // index, onOff, position de depart
4
5   Event 1 ligne_3
6
7   scene3_1 2 1 @rand_range(0., 1.) // index, onOff, position de depart
8
9   Event 1 ligne_4
10
11  scene3_1 3 1 @rand_range(0., 1.) // index, onOff, position de depart
```

Fig. 59. Événement Antescofo de création et destruction des lignes à partir de positions aléatoires. L'expression @rand_range(0., 1.) donne comme résultat des valeurs aléatoires entre 0 et 1 qui sont envoyées à Processing.

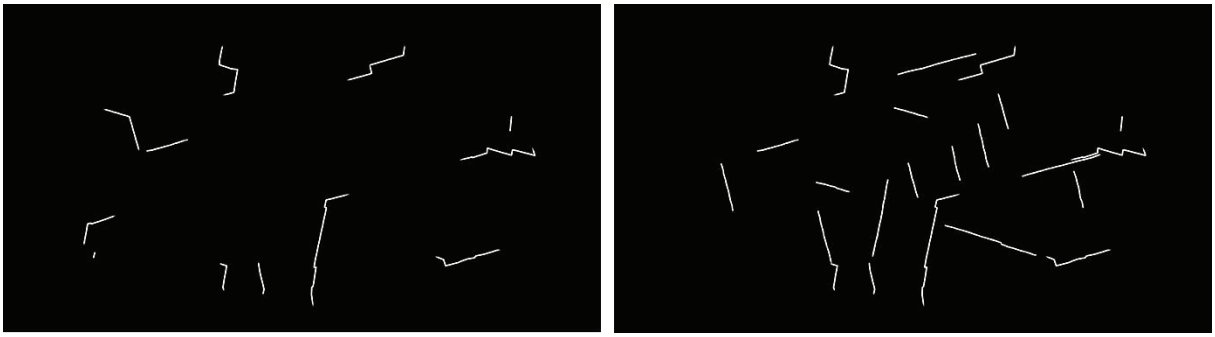


Fig. 60. Captures d'écran de deux états de la partie « Cristal ». Dans la première les lignes se créent de l'extérieur ver l'intérieur, dans la deuxième certaines lignes ont disparues tandis que des nouvelles sont apparues.

Dans la cinquième section, dénommée « Billes », tout en continuant la partie précédente, les lignes commencent à être parcourues par des billes à différentes vitesses. Ces billes possèdent « idéalement » un magnétisme permettant de les tenir collées aux lignes ; après un certain temps les billes commencent à se détacher des lignes et rebondissent sur les segments (fig. 61). Pour la réalisation de cette partie l'implémentation d'un système de modèles physiques masse-ressort a été réalisée avec l'utilisation d'une librairie spécifique dans le logiciel Processing. Au niveau sonore, à chaque instance d'une bille est associée une instance de synthèse granulaire qui est pilotée par la position et la vitesse de déplacement de la bille, la position contrôle la position de lecture du buffer audio et sa position dans l'espace tandis que la vitesse de déplacement de la bille contrôle l'amplitude de chaque grain (fig. 62).

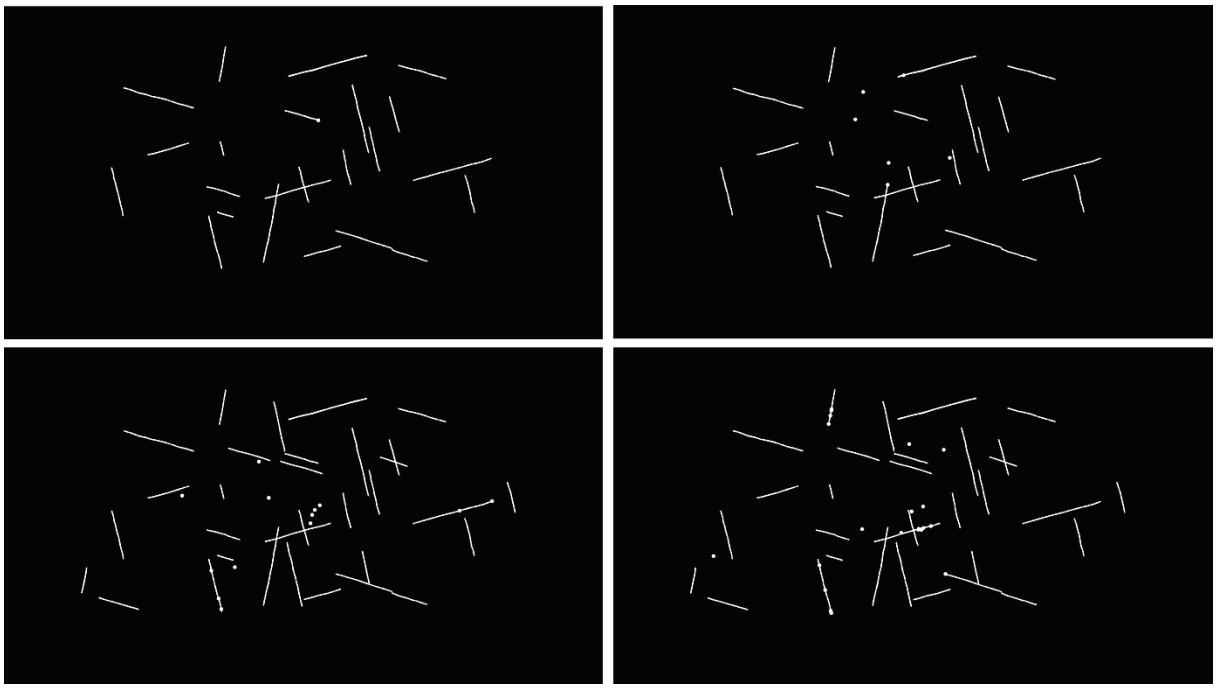


Fig. 61. Captures d'écran des états de la partie « Billes ». En haut à gauche une bille se déplaçant sur une ligne, en haut à droite des billes qui commencent à se détacher. Les deux captures du bas montrent une combinaison des billes sur une ligne et d'autres détachées. La flexibilité du système permet d'instancier plusieurs billes/synthèses en même temps et de façon dynamique.

```
$gran_synths := map{}

Event 1 bille_1_e16_freeze_1

scene3_1 7 0 1. 1.

_ := $gran_synths.insert("bille0", obj::play_bille(0, 0, "2-sc.8+T.aif", -10, 1., 1., 1., 10., "linear", 120))

Event 1 bille1_off_e17_2

trig_gran_seq bille0 off 3

3 abort $gran_synths("bille0")

Event 1 bille_2_e18_3

_ := $gran_synths.insert("bille1", obj::play_bille(1, 5, "harmo-7-tube+disto+Conformal1-1.aif", -30, 1., 1., 1., 10., "linear", 120))

Event 1 bille3_off2_e19_4

scene3_1 12 0 1. 1.

_ := $gran_synths.insert("bille2", obj::play_bille(2, 2, "gran2-materia-1.aif", -18, 1., 1., 1., 10., "linear", 120))


Event 1 bille_3_off3_e20_5

_ := $gran_synths.insert("bille3", obj::play_bille(3, 7, "son17.aif", -10, 1., 1., 1., 10., "linear", 120))

group
{
    trig_gran_seq bille1 off 3
    3 abort $gran_synths("bille1")

    3 trig_gran_seq bille2 off 3
    3 abort $gran_synths("bille2")
}
```

Fig. 62. Exemple des événements Antescofo pour déclencher des billes/synthèses. Chaque "Event" Antescofo place un objet "play_bille" dans le dictionnaire (map) "$gran_synths", ce qui permet par la suite d'opérer des "abort" (destruction dynamique des billes/synthèses) spécifiques sur chaque instance de bille.

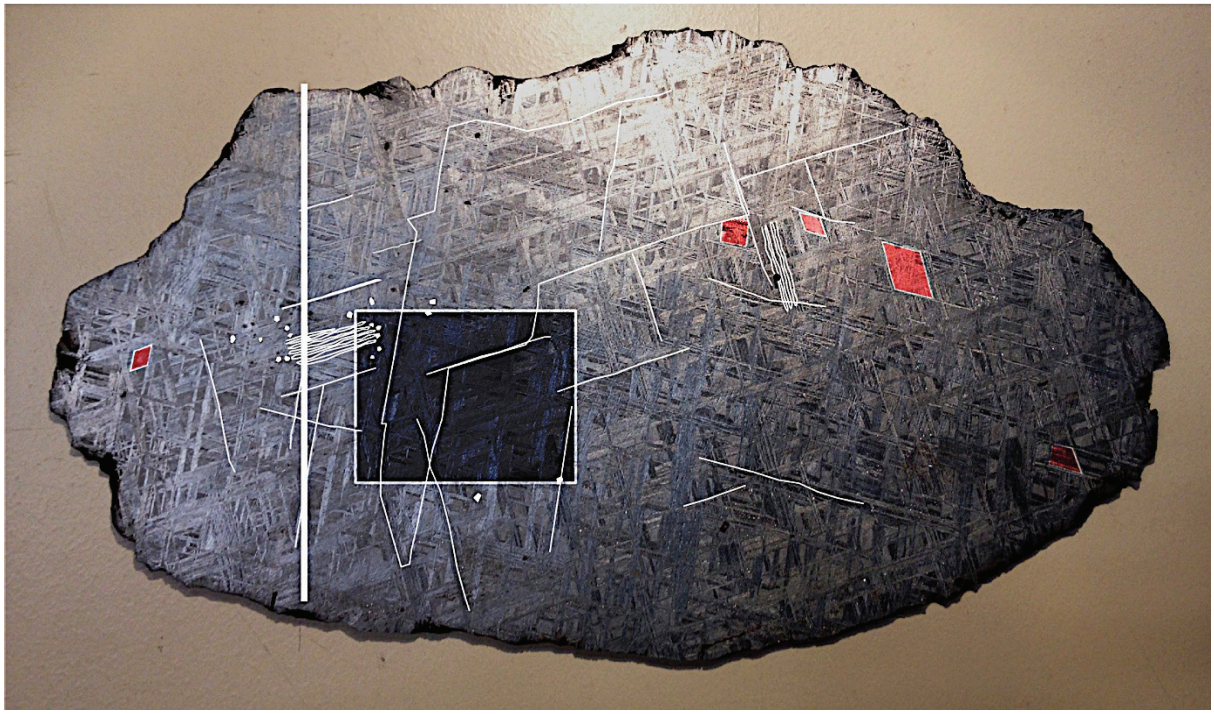


Fig. 63. Exemple des motifs visuels et sonores relevés par le lecteur « scanner » passant sur la plaque ferreuse.

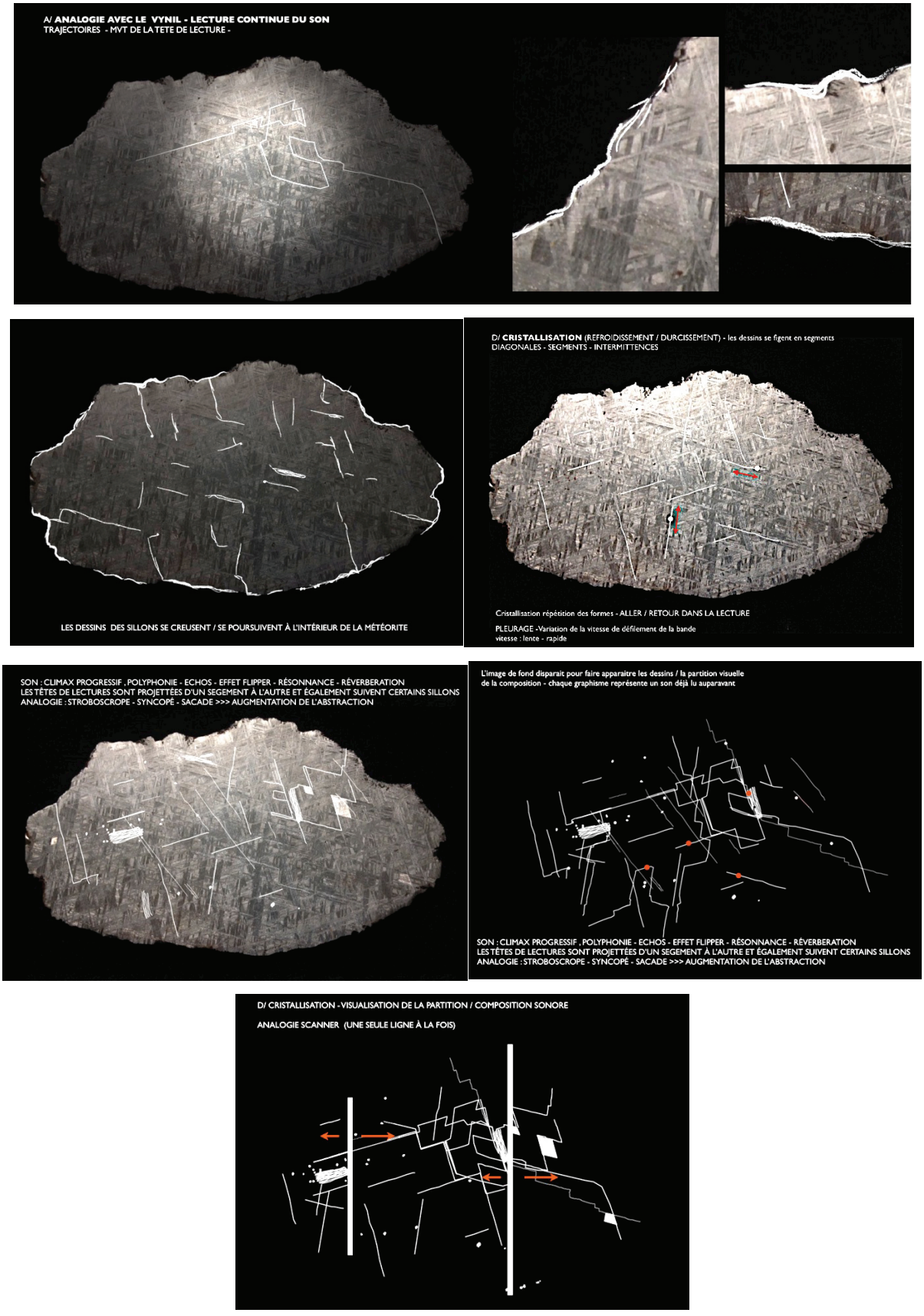


Fig. 64. Différentes étapes d'écriture audiovisuelle du scénario de l'œuvre.

Dans la section finale (VI) « Scanner », une bande électroacoustique 8 pistes est déclenchée en étroite correspondance avec la lecture sur la météorite, comme si un scanner vertical parcourait la surface tout en mettant en relief plusieurs éléments et régions traités auparavant (fig. 63).
Dans *Octaèdrite*, plusieurs plans narratifs et architecturaux se superposent, les objets sont transformés par des processus de compression, dilatation, distorsion : le matériau se déforme, se désintègre, se reconstitue, en changeant d'état et de forme tout en créant une variété de perceptions. Le discours musical se développe dans une écriture de contrastes, de métamorphoses entre des sonorités claires et différents dégrées de saturation, entre des textures suspendues et d'autres extrêmement denses et articulées. Le spectateur est immergé dans l'obscurité de la salle et plongé dans les sonorités spatialisées qui tracent la directionnalité et le discours de la pièce. Un des enjeux du dialogue complexe établi dans cette sculpture audiovisuelle réside dans la possibilité d'altérer la perception des spectateurs, grâce à l'aller-retour constant entre formes visuelles et auditives dans un espace ambigu, pour changer le point de vue et découvrir de nouvelles possibilités de vision et d'audition.
Les images figure 64 indiquent quelques étapes d'écriture audiovisuelle participant au scénario de l'œuvre finale.

V.4 Captation gestuelle et transducteurs

Philiris

Le premier travail de cette thèse touchant à la correspondance entre le geste et les caractéristiques du signal sonore ainsi qu'à la synchronisation et l'interaction entre les mouvements de l'interprète et divers processus sonores est *Philiris* (2016), pour piano, captation gestuelle, transducteurs et électronique, créée le 24 novembre 2016 au *Kubus* du ZKM à Karlsruhe en Allemagne, puis reprise au festival Aujourd'hui Musiques de Perpignan, avec l'interprétation au piano de moi-même et de José Miguel Fernández pour la diffusion électroacoustique.
Dans cette œuvre la recherche dédiée à l'étude du geste instrumental et à sa relation avec l'écriture musicale met l'accent sur le piano et les possibilités d'exploration offertes par l'utilisation des capteurs gestuels et des transducteurs.
Elle ouvre ainsi la voix à un cycle de compositions pour piano axé sur la recherche des différentes possibilités fournies par l'expérimentation sur des modules de captation embarqués, la possibilité de contrôler la synthèse sonore en temps réel à partir de captations gestuelles ainsi que sur le développement de systèmes d'analyse et de reconnaissance du geste utilisés pour la

synchronisation et l'interaction entre les gestes instrumentaux et différents traitements électroniques.

Grâce à l'utilisation des transducteurs (pour recréer et diffuser la synthèse sonore manipulée avec la captation gestuelle) et l'interaction avec l'espace, la construction d'un « double » se met en place, un dialogue virtuel et symbolique s'établi : comme dans un théâtre rituel et invisible les différentes possibilités de traitement électronique s'enchainent et créent un parcours où les images sonores sont évoquées, élaborées et démultipliées, avec des résonances et réflexions pouvant altérer l'expérience d'écoute et sa perception.

Tout en organisant l'œuvre autour d'un jeu en miroir, entre un piano virtuel — qui est traité et diffusé par les transducteurs, en créant une fusion particulière avec le jeu instrumental de l'interprète — et l'instrument acoustique d'une part, l'espace sonore localisé sur scène et son déploiement dans la salle du *Kubus* au ZKM via un système de diffusion multicanal (le *Klangdom***)** d'autre part.

La possibilité d'imaginer, pour cette pièce, des relations multiples et complexes entre les divers matériaux et situations mises en place à travers l'élaboration et la superposition de différents éléments et plans sonores, tout en jouant sur l'alternance entre réel et virtuel pour altérer l'expérience d'écoute et sa perception auprès du spectateur, a ouvert des réflexions intéressantes sur ces thématiques importantes dans mon parcours artistique et de recherche.

La recherche développée dans la composition de cette œuvre a ainsi permis une réflexion importante sur la possibilité de créer des lieux différents à l'intérieur de l'espace d'écoute, conçus en évolution, alternance ou contraste et opposition selon les divers moments de la composition.

Par rapport à l'écriture et la conception spatiale de l'œuvre, l'idée principale de cette exploration est d'utiliser le système de multidiffusion offert par le *Kubus*, un système comportant 45 haut-parleurs en forme de dôme. Nous avons développé un programme qui permet la spatialisation des sons à travers le piano avec l'utilisation des transducteurs et la diffusion dans la salle (fig. 65). Avec ce programme nous pouvons passer d'un son très localisé dans le piano (exemple fig. 66) à un son qui s'ouvre et déploie dans l'espace globale du concert, permettant de jouer ainsi avec cet effet perceptif. Par exemple, dans la section III de la pièce ils sont utilisés des poly-granulateurs en temps réel qui commencent à traiter le son du piano dans l'instrument acoustique, puis graduellement les sons granulaires en viennent à traverser l'espace du *Kubus*.

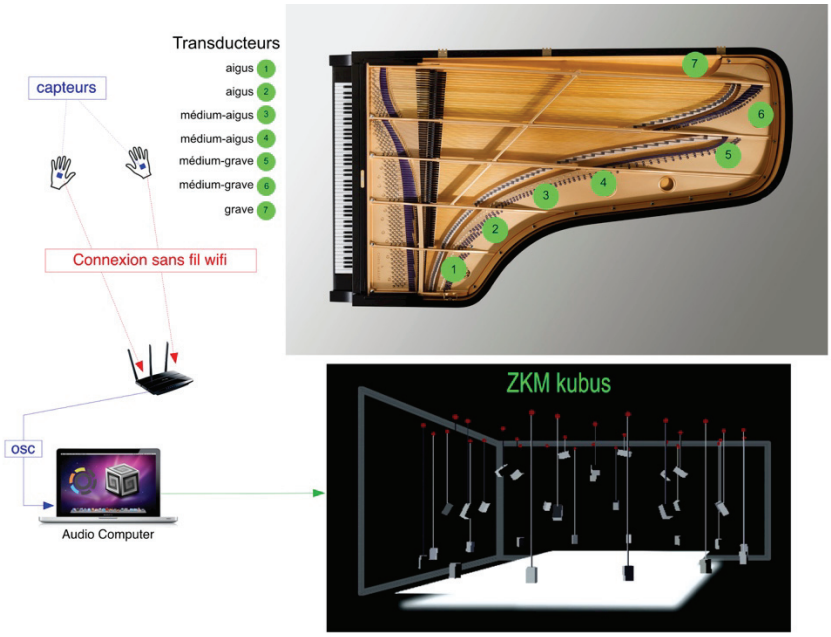


Fig. 65. Schéma technique et disposition des transducteurs dans la table d'harmonie du piano.

La configuration mise au point dans ce dispositif m'a donné la possibilité d'imaginer de nouvelles solutions spatiales à explorer, selon une conception basée sur la création d'« espaces modulables » à l'intérieur du lieu d'écoute de la salle, qui trouvera son déploiement dans d'autres prochains projets artistiques qui découleront de cette recherche amorcée.

De nouveaux aspects touchant au traitement de la directivité des sources sonores et à la relation avec la perception et la cognition de l'espace représentent un nouveau point de départ de ma recherche artistique et technologique par rapport au développement des techniques de spatialisation finalisées à la localisation des différentes sources positionnées dans l'espace global d'écoute de la salle, associées à des objets résonants qui seront excités par des transducteurs pilotés par un dispositif de captation gestuelle.

En ce qui concerne sa structure formelle, l'œuvre *Philiris* est constituée de quatre sections, évoluant selon l'idée principale de créer une ambiguïté entre le son acoustique et celui obtenu par la captation gestuelle.

Dans la première partie de la pièce une mise en confrontation directe entre les accords du piano acoustique et ceux du piano virtuel, mis en jeu par les gestes des mains en l'air, déclenche un mouvement caractérisé par la relation entre les harmonies de l'instrument acoustique et celle produites par l'instrument virtuel.

Fig. 66. Positionnement des transducteurs à l'intérieur du piano (photos de Thomas Goepfer).

D'un point de vue technique, pour la réalisation de cette idée nous avons utilisé un synthétiseur à base de modèles physiques, le *Pianoteq,* joué par des gestes *pantomimes* simulant des accords, exécutés dans l'air avec des déclenchements à partir de la détection de *kicks* (qui sont des mouvements brusques de la main calculés par la dérivée des accéléromètres), ainsi que des *glissandos.*

Dans la composition de cette section il s'est avéré intéressant d'élaborer une écriture détaillée des harmonies des accords crées par les mouvements gestuels, qui changent progressivement de registre, et sont compressés et dilatés, en fonction du déplacement graduel vers la région grave produit par le jeu pianistique en direct. À cet effet, nous avons employé, entre les divers types de traitement utilisés, quatre *harmonizers* en parallèle, ainsi que des gels (*freezes*) granulaires en temps réel.[51]

L'association entre les mouvements des mains séparées sur les diverses régions de l'instrument (du plus aigu au plus grave en passant par le centre), donne lieu à une intensification du discours musical et une densification du matériau sonore ainsi que des traitements électroniques, jusqu'à conduire à une précipitation en *accelerando* des accords dans l'air qui signe la fin de ce mouvement.

Dans la deuxième section de la pièce, l'idée principale repose sur le souhait d'augmenter et multiplier la production du matériau opérée par les doigts du pianiste : au jeu rapide, chromatique et par fragments qui s'allongent progressivement, est associé un jeu dans l'air

[51] En particulier le timbre de l'instrument virtuel évolue ainsi vers le grave en devenant de plus en plus altéré avec des caractéristiques similaires à celles de percussions résonantes.

reproduisant les mêmes caractéristiques musicales (chromatisme et passages rapides programmés dans le même registre et/ou transposés).
La superposition des deux situations est organisée par accumulation de matière, une articulation plus accentuée des doigts sur l'instrument acoustique déclenche une hétérophonie de plus en plus évidente et incisive.
Au niveau technique, l'écriture de l'électronique se compose de délais avec différents types d'enveloppes (type *GRM* tools *Shuffling*) sur le piano réel et sur le virtuel, quatre *harmonizers* en parallèle, des accords du piano virtuel déclenchés à partir des *kicks,* des granulateurs en temps réel avec différents types d'enveloppes.
Grâce à un procédé de spatialisation des traitements de granulation à un moment déterminé de la composition, une transition du piano (par le son sortant des transducteurs) vers la salle du concert (le *Kubus*, dans le cas de la création au ZKM) se mets en place, tout en ouvrant la perception spatiale et révélant une nouvelle audition pour le spectateur. En particulier, certaines hauteurs sont captées et propulsées dans différents point localisés dans la salle par rapport à l'écriture musicale par des traitements de *freezes* granulaires et de « *chops* » (découpages rapides), selon un rythme en intensification et accélération, créant ainsi une polyphonie additionnelle qui souligne le climax expressif de cette section.
Si le troisième mouvement débute tout simplement avec une série de notes répétées produites par *Pianoteq* sur un continuum rythmique au profil irrégulier, la recherche réalisée sur la production de modes de jeu particuliers à l'intérieur de la table d'harmonie a été associée à des traitements électroniques comme des gels spectraux appliqués sur des sons du piano réel activés par des *kicks* avec la captation gestuelle, ou des *glissandos pantomimes* de sons synthétiques (Karplus-Strong).
Au niveau des mouvements gestuels contrôlant ainsi d'autres processus en temps réel, il a été très intéressant pouvoir gérer (notamment avec la main gauche) la synthèse en temps réel ou des sons pilotés par la position et l'orientation de la main.
Par rapport à mon rôle d'interprète dans les phases de préparation et dans la performance au concert, cette situation a complètement stimulé mon idée d'obtenir une synchronisation efficace et musicale entre le jeu de l'instrumentiste et la partie électronique.
La possibilité de pouvoir contrôler en même temps l'évolution des sons de synthèse par le biais de ses propres mains et d'interagir en temps réel de façon cohérente et musicale avec les résultats sonores provoqués ou prédéfinis, représente parfaitement un idéal d'écriture et d'exécution de la musique mixte où la réalisation électronique et instrumentale puissent être interdépendantes et interactives.

Ce contexte nécessitant une certaine liberté expressive d'improvisation en réaction aux productions de la partie électronique, ainsi qu'une connaissance approfondie de la partition et des consignes d'exécution, a alimenté de manière décisive mes réflexions sur la dialectique entre écriture et liberté ou interprétation et improvisation.

Dans la partie finale de la pièce, l'exploration touche à la possibilité de créer, par les biais des mouvements et des oscillations des mains (droite et gauche, programmées ainsi sur des évènements musicaux différents) des sons de synthèse, tout en les contrôlant et modifiant en temps réel selon différentes vitesses et orientations. Diverses situations musicales se mettent en place dans une atmosphère raréfiée et suspendue caractérisée par des sonorités de synthèse additive (réalisées par des procédés de transposition, distorsion, décalage, modifications de l'amplitude et la position spatiale modulée grâce à l'inclinaison des mains). Des *glissandos pantomimes* sur toute l'extension instrumentale sont produits par certains gestes pianistiques, des traitements utilisant des gels granulaires et spectraux spatialisés dans toute la salle (le *Kubus* du ZKM) accompagnent la réverbération des petits fragments musicaux résonants dans les registres les plus éloignés du piano.

La réalisation de cette composition a ouvert des considérations importantes au niveau de la conception sonore et spatio-temporelle de l'œuvre, tout en élargissant l'horizon des possibilités compositionnelles et technologiques, nécessitant de nouvelles occasions d'expérimentation et interaction à plusieurs niveaux.

Taygeta

Taygeta (2017) pour percussions, transducteurs et électronique en temps-réel, créée en novembre 2017 au festival Traiettorie à Parme, en Italie, par Thierry Miroglio, s'inspire de l'idée d'un rapport parfois double, parfois multiple, entre les instruments présents sur scène et l'utilisation des transducteurs et de la captation gestuelle.

Mettant en relation capteurs liés au geste de l'interprète et transducteurs agissant sur les instruments, le dispositif en place dans cette œuvre se tourne vers les instruments à percussion, notamment les peaux du tom grave et de la caisse claire (fig. 67). La possibilité de faire résonner ainsi les superficies de l'un ou de l'autre, de les faire interagir sans les jouer de façon directe, d'explorer les différentes sonorités produites selon le placement des transducteurs (fig. 68), a mené à la création d'une palette de possibilités à la base de la conception de la pièce. L'objectif a été de créer une couleur et une résonance « naturelle » qui amplifie la dimension acoustique tout en apportant volume et épaisseur mais en gardant aussi une relation timbrale très proche du son d'origine.

Ici également l'expérimentation avec les capteurs visant à obtenir la position relative, les attaques et la vitesse de déplacement des mains du percussionniste, ouvre un champ basé sur la correspondance entre les mouvements de l'interprète et les caractéristiques du signal sonore, sur la possibilité de contrôler la synthèse à partir du dispositif de captation gestuelle, sur l'interaction et la synchronisation entre le geste instrumental et les événements électroniques en temps réel.

La possibilité d'augmenter les possibilités instrumentales — en arrivant ainsi à jouer un set « virtuel », plus riche et varié, d'instruments de percussion —, de manipuler, recréer et diffuser les sonorités produites a été un autre axe d'exploration très intéressante.

La structure formelle de l'œuvre interroge d'abord l'écriture sur l'instrument grave et la possibilité de mélanger les sons produits en direct avec ceux résultants des traitements et la rediffusion par les transducteurs. Le choix sonore privilège des aspects granuleux de la matière grave, selon des textures et des pulsations qui deviennent de plus en plus incisives et distordues.

À partir de la fin du premier mouvement, en coïncidant avec des modes de jeu particuliers produits par des rebondissements sur le bord de l'instrument ainsi que l'ouverture du timbre sur la caisse claire, une mise en communication entre les deux percussions débute à travers les résonances produites par le timbre (ouvert) de la caisse claire, les traitements électroniques, comme des granulateurs FFT et des *freezes* (qui intensifient de plus en plus le crescendo et l'accumulation du matériel).

Le deuxième mouvement est caractérisé par une recherche de sonorités légères produites par effleurement des mains et grattage avec les ongles sur la caisse claire, associées aux mouvements gestuels captés contrôlant l'interaction avec l'électronique.

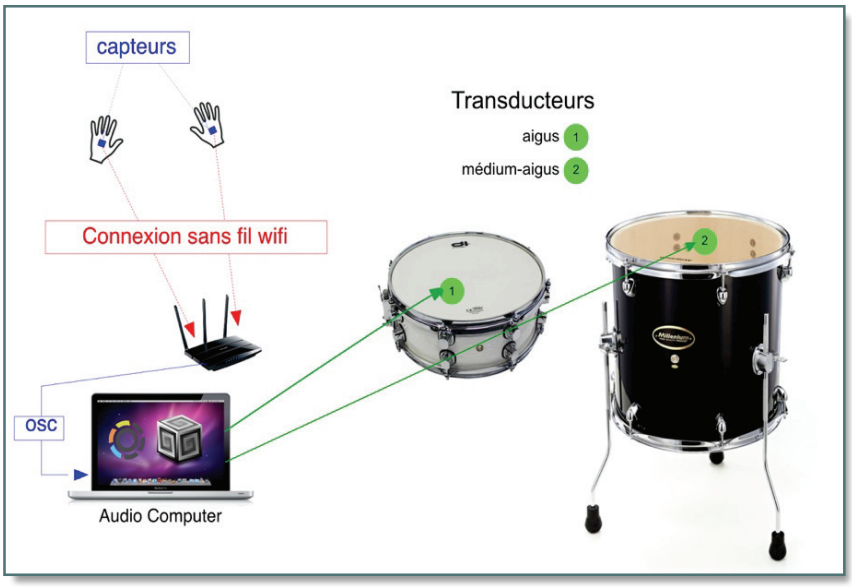


Fig. 67. Schéma technique et disposition des transducteurs sur les peaux des instruments.

Fig. 68. Positionnement des transducteurs sur le tom grave et en dessous de la caisse claire.

Fig. 69. Photo du haut-parleur S.T.ONE (Spherical Tetrahedral ONE) développé par Giuseppe Silvi. Nous avons capturé le son instrumental avec 2 microphones statiques cardioïdes et ensuite nous les avons routé directement vers le S.T.ONE sans délais ni filtrages ni réverbération.

L'exploration menée dans cette pièce a stimulé de nouvelles réflexions sur l'utilisation d'un espace de diffusion du son indexé sur la position des instruments et leur rayonnement propre ainsi que sur les interférences acoustiques produites par leur mise en vibration volontaire ou involontaire. Nous avons testé différents systèmes de sonorisation : sans amplification, en utilisant les haut-parleurs de la salle de concert et avec l'intégration d'une enceinte sphérique.

À l'occasion du concert à la *Casa della musica* à Parme, nous avons privilégié une sonorisation des instruments augmentés par les transducteurs avec une captation de proximité par des microphones statiques (cardioïdes) et une enceinte de type sphérique constitué de quatre haut-parleurs (fig. 69).

Ce système permet une différenciation plus nette des instruments sur la scène (notamment par rapport au son de certains modes de jeu comme, par exemple, le frottement sur les peaux).

À partir de certains axes de recherche restés inexplorés dans la mise en œuvre de la première création, une nouvelle version, *Taygeta II,* a été réalisée pour le concert produit à Strasbourg par l'ensemble Hanatsu Miroir et le percussionniste Olivier Maurel le 22 juin 2018 au Théâtre Espace K de Strasbourg (fig. 70). Selon l'idée originaire de mettre les percussions en dialogue avec la scène, l'espace et les lumières, dans ce travail il a été possible de concevoir un dispositif élargi par rapport à celui mis au point avec Thierry Miroglio, grâce à l'intégration de plusieurs transducteurs de différentes tailles placés sur d'autres instruments à percussions présents sur scène et la disponibilité d'un espace scénique commode pour réaliser mon projet.

L'idée principale est de créer plusieurs localisations d'émission sonore dans l'espace du concert afin de mettre en place un dialogue plus fluide entre le jeu instrumental et les gestes de l'interprète d'une part, et les matériaux et résonances diffusés dans la salle d'autre part. L'écriture, les traitements électroniques et les sources enregistrées mettent l'accent sur les différentes sources sonores environnant le soliste, sculptant, au rythme de l'écriture instrumentale et électronique, l'espace et les différentes alternances musicales et visuelles.

Une orchestration spatialisée complexe est réalisée par les interactions combinées de la captation gestuelle, la spatialisation de la diffusion, le déclenchement de fichiers son joués « dans » les instruments par les transducteurs électroacoustiques, la synthèse concaténative pilotée par les capteurs et la détection d'attaques (*onset detection*) contrôlant des *freezes* (spectraux et temporels) et des granulations en temps réel des sons instrumentaux.

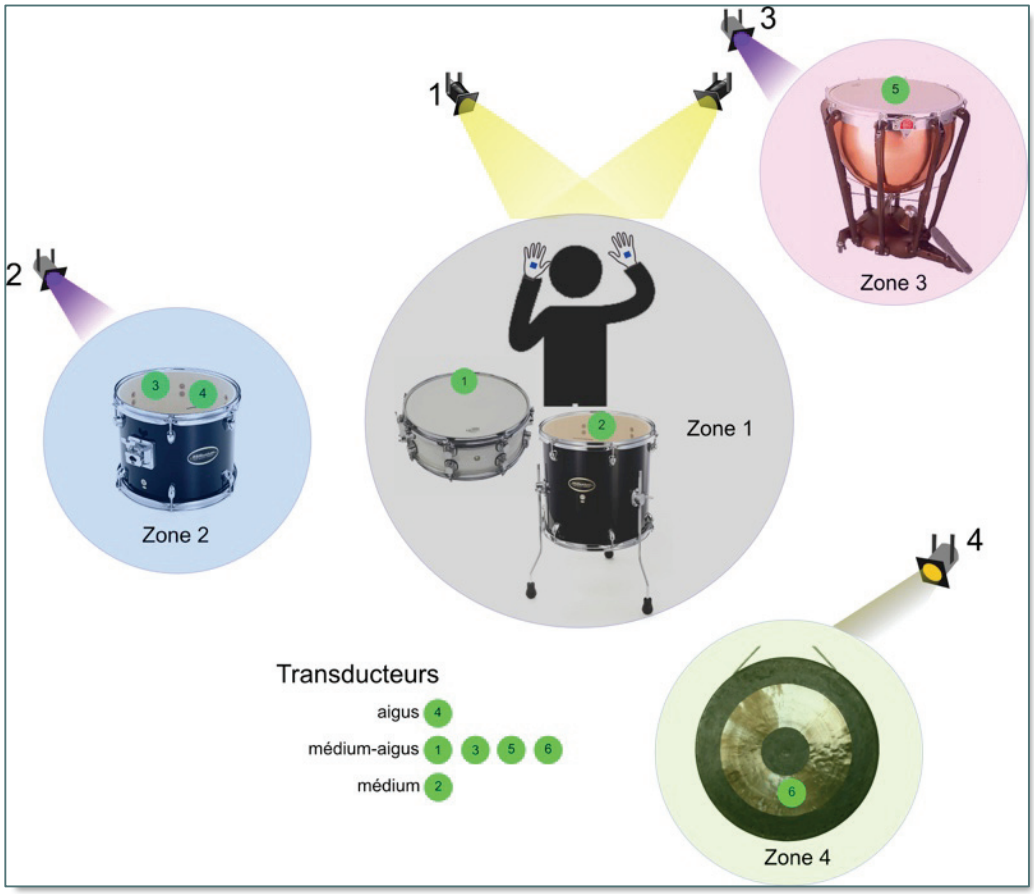


Fig. 70. Taygeta II*, schéma de position des instruments avec les transducteurs et les lumières sur scène.*

Dans l'exemple à la figure 70 le percussionniste joue dans la zone 1 au centre tandis que les autres instruments (zones 2 à 4) sont joués par les transducteurs interactivement. Chaque zone ou instrument est illuminé par un ou deux spots qui sont activés par le programme en interaction avec le jeu instrumental.

Le travail en amont avec le percussionniste a produit un choix des modes de jeu et sonorités particulières sur les instruments, mis en valeur par un dispositif de lumières soulignant les diverses sections structurelles de l'œuvre, avec des moments et des plans spatiaux variés. Pour la correspondance étroite et la synchronisation entre jeu instrumental, captation, électronique et système de lumière évolutif conçu spécialement pour cette production, un travail d'écriture conjointe a été mis au point avec l'éclairagiste Raphael Siefert (fig. 71).

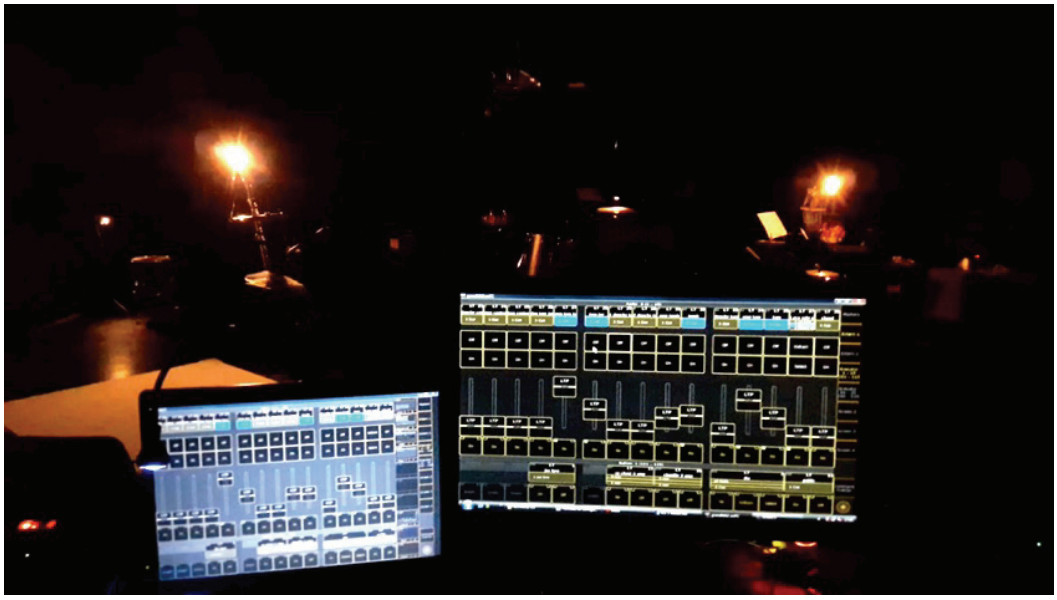


Fig. 71. Page de programmation des lumières, voir l'exemple de vidéo annexé au portfolio montrant la synchronisation réalisée dans Antescofo.

À la figure 72 est présenté un exemple de programmation en Antescofo pour la détection de *kicks* des mains du percussionniste déclenchant des processus sonores et lumineux synchronisés.

À chaque fois que le percussionniste fait un *kick* avec la main droite ou gauche, le système envoie aléatoirement un fichier son (parmi la liste $samples_ev23 à la ligne 43) à un des transducteurs pour exciter un instrument déterminé (ligne 23). Le choix aléatoire de l'instrument est aussi associé à la lumière qui correspond (voir schéma fig. 70), par exemple, si le choix est le canal numéro 4, le son est envoyé au transducteur numéro 4 (tam-tam) et en même temps la lumière numéro 4 va s'allumer pendant un temps compris entre 0.1 et 0.5 secondes (ligne 29).

La figure 73 montre un exemple mettant en relation la vitesse du mouvement des mains et le type de segmentation opérée par la synthèse concaténative par descripteurs. L'objet *mubu.process* procède à une segmentation par détection d'*onset* et une analyse de l'énergie audio de chaque segment. Puis l'objet *mubu.knn* (méthode des *k* plus proche voisins) va chercher le segment le plus proche de la valeur d'accélération des capteurs. Si les mouvements des mains sont brusques et rapides *mubu.knn* cherchera des segments à haut niveau d'énergie, si au contraire les mouvements sont doux et lents le résultat du *knn* sera constitué de sons faibles en intensité.

```
$light_map := map{(1, 1), (2, 4), (3, 7), (4, 11)}

@obj_def kick_sample_list2_rand($osc_perc, $list, $chnl, $antirebond, $lr)
{
  @local $actif
  @init
  {
      _ := $osc_perc.suscribe($THISOBJ)
      $actif := 1
  }
  @proc_def new_data($prepend, $tab)
  {
      // print $prepend
     switch ($prepend)
      {
         case ($lr+"_kick"):
         if($actif==1) {
          group
          {
            group
            {
              @local $chnel
              $chnel := @rand_int($chnl)
                                //playsample_solo_G <buf chnl amp rate group>
              (@rand_range(0.2, 0.5)) playsample_solo_G @choose($list) $chnel @rand_range_int(2, 8) @rand_range(0.8, 1.2) Samples

              midi_out ($light_map($chnel)) 127 //4 7 11
              print $chnel
              (@rand_range(0.1, 0.5)) midi_out 3 0
              midi_out ($light_map($chnel)) 0
              }
            }
          $actif := 0
          ($antirebond)s $actif := 1
        }

      }
   }
   @abort {
      _ := $osc_perc.unsuscribe($THISOBJ)
   }
}
$samples_ev23 := ["guiro_9.aif", "guiro_8.aif", "guiro_7.aif", "guiro_6.aif", "guiro_5.aif", "guiro_4.aif",
                  "guiro_3.aif", "guiro_2.aif", "guiro_1.aif"]

$kick_sampleR_ev23 := obj::kick_sample_list2_rand($R_kick, $samples_ev23, 5, 0.15, "r")
$kick_sampleL_ev23 := obj::kick_sample_list2_rand($L_kick, $samples_ev23, 5, 0.15, "l")
```

Fig. 72. Exemple d'un code Antescofo pour le déclenchement de sons synchronisés aux lumières à travers la détection des kicks des mains du percussionniste grâce à l'utilisation des capteurs.

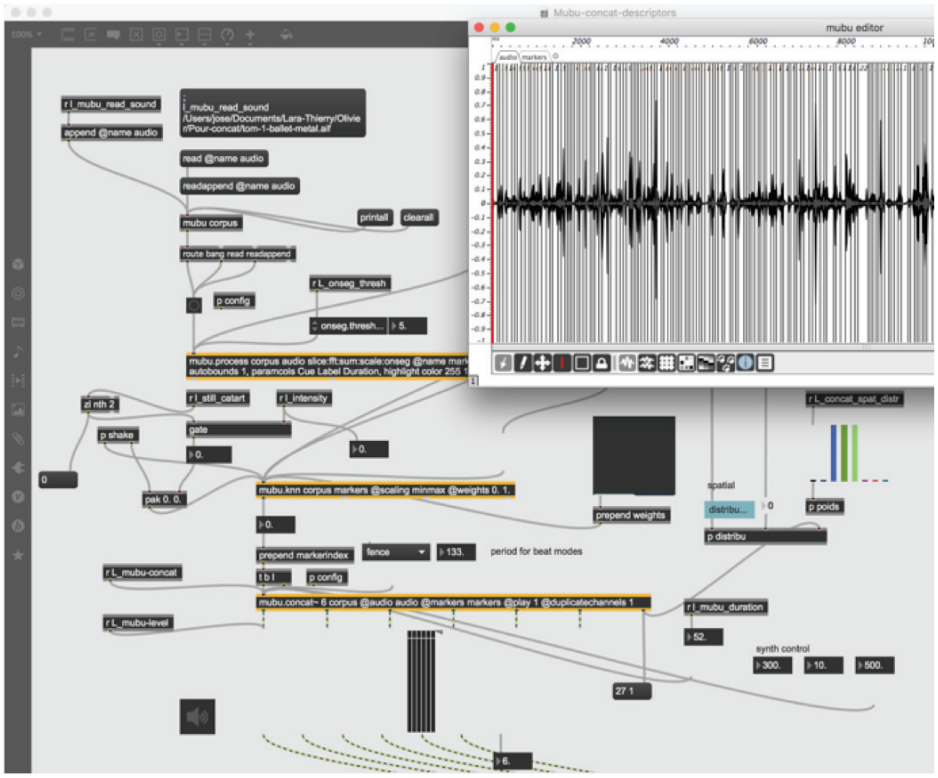


Fig. 73. Capture d'écran d'un patch MaxMSP pour le contrôle gestuel de la synthèse concaténative par descripteurs.

Pour la sonorisation de l'œuvre la seule émission à partir du corps instrumental (augmentée par les transducteurs) a été prise en compte pour la diffusion spatialisée dans le théâtre, car elle était dans ce contexte assez puissante. C'est une situation acoustique optimale au regard des modes de rayonnement des instruments, de leurs interférences et de la perception d'une configuration spatiale complexe dans toute sa subtilité par l'auditoire, favorisant une communication constante et changeante entre la perspective visuelle et la perception auditive et spatiale.

Liphyra

Liphyra (2018), commande de Radio France pour piano, captation gestuelle, transducteurs et électronique en temps réel, diffusée en février 2018 dans l'émission *Création Mondiale* sur France Musique[52] par Anne Montaron, dans l'interprétation de Lara Morciano au piano et José Miguel Fernández pour la diffusion électroacoustique.

Selon le format prévu et imposé par cette émission radiophonique, il s'agit de réaliser une composition de cinq pièces de deux minutes chacune, transmises chaque jour de la semaine, qui seront ensuite données en version intégrale le sixième jour de la semaine de transmission, pour une durée de 30 minutes incluant aussi un portrait et la diffusion d'autres extrais sonores. En partant de cette contrainte de durée pour la composition, ayant des répercussions au niveau de la forme et de la conception, il a été nécessaire d'imaginer des miniatures musicales avec des caractéristiques propres, singulières, diverses et cohérentes, capables de fonctionner formellement dans la version intégrale.

Liphyra, reprenant le même dispositif que *Philiris*, veut aller plus loin dans l'exploration de la relation entre captation gestuelle et génération et traitements des sons ainsi que par rapport à la mise en œuvre de la mixture entre un piano réel et un piano virtuel jouant en quart de tons.

Le nom fait référence, comme pour *Philiris,* à une famille de papillons découverts lors d'une tournée en Australie : les mouvements légers des ailes a inspiré certains mouvements dans l'air produits par l'articulation des doigts du pianiste. Le concept de métamorphose de l'état de larve à celui de magnifique papillon, en passant à travers les différents étapes, suscite également les changements de couleur et d'atmosphère de la pièce (du plus poétique au plus agressif et brutal).

[52] L'écoute de la version intégrale de l'œuvre créée sur France Musique est disponible à l'adresse https://www.francemusique.fr/emissions/creation-mondiale-l-integrale/liphyra-pour-piano-et-electronique-de-lara-morciano-diffusion-integrale-et-portrait-de-la-compositrice-58854.

En reprenant le dispositif interactif mis en place pour *Philiris* j'ai voulu interroger d'autres possibilités de dialogue, prolifération, superposition et contraste caractérisant la double relation entre le piano réel et l'instrument acoustique.

Dans la conception de certains sections de l'œuvre (conçue comme un ensemble de micro-pièces à l'univers indépendant et en même temps formant un déroulement évolutif), j'ai souhaité réaliser des situations musicales et sonores qui sont impossibles à obtenir normalement sur un instrument comme le piano (caractérisé par une fixité sonore conditionnée par l'abaissement des touches sur le clavier).

Pilotée par la captation gestuelle et sortant par les transducteurs, l'utilisation d'un instrument virtuel me permet de créer un mélange des résonances acoustiques (réelles et virtuelles) et de réaliser également des sonorités et des traitements inédits sur le son du piano. J'ai pu créer, par exemple, une interaction avec le piano virtuel accordé en quarts de ton ou bien capter les accords du piano acoustique pour en faire une synthèse en temps réel qui prolonge les sonorités tempérées de l'instrument tout en créant des battements entre les fréquences voisines produites par le piano virtuel, ou encore produire des effets de *glissando* sur des accords tenus sur le clavier.

Chaque pièce est conçue comme un univers sonore indépendant, individuel et unique.

Dans la première pièce, l'idée prévalant (de l'ambigüité du double) explore la cohabitation d'un monde tempéré avec celui d'un instrument résonant virtuel complétement désaccordé, tout en créant une équivoque entre les sons acoustiques et ceux produits par la captation gestuelle.

D'un point de vue technique, le piano virtuel (déclenché par la captation des deux mains jouant dans l'air des accords différents dans un développement graduel qui intensifie progressivement la superposition des éléments utilisés) est étendu de façon microtonale. Il se superpose au piano réel avec un contrôle gestuel basé sur des *kick*s de direction et d'intensité (en fonction de la direction et l'intensité avec laquelle le *kick* est exécuté, différents types d'accords microtonaux seront déclenchés).

Dans quelques passages des séquences générées aléatoirement comme des note répétées ou des *tremolos* sont mises en fonction et stoppés par la captation gestuelle.

Grâce à l'analyse des pics spectraux en temps réel pour réaliser de la resynthèse additive, il est possible aussi d'obtenir un *glissando* des accords joués par le piano.

Après la présentation, la confrontation et l'accumulation des deux sources différentes dans la première pièce, la deuxième est guidée par des procédés de contraste et de morphing à travers différentes situations expressives. Le piano, à la couleur parfois onirique et expressive, interagit avec l'électronique ayant fonction d'intensification, de contraste et détournement progressif du

timbre habituel par les traitements utilisés. Cette dernière se développe à travers la détection des différentes hauteurs aiguës du piano, afin de les prolonger pour créer progressivement un enrobage granulaire de démultiplication sonore dans laquelle le piano (par un morphing mettant en relief les éléments électroniques protagonistes) s'évapore jusqu'à disparaître.

Dans cette pièce sont mise en places, au niveau technique :

- Une détection de seuils d'intensités d'attaques pour faire des traitements spécifiques (4 *frequency shifter* en parallèle vers une réverbération) sur des attaques. Des seuils audio et de captation (accéléromètres).
- Des délais avec différents type d'enveloppes (type GRM *tools Shuffling*) sur piano réel et activés par des *kicks* de captation des mains. Chaque déclenchement change les différents temps des délais (7 délais en parallèle).
- 4 *harmonizers* en parallèle.
- Des déclenchements et arrêts des séquences mélodiques microtonales du piano virtuel *Pianoteq* à partir de *kicks* de captation gestuelle.
- Une détection d'*onset* pour déclencher les granulateurs et geler le son afin de créer des textures continues (grâce à la création dynamique de processus et traitements Anstescofo/SuperCollider).

Dans la troisième miniature, le piano virtuel commence à affirmer son autonomie avec des éléments indépendants et une exploration timbrale à l'intérieur de la table d'harmonie. Cette recherche de sonorités particulières et assez bruitées est associée à la possibilité de superposer et contrôler des sons de synthèse concaténative par descripteurs pilotée par l'inclinaison latérale et frontale de la main gauche.

D'autres traitements de prolifération rythmique réalisés par des granulateurs avec différentes enveloppes pilotées rythmiquement par Antescofo s'associent à des poly-gels des sons granulaires par détection d'*onset* qui amènent au quatrième mouvement, caractérisé par l'émancipation plus forte de l'instrument virtuel.

Des procédés d'imitation, de superposition des éléments précédents, de densification et saturation des matériaux sonores, le déclenchement de séquences mélodiques microtonales très rapides, conduisent au climax de la pièce.

Pour la cinquième miniature j'ai imaginé une atmosphère de suspension et raréfaction caractérisée par une fusion entre les sons instrumentaux et les sons de synthèse modulés et contrôlés par la captation gestuelle.

La prolongation et superposition de différentes couches sonores à travers des traitements électroniques comme des *freezes* temporels et *freezes* spectraux se combinent à de la synthèse

additive modulée par l'inclinaison des mains. Tous les sons se génèrent en temps réel à partir du son du piano, transformant et détournant le timbre de l'instrument par des sonorités transfigurées et irréelles.

Conclusion

Le travail sur la musique mixte m'a offert une grande richesse de possibilités formelles et expressives à travers l'interaction instruments/électronique dans tous ses déploiements sonores, spatiaux et temporels, et m'a suggéré de nouvelles stratégies d'élaboration et de structuration des matériaux issus d'une diversité de champs artistiques.

L'ensemble des concepts et des outils traités durant cette thèse font partie d'un parcours intellectuel qui a profondément transformé ma réflexion et ma pratique compositionnelle.

La possibilité de développer des axes d'expérimentation et de recherche dans le cadre de ce parcours doctoral, en particulier au sein de l'équipe Représentations Musicales à l'Ircam, m'a permis de tisser des liens très étroits avec des musiciens, artistes, chercheurs et scientifiques, tout en développant mes projets dans un contexte interdisciplinaire très stimulant. Ma pensée musicale a été fortement influencée et nourrie par ces échanges fructueux et par les collaborations dynamiques nées dans cet environnement. Les multiples interactions et influences réciproques, la possibilité d'expérimenter et d'explorer ensemble de nouvelles pistes, à la fois sur un plan pratique et théorique ont représenté un des aspects les plus enthousiasmants et les plus transformants de cette expérience.

Ces recherches ont suscité des questionnements profonds sur les idées créatives et les moyens nécessaires pour les réaliser, tels que, par exemple, la relation entre interprète/dispositif/espace/ impact visuel/forme du concert, m'obligeant à formaliser une série d'hypothèses et à porter un regard nouveau sur la conception et la réalisation d'œuvres en création contemporaine.

Le rapprochement des différentes arts exposés dans cette recherche m'a aussi incitée à m'interroger sur la co-écriture des différents langages et la configuration des éléments hétérogènes mis en jeu, sur la correspondance (plus ou moins évidente) entre les paramètres d'expression possibles, sur les relations dynamiques spatio-temporelles et audio-visuelles et leur possibilités de réception auprès du public. Concernant l'interactivité dans un cadre multidisciplinaire, la question de la combinaison de moyens hétérogènes reste encore ouverte. Une pensée relationnelle plus approfondie pour l'ensembles de structures et d'architectures multiples imaginées nécessitera une évolution des recherches effectuées jusqu'à aujourd'hui. En particulier, une prise en compte de la gestion temporelle et expressive adéquate pour la mise au point de nouvelles formes de spectacles interactifs multi-arts met en exergue le besoin d'une exploration plus profonde des dynamiques sous-jacentes à la conjugaison conjointe d'esthétiques et d'idiomes artistiques différents, et une meilleure prise en compte des aspects perceptifs spécifiques de la réception des différents type d'œuvres.

La conception d'installations et concerts intégrant les arts plastiques et la lumière stimule la recherche de solutions ne se limitant pas seulement à une correspondance structurelle et esthétique reposant sur une synchronisation efficace entre les dispositifs utilisés, mais pousse à un dialogue à un niveau esthétique plus profond, révélateur de significations émergentes inédites.

Pour ce qui concerne la perception de l'œuvre musicale dans une situation de confrontation avec d'autres expressions artistiques, il sera nécessaire de procéder à un approfondissement des connaissances touchant aux aspects perceptifs et cognitifs visuels, sonores et spatiaux, pour une prise en compte de nouveaux paramètres d'écriture, en intégrant les systèmes interactifs et la captation gestuelle..

Je rajoute que les compositions réalisées dans ce doctorat reflètent des problématiques personnelles relatives à l'écriture et à la notation conditionnées par les contraintes technologiques. Ainsi, dans l'évolution des critères liés à mon écriture, il a été souvent utile, dans la confrontation avec les moyens informatiques et les exigences de la performance en temps réel, de procéder à une certaine simplification de paramètres d'écriture tels que l'articulation rythmique ainsi que de la graphie utilisée dans la notation, par rapport aux pratiques habituelles de l'univers instrumental. La réalisation électronique a aussi imposé des choix dans l'écriture des parties interactives en temps réel, en se libérant parfois des mensurations métriques préétablies ou quantifiables. Des solutions de notation spécifiques doivent alors être élaborées pour arriver à formuler et traduire le plus fidèlement possible ces situations musicales hybrides. L'expertise personnelle des pratiques informatiques utilisées dans les œuvres réalisées, associée à la possibilité de contrôle direct exercée par ma présence au moment de l'exécution, n'ont pas favorisé jusque-là l'urgence de codification supplémentaire, expliquant, par exemple, l'absence de notation graphique spécifique de l'électronique sur plusieurs exemples de partitions montrés dans la thèse. Cette dimension de la composition hybride devra être résolue par une réflexion plus poussée sur la notation, porteuse d'un potentiel renouvellement du codage et de la transmission des œuvres mixtes interactives. On pense, par exemple, aux travaux sur la notation interactive avec InScore[53] du Grame, ou aux représentations utilisées par Pierre Couprie dans son logiciel eAnalysis (Couprie 2018) qui ouvrent des perspectives inédites à cet égard.

[53] InScore, *An Environment For The Design Of Interactive Augmented Music Scores*.
URL : http://inscore.sourceforge.net/

À travers une combinaison de recherche expérimentale et de création, ce travail doctoral m'a enfin permis une re-saisie théorique et esthétique de l'ensemble de mes pratiques d'écriture et de programmation qui nourrira indiscutablement mon univers musical futur.

ANNEXE : Catalogue des œuvres et activités artistiques

Compositions réalisées pour le doctorat SACRe

Raggi di stringhe (2011- reprise 2017/2018) pour violon et électronique en temps réel.
Commande de l'Ircam-Centre Pompidou. Prix international de composition Giga-Hertz ZKM/ ExperimentalStudio 2012.
Réalisation informatique musicale Ircam José Miguel Fernández.
Durée 18 minutes.

- Création en mars 2011 dans la Grande Salle du Centre Pompidou par Hae-Sun Kang.
- Reprises successives (précédentes à la période doctorale) au festival Traiettorie à Parme en octobre 2011 et au festival Fabbrica Europa à Florence en mai 2012.
- Création en Suisse en avril 2015 par l'ensemble Vortex au Centre PasquArt de Bienne, en juin 2015 à la Fonderie Kluger de Genève, violoniste Rada Hadjikostova.
- Création en février 2017 dans le festival « Tracce …di Lara Morciano » à l'Istituto Italiano di Cultura de Strasbourg, violoniste Hae-Sun Kang.
- Reprise en mars 2017 dans le festival Electr()cution de l'ensemble Sillages à La Passerelle de Brest, violoniste Lyonel Schmit.
- Création de la reprise en décembre 2018 à la Philharmonie de Paris par la violoniste Hae-Sun Kang dans le concert Féminin-pluriel des Solistes de l'Ensemble intercontemporain.
- Reprise du concert en mars 2019 à l'Opéra de Dijon - le Consortium en partenariat avec Why Note/Ici l'Onde.

Embedding tangles (2014), pour flûte et électronique en temps réel.
Commande de l'ensemble Contrechamps.
Réalisation informatique musicale José Miguel Fernández.
Durée 13 minutes.

- Création en janvier 2014 au Musée d'art et d'histoire de Genève par le flûtiste Sébastian Jacot de l'ensemble Contrechamps.

- Création française en février 2016 au festival Présences de Radio France par Mario Caroli.
- Création italienne en mars 2016 au MART, Museo d'Arte Moderna e Contemporanea di Trento e Rovereto, Italie, flûtiste Mario Caroli.
- Création australienne en septembre 2016 au Bendigo International Festival of Exploratory Music à Bendigo (Melbourne), flûtiste Melissa Doecke.
- Reprise en février 2017 par Mario Caroli dans le festival « Tracce …di Lara Morciano » à l'Istituto Italiano di Cultura de Strasbourg.
- Sortie en octobre 2017 de l'exposition de l'œuvre dans l'application *Virtual Dream Center* 2.0, projet interactif de Jean-Baptiste Lenglet, docteur SACRe - Beaux-Arts, Paris. (URL : www.virtualdreamcenter.xyz).

Estremo d'ombra (2015), pour cinq solistes et électronique en temps réel.
Commande de l'Ircam-Centre Pompidou et de La Biennale de Venise.
Flûte - Mario Caroli , sax alto et baryton - Claude Delangle, trombone - Benny Sluchin, alto - Garth Knox, contrebasse - Nicolas Crosse.
Réalisation informatique musicale Ircam José Miguel Fernández, mises en espace et création lumières Linda Duskova.
Durée 26 minutes.

- Création en octobre 2015 au Teatro Piccolo Arsenale de Venise.
- Création française en février 2016 dans le cadre du festival Présences de Radio France.
- Création australienne en septembre 2016 dans le cadre du Bendigo International Festival of Exploratory Music à Bendigo (Melbourne).

Les atomes (2015), musique pour un film de Lara Hirzel, docteur SACRe - La Femis, Paris.

Microgroove I (2015), installation audiovisuelle créée en collaboration avec l'artiste plasticienne Félicie d'Estienne d'Orves au CENTQUATRE, Paris, dans le cadre de la Biennale internationale des arts numériques NEMO : *Prosopopées, quand les objets prennent vie* (du 5 décembre 2015-31 janvier 2016).

Octaédrite (2016), spectacle audiovisuel en collaboration avec la plasticienne Félicie d'Estienne d'Orves, réalisation informatique musicale José Miguel Fernández.
Durée 22 minutes.

- Création en janvier 2016 au Conservatoire National Supérieur de Musique et de Danse de Paris dans le cadre de la Biennale Nemo.

Philiris (2016), pour piano, captation gestuelle, transducteurs et électronique en temps réel. Commande du ZKM.
Durée 18 minutes.
Création en novembre 2016 dans le Kubus du ZKM à Karlsruhe dans le cadre du festival et du Giga Hertz award-winners concert, pianiste Lara Morciano, réalisation informatique musicale José Miguel Fernández.

- Création française en novembre 2016 au festival Musiques d'Aujourd'hui à Perpignan, pianiste Lara Morciano.

Origine Seconda, pour piano et ***Liquide armonie*** (2016) pour cor de basset.

- Créations françaises en octobre et décembre 2016 dans le festival « Tracce …di Lara Morciano » à l'Istituto Italiano di Cultura de Strasbourg.

Taygeta (2017) pour percussions, captation gestuelle, transducteurs et électronique en temps réel.
Commande du festival Traiettorie -Parme.
Réalisation informatique musicale José Miguel Fernández.
Durée 7 minutes.

- Création en novembre 2017 au festival Traiettorie à Parme par Thiery Miroglio.

Liphyra (2018), pour piano, captation gestuelle, transducteurs et électronique en temps réel.
Commande de Radio France pour l'émission *Création Mondiale.*
Réalisation informatique musicale José Miguel Fernández.
Durée 11 minutes.

- Création sur France Musique en février 2018, pianiste Lara Morciano.

Taygeta II (2018) pour percussions, captation gestuelle, transducteurs et électronique en temps réel.
Commande de l'ensemble Hanatsu Miroir.
Réalisation informatique musicale José Miguel Fernández, création lumières Raphael Siefert.
Durée 8 minuti.

- Création en juin 2018 à l'Espace K de Strasbourg par Olivier Maurel.

Autres activités relatives à la production doctorale

- Résidence de recherche à la Muse en circuit pour la préparation de *Liphyra* en 2018.
- Résidences de recherche et création au ZKM à Karlsruhe en 2014, 2015 et 2016 sur différentes thématiques de recherche en préparation des créations artistiques (*Octaédrite* et *Philiris*) qui ont été réalisées successivement.
- Résidence au 104 de Paris pour la préparation de l'installation audiovisuelle *Microgroove I* en 2015.
- Résidence de recherche à la MAC de Créteil pour la préparation du spectacle *Octaédrite* en 2015.
- Résidences à l'Ircam pour la préparation des pièces *Microgroove*, *Octaédrite, Taygeta* en 2015-2018.
- Résidence à La Laiterie Artefact et au Théatre Espace K de Strasbourg pour la préparation de *Taygeta II* en 2018.
- Participations à des émissions radiophoniques sur France Musique *(Alla Breve*/*Création Mondiale*, *Le concert du soir*, *Le concert de l'après-midi)*, à la Fondation Louis Vuitton, Rai-RadioTelevisione Italiana, Radio3Suite, Radio Nationale Slovène, Radio Suisse Romande, ABC Classic FM, de 2014 à 2018.
- Divers séminaires et présentations des travaux de recherche dans des institutions internationales (Harvard University à Boston, MIT à Boston, New England Conservatory à Boston, Monash University à Melbourne, Ircam, Fondation Louis Vuitton à Paris, La Passerelle de Brest, Fabbrica Europa à Florence).

Bibliographie

Barbanti Roberto, Enrique Lynch, Carmen Pardo et Makis Solomos (2004). *Musiques, arts, technologies – pour une approche critique*. Paris: L'Harmattan.

Barkati, Karim (2009). *Entre temps réel et temps différé - Pratiques, techniques et enjeux de l'informatique dans la musique contemporaine*. Thèse de doctorat, Université Paris 8 Vincennes-Saint Denis.

Barrière, Jean-Baptiste (1991). *Le timbre, métaphore pour la composition*. Christian Bourgois Editeur.

Bériachvili, Georges (2013). «L'œuvre de François-Bernard Mâche : la Nature en surface et en profondeur». Communication présentée au colloque Musique et écologies du son. Projets théoriques et pratiques pour une écoute du monde, Université Paris 8.

Bioteau, Alain (2013) «Spatialisation et écriture de l'espace, des pionniers à Emmanuel Nunes». In: *Théories de la composition musicale au XXe siècle*. Lyon: Symétrie Recherche, pp. 1337-1366.

Blondeau, Julia (2017). *Espaces compositionnels et temps multiples : de la relation forme/matériau*. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie.

Boulez, Pierre (1987). «Penser la musique aujourd'hui». Paris: Gallimard.

Boulez, Pierre et Nattiez Jean-Jacques (1991). «Musique/espace». *Lien, revue d'esthétique musicale* «L'Espace du son II», pp. 115-116.

Buffet, François (2006). *Influences du matériau sonore sur l'écriture du temps dans l'œuvre mixte de Jean-Claude Risset*. Mémoire pour l'obtention du Master Musique et Musicologie, Université Paris Sorbonne (Paris IV).

Cadoz, Claude (1988). «Instrumental gesture and musical composition». In: *Proceedings International Computer Music Conference (ICMC'88)*, pp. 1-12.

Cadoz, Claude (1994). «Le geste canal de communication homme-machine. La communication instrumentale». In: *Sciences Informatiques - Numéro Spécial: Interface Homme-Machine*, vol. 13, no. 1, pp. 31-61.

Carpentier Thibaut, Noisternig Markus et Warusfel Olivier (2015). «Twenty Years of Ircam Spat: Looking Back, Looking Forward». In: *41st International Computer Music Conference (ICMC* '15*)*, Denton, TX, United States, pp. 270-277.

Chowning, John (1971). «The simulation of Moving Sound Sources». In: *Journal of the Audio Society*, XIX/1. Lon Angeles, pp. 2-6.

Conseil, Simon (2008). *Suivi tridimensionnel de la main et reconnaissance de gestes pour les Interfaces Homme Machine*. Thèse de doctorat, Université Paul Cézanne - Aix-Marseille III.

Cont, Arshia (2008). «Antescofo: Anticipatory Synchronization and Control of Interactive Parameters in Computer Music». In: *International Computer Music Conference (ICMC* '08*)*, Belfast, Ireland, pp. 33-40.

Cont, Arshia (2011). «Modélisation anticipative des systèmes musicaux. Reconnaissance, génération, synchronisation et programmation synchrone temps réel en informatique musicale». In: *Revue des Sciences et Technologies de l'Information* - Série TSI : Technique et Science Informatiques, Lavoisier, 2012, 31 (3), pp.311-335.

Couprie, Pierre (2001). *Le vocabulaire de l'objet sonore.* Du sonore au musical. Paris: L'Harmattan.

Couprie, Pierre (2018). «Methods and Tools for Transcribing Electroacoustic Music». In: S. Bhagwati, J. Bresson (éd.) Proceedings of the Int. Conf. on Technologies for Music Notation and Representation – TENOR'18, Montréal, 2018.

de Cheveigné, Alain (2005). «Espace et son». In: Berthoz A (Eds.), *Les espaces de l'homme*. Paris: Odile Jacob, pp. 195-218.

Delalande François, Formosa Marcel et Frémiot Marcel (1996). «Les Unités sémiotiques temporelles : éléments nouveaux d'analyse musicale». Laboratoire musique et informatique de Marseille, Marseille.

Depalle Philippe et Poirot Gilles (1991). «SVP: A Modular System for Analysis, Processing and Synthesis of Sound Signals». In: *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC* '91*)*, Montreal, Canada**,** pp. 161-164.

Di Scipio, Agostino (1994). «Formal Processes of Timbre Composition. Challenging the Dualistic Paradigm of Computer Music». In: *Proceedings of the 1994 International Computer Music Conference*. San Francisco, International Computer Music Association, pp. 202-208.

Di Scipio, Agostino (2001). «Clarification on Xenakis: the Cybernetics of Stochastic Music». In: M. Solomos (éd.), *Présences de / Presences of Iannis Xenakis*. Paris: Cdmc, p. 71-84.

Di Scipio, Agostino (2003) *Universi del suono. Scritti e interventi 1955-1994*. Milano: Ricordi, pp. 96.

Dolson, Mark (1986) «The phase vocoder: A tutorial». In: *Computer Music Journal*, vol. 10, no. 4, pp. 14-27. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Donat-Bouillud Pierre, Giavitto Jean-Louis, Cont Arshia, Schmidt Nicolas, Orlarey Yann (2016). «Embedding native audio-processing in a score following system with quasi sample accuracy. In: *42th International Computer Music Conference (ICMC 2016)* - 2016, Utrecht, Netherlands.

Dufeu, Frédéric (2010). *Mémoires artificielles et outils de création musicale* : *Conséquences de l'emploi des lutheries électroniques et numériques sur la conception et l'appréhension des musiques électroacoustiques.* Thèse de doctorat de l'Université Rennes 2.

Echeveste, José (2015*). Un langage de programmation pour composer l'interaction musicale : la gestion du temps et des événements dans Antescofo.* Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI.

Fdili Alaoui, Sarah (2012). *Analyse du geste dansé et retours visuels par modèles physiques: apport des qualités de mouvement à l'interaction.* Thèse de doctorat, Université Paris-Sud.

Feneyrou, Laurent (2013). «Pierre Boulez». In: *Théories de la composition musicale au XXème siècle*. Lyon: Symétrie Recherche, série 20-21, pp. 991-1020.

Feyereisen, Pierre (1997) «The competition between Gesture and Speech Production in Dual Task-paradigms». In: *Journal of memory and language*, pp. 13-33.

Giavitto Jean-Louis, Cont Arshia, Echeveste José et MuTAnt Team Members (2016). «Antescofo: a not-so-short introduction to version 0.x». Internal Report, Ircam STMS Lab, Inria MuTAnt team.

Giavitto, Jean-Louis (2014). «Du temps écrits au temps produit en informatique musicale». Hugues Vinet. *Produire le temps*. Hermann, pp.73-106.

Horner Andrew, Beauchamp James et Haken Lippold (1993). «Methods for multiple wavetable synthesis of musical instrument tones». In: *Journal of the Audio Engineering Society* 41(5), pp. 336-356.

Jules Françoise, Norbert Schnell et Frédéric Bevilacqua. «MaD: Mapping by Demonstration for Continuous Sonification». ACM SIGGRAPH 2014 Emerging Technologies, Vancouver, Canada, France.

Mâche, François-Bernard (1983). *Musique, mythe, nature, ou les Dauphins d'Arion*. Paris: Méridiens Klinksieck.

Manoury, Philippe (1990) *La note et le son*. Paris: L'Harmattan.

Manoury, Philippe (2007). «Les partitions virtuelles». In: Considérations (toujours actuelles) sur l'état de la musique en temps réel. L'étincelle, 3. L'étincelle, le journal de la création à l'Ircam. URL : http://www.philippemanoury.com/?p=340

Manoury, Philippe (2012). *Les Grammaires Génératives musicales.*

URL : http://www.philippemanoury.com/?p=5025.%202012

Manoury, Philippe (2015). *Les chaînes de Markov... à l'infini.*
URL : http://www.philippemanoury.com/?p=5685

McAdams Stephen et Deliege Irène (1988). «Timbre et processus formels». In: *La musique et le sciences cognitives*. Liège-Bruxelles: Pierre Mardaga, pp. 190.

McCartney, James (1996). «SuperCollider: A new real time synthesis language». In: *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC '96)*, pp. 257-258.

McCartney, James (2002). «Rethinking the computer music language: SuperCollider». In: *Computer Music Journal*, 26, pp. 61-68.

Métois, Eric (1996). *Musical Sound Information - Musical Gestures and Embedding Systems*. Thèse de doctorat, Massachusetts Institut of Technology.

Miranda Eduardo R. et Wanderley Marcelo M. (2006). *New Digital Musical Instruments: Control and Interaction Beyond the Keyboard.* The computer music and digital audio series, volume 21. Middelton, Wiscounsin: A-R Editions, Inc.

Montecchio Nicola et Cont Arshia (2011). «A Unified Approach to Real Time Audio-to-Score and Audio-to-Audio Alignment Using Sequential Montecarlo Inference Techniques». In: *Proceedings of International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, Prague, Czech Republic, pp.193-196.

Moore, F. Richard (1987). «The disfunctions of midi». In: *Proceedings International Computer Music Conference (ICMC'87)*, pp. 256-262.

Nattiez, Jean-Jacques (2004). «Timbre». In: *Musiques*, vol. 2 : *Les savoirs musicaux*. Acte Sud/Cité de la musique.

Peeters, Geoffroy (2004). «A large set of audio features for sound description (similarity and classification) in the CUIDADO project». Cuidado projet report, Institut de Recherche et de Coordination Acoustique Musique (IRCAM), pp. 1-25.

Potard Yves, Baisnée Pierre-François et Barrière, Jean-Baptiste (1986). «Experimenting with models of resonance produced by a new technic of the analysis of impulsive sounds», *Proceedings of 1986 International Computer Music Conference*, La Haye, Berkeley, Computer Music Association.

Pottier, Laurent (2009). *Le calcul de la musique. Composition, modèles & outils.* Centre Interdisciplinaire d'Etudes et de Recherche sur l'Expression Contemporaine (CIEREC), Travaux 44, Collection «Musique et Musicologie». Publications de l'Université de Saint-Etienne.

Pottier, Laurent (2012). *Les musiques mixtes temps réel: pour une interprétation du son électronique en concert*. Soixante ans de musiques mixtes. Paris, France.

Puckette, Miller S. (1991). «Combining event and signal processing in the max graphical programming environment». In: *Computer Music Journal* 15(3), pp. 68-77.

Puckette, Miller S. (1997). «Pure data». In: *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC* '97*)*. San Francisco: International Computer Music Association, pp. 224-227.

Rimé Bernard et Schiaratura Loris (1991). *Gesture and speech.* In: R. S. Feldman & B. Rimé (Eds), *Fundamentals of nonverbal behavior*. New York & Cambridge: Cambridge Univ. Press, pp. 239–281.

Risset, J.-Claude (1969). *An introductory catalogue of synthesized sounds*, Bell Telephone Laboratories, Murray Hill, New Jersey.

Risset, Jean-Claude (1985). «Le compositeur et ses machines». In: *Esprit*, No. 99 (3). Éditions Esprit.

Risset, Jean-Claude (1999). «Composing in real-time?» In: *Contemporary Music Review*, 18(3) pp. 31–39.

Risset, Jean-Claude (2007). «Préface. Horacio Vaggione : vers un syntaxe du sonore ». In: M. Solomos, *Espaces composables. Essais sur la musique et sur la pensée musicale d'Horacio Vaggione*. Paris: L'Harmattan, pp. 5-18.

Risset, Jean-Claude (2014). *Composer le son,* Repères d'une exploration du monde sonore numérique. *Ecrits*, Vol I, Editions Hermann.

Roads, Curtis (1992). «Des instruments pour un son organisé». In: *Composition et environnements informatiques*, Ircam – Centre Georges-Pompidou, Paris, pp. 107-125.

Roads, Curtis (1998). *L'audionumérique*. Dunod. Version française : Jean de Reydellet.

Schaeffer, Pierre (1977). «*Traité des objets musicaux : essai interdisciplines*». Paris: Éditions du Seuil.

Schmeder Andrew, Freed Adrian et Wessel David (2010). «Best Practices for Open Sound Control». In: *Linux Audio Conference*. Utrecht.

Sèdes, Anne (2007). «A propos du temps dans la musique d'Horacio Vaggione». In : M. Solomos, *Espaces composables. Essais sur la musique et sur la pensée musicale d'Horacio Vaggione*. Paris: L'Harmattan, pp. 89-98.

Sèdes, Anne (2015). «Approche musicale de la decorrelation microtemporelle dans la bibliothèque HOA». Actes des Journées d'Informatique Musicale 2015 (JIM2015), Université de Montréal, Canada.

Smalley, Denis (1986). «Spectro-morphology and Structuring Processes». *The language of Electro-acoustic Musi*c. Londres: Macmillian Press, pp. 61-93.

Solomos Makis (2001). «Sculpter le son». In: *Portrait(s) de Iannis Xenakis*, sous la direction de François-Bernard Mâche. Paris, Bibliothèque Nationale de France, pp. 133-142.

Solomos, Makis (1998). «L'espace-son». In: *L'espace : Musique-Philosophie*. Paris: L'Harmattan, pp. 211-224.

Solomos, Makis (2005). «Notes sur la notion d' « émergence» et sur Agostino Di Scipio». In: Anne Sèdes, Horacio Vaggione (éd.), *12e Journées d'Informatique Musicale 2005*. Paris, Université Paris 8 – CICM – MSH Paris Nord – Afim, pp. 101-109.

Solomos, Makis (2006). «Xenakis e il "circolo granulare"». In: *Music/Technology*. Firenze: Firenze University Press 2015, pp. 43-66.

Solomos, Makis (2007). *Espaces composables. Essais sur la musique et sur la pensée musicale d'Horacio Vaggione*. Paris: L'Harmattan, pp. 29-68.

Solomos, Makis (2009). «Pour une approche analytique des phénomènes musicaux énergétiques». *L'analyse musicale aujourd'hui : Crise ou (r)évolution?*, France, 2013.

Solomos, Makis (2013). «Timbre et son». In: *Théories de la composition musicale au XXe siècle*. Lyon: Symétrie Recherche, pp. 1427-1477.

Stockhausen, Karlheinz (1958). «Musique de l'espace». In: *Contrechamp*s, 9 (1988) « Karlheinz Stockhausen », pp. 78-100.

Stockhausen, Karlheinz (1963). *Texte zur elektronischen und instrumentalen Musik. Texte zur Musik*, vol. I., édition Dieter Schnebel, pp. 211-221.

Stockhausen, Karlheinz (1988). « Momentform : nouvelles corrélations entre durée d'exécution, durée de l'œuvre et moment». *Contrechamp*, vol.9, pp. 101-120.

Stroppa, Marco (1999). « Live electronics or. . . live music? towards a critique of interaction ». In: *Contemporary Music R view*, 18(3) pp. 41–77.

Terhardt Ernst, Stoll Gerhard et Seewann Manfred (1982). «Algorithm for extraction of pitch and pitch salience from complex tonal signals». In: *Journal of the Acoustical Society of America*, 71(3), pp. 679-688.

Tiberghien, Guy, éd. (2002). *Dictionnaire des sciences cognitives*. Paris: Armand Collin, pp.166 et 289.

Tiffon, Vincent (2012). «Musique mixte : repères historiques». In: Rencontre professionnelle ARIAM (Ile de France) – Ircam.

Tiffon, Vincent (2013) «Musique mixte». In: *Théories de la composition musicale au XXème siècle*. Lyon: Symétrie Recherche, pp. 1297-1314.

Tiffon, Vincent (2013). «Musique mixte». In: *Théories de la composition musicale au XXe siècle*. Lyon: Symétrie Recherche, pp. 1297-1314.

Tissot Gaël, (2010). «La notion de morphologie sonore et le développement des technologies en musique électroacoustique : deux éléments complémentaires d'une unique esthétique?». Acte des Journées d'Informatique Musicales 2010, Rennes JIM2010, pp. 197-203.

Truax, Barry (1991). «Capturing Musical Knowledge in Software Systems». *Interface XX/3-4*, pp. 230.

Vaggione, Horacio (1995). «Esthétique et Musique Électroacoustique». Actes de l'Académie Internationale de musique électroacoustique, vol. I. Bourges: Éditions Mnémosyne, pp. 101-108.

Vaggione, Horacio (1996a). «Articulating Micro-Time». In: Computer Music Journal vol. 20 n°1, pp. 33-38.

Vaggione, Horacio (1998a). «L'espace composable : sur quelques catégories opératoires dans la musique électroacoustique». In: J. M. Chouvel, M. Solomos (éd.), *L'espace : musique-philosophie*. Paris: L'Harmattan, pp. 153-166.

Varese, Edgar (1983. *Écrits*. Paris: Christian Bourgois.

Wanderley, Marcelo M. (1997). «Les Nouveaux Gestes de la Musique». Rapport Interne *IRCAM - Groupe Analyse/Synthèse.*

Wundt, Wilhelm (1973). *The language of gestures*. The Hague: Mouton.

Xenakis, Iannis (1960a). «Elements of Stochastic Music (1)». In: *Gravesaner Blätter* 18, pp. 93.

Xenakis, Iannis (1963). *Musiques formelles*. Revue Musicale 253-254. Numéro monographique. Paris, Réédition : Paris, Stock, 1981, pp. 68.

Xenakis, Iannis (1985). «Condition du musicien». In: *France Forum*, pp. 127.

Xenakis, Iannis (1992). *Formalized Music*. Nouvelle édition, augmentée et traduite par Sharon Kanach: Stuyvesant (New York), Pendragon Press, pp. 50.

Résumé

Cette recherche vise à étudier l'intégration contemporaine, dans la composition et la performance, des outils technologiques et artistiques correspondant à l'état de l'art en matière d'interaction temps-réel entre production instrumentale, production numérique du son et production de formes spatio-temporelles dans le lieu d'écoute. On souhaite notamment étudier comment cette intégration pourra constituer en retour une nouvelle modalité de l'écriture où fusionnent en cohérence une écriture du son, une écriture du temps et une écriture de l'espace informées par la technologie.
Les paradigmes informatiques pour la gestion du temps et de l'interaction, les outils de synchronisation de processus, l'analyse de flux sonores et gestuels, le contrôle des paramètres à partir du son instrumental, la recherche sur la question du timbre instrumental et de ses descripteurs numériques et l'interaction interprète-ordinateur forment les éléments clefs de cette recherche.
L'idée principale de ce travail est centrée sur l'interaction en temps réel avec des dispositifs informatiques avancés, dans le cadre d'une écriture particulièrement virtuose, avec des aspects spécifiques de construction temporelle et spatiale, cette situation hybride influençant en retour la nature de l'écriture elle-même. Les différents thèmes relatifs à cette exploration, tels que l'écriture du son, du temps et de l'espace, sont le point de départ pour décliner et développer, selon la nature des diverses productions envisagées, les liens possibles avec d'autres disciplines artistiques.

Mots Clés

Interaction instruments-électronique, musique mixte, synchronisation, suivi de partition, captation du geste, spatialisation, transducteurs

Abstract

This research project aims to study the contemporary integration, in the composition and performance, of technological and artistic tools corresponding to the state of the art in terms of real-time interaction between instrumental production, digital sound production and production of spatio-temporal forms in the listening space. In particular, we study how this integration can in turn constitute a new modality of writing in which a coherent writing of sound, a writing of time and a writing of space informed by technology do merge together in a coherent way.
Computer paradigms for time and interaction management, synchronization tools, sound and gestural flow analysis, parameter control from instrumental sound, research on the issue of instrumental timbre and its digital descriptors, and interpreter-computer interaction are key elements of this research and creation work.
We focus on real-time interaction with smart computer devices in a particularly virtuoso writing with specific aspects of temporal and spatial construction, this hybrid situation in turn influencing the nature of the writing itself. The various themes relating to this exploration, such as the writing of sound, time and space, are the starting point for declining and developing, according to the nature of the various productions envisaged, the possible links with other artistic disciplines.

Keywords

Interaction instruments-electronics, mixed music, synchronization, score following, gesture captation, spatialization, transducers