UNIVERSITÉ PARIS 8 DES CRÉATIONS

Thèse de doctorat

LES ESPACES SONORES PARADOXAUX :

DU *LIVE* EN *FREE-PARTY* À LA MAQUETTE LOGICIELLE

Daniel Picciola

Soutenue le 2 décembre 2025

sous la direction de Anne SÈDES

Discipline
Musique

École doctorale
EDESTA Esthétique, Sciences et Technologies des Arts ED159

Laboratoire/Partenaires de recherche
MUSIDANSE/CICM UR1572
Centre de recherche Informatique et Création Musicale

Composition du jury

Martin LALIBERTÉ — Rapporteur
Université Gustave Eiffel

Romain MICHON — Rapporteur
INRIA Lyon

Alain BONARDI — Examinateur
Université Paris 8

Renaud BROCHARD — Examinateur
Université Bourgogne Europe

Anne SÈDES — Directrice de thèse
Université Paris 8

Les espaces sonores paradoxaux : du *live* en *free-party* à la maquette logicielle

Résumé :

Les *free-parties*, d'abord appelées *raves*, existent depuis presque quarante ans, offrant l'occasion d'expérimentations sonores dans les musiques électroniques auto-produites, surtout en teknival, où de nombreux systèmes de diffusion jouent différentes musiques simultanément audibles depuis une position d'écoute située dans l'intersection de plusieurs champs de diffusion : parfois, l'écho d'un son désoriente et induit en erreur la personne qui en cherche la provenance.

J'intègre ce phénomène comme traitement spatial dans mon *live*, pour que le même son semble paradoxalement s'éloigner à mesure qu'il s'approche, par une méthode qui compose la source, son écho, et la position d'écoute, dans une simulation virtuelle où le même son est joué dans différents espaces en interaction composable comme une orientation dans une dimension supérieure à leur espace en 3D.

En première partie, le caractère périodique de cette spatialisation est mis en relation avec le temps périodique de chaque style musical. La seconde partie décrit comment la duplication du traitement spatial conduit à simuler un hyperespace sonore. La troisième partie expose l'apport de cette spatialisation du *live*, à travers les enregistrements réalisés au cours de ma recherche. Chaque partie articule les étapes de cette spatialisation du *live*, en partant du contexte de la *free-party* pour aboutir à la maquette logicielle. Cette articulation s'accompagne d'exemples sonores comprenant des musiques de *free-party* et les moyens proposés pour les spatialiser.

La recherche se situe entre pratique du *live*, musique et musicologie, informatique musicale et création, psychoacoustique, physique quantique et neurophysiologie.

Mots clés :

Musique, *live, free-party,* teknival, espace sonore, paradoxe, ambisonie, altération de la perception, temps, chronotropie, hyperespace sonore, harmoniques hypersphériques, hyperangle, conjugaison de symétries, encodage, principe d'incertitude.

Paradoxical sound spaces : from live in free-party to software blueprint.

Abstract :

Free-parties, originally called raves, exist for 30 years now, and provide opportunities of sound experimentation in Do it Yourself electronic musics, above all during teknivals, where a great number of sound systems play different musics that you can ear in the same time from a position in between sound fields : sometimes, the echo of a sound disorients and misleads the one who wants to find where the sound comes from.

I use this phenomenon as a sound space treatment in my live, in order to make the same sound paradoxically getting closer while it goes away, by a method that consists to compose the sound source, the echo, and the place where you ear them, in a virtual simulation where the same sound is played from different spaces in an interaction that I compose as an orientation of a superior dimension beyond those 3D spaces.

In first part, the periodic pattern of this sound space treatment is related to periodic time driven by each music form. The second part outlines how the duplication of the spatialisation method drives to simulate a sound hyperspace. The third part of the text exposes what this spatialisation brings in live, across recordings released during those research years. Each part articulate steps of this spatialisation in live, starting from free-party to achieve at software blueprint. This articulation goes with sound examples, including free-party musics and proposed meanings to treat their sound space.

This research locates oneself in between live practice, music and musicology, musical informatics and creation, psychoacoustics, quantum physics and neurophysiology.

Keywords :

Music, live, free-party, teknival, sound space, paradox, ambisonics, alteration of perception, time, chronotropy, sound hyperspace, hyperspherical harmonics, hyperangle, symmetry conjugation, encoding, uncertainty principle.

REMERCIEMENTS

Je remercie ma directrice Anne Sèdes pour m'avoir soutenue dans mes recherches sur la musique en *free-party* depuis mon mémoire de Master. Je remercie également Alain Bonardi pour m'avoir aidé à prendre en main les langages de programmation ; j'adresse au passage toute ma reconnaissance à l'équipe de développement d'*abc.lib,* et à toutes les chercheuses et chercheurs du CICM.

Je remercie tous les *sound-systems* sur lesquels j'ai joué. Je remercie la MSH-Paris-Nord, où j'ai joué dans les jardins lors des Journées Européennes du Patrimoine en 2019. Je remercie Guillaume Loizillon pour m'avoir invité à jouer dans l'amphi X de l'université Paris 8, lors du Bal de l'université en 2022. Je remercie Jérome Lelay-Delorme qui m'a fourni une couronne octophonique pour cette occasion. Je remercie Michaël Sabbah de m'avoir invité à jouer au Théâtre du temps pour le festival « Human error » pendant l'été 2024.

Je remercie toute ma famille : ma mère, Liliane Picciola (une thèse ne suffirait pas à expliquer tout ce que je lui dois!), mon cousin Jean-Louis Lopvet, alias *dj The Loulou* (qui a notamment attiré mon attention sur l'opération : racine carrée de 2 divisée par 2, ou *la formule de Loulou*), Robert Visticot, professeur de mathématique, qui m'a éclairé sur la notion de polynôme, et Guillaume Weber qui héberge mes fichiers audiophoniques multicanaux au format *.aif* sur son site.

Je remercie Marie-Hélène Schune d'avoir pris du temps sur ses travaux au CERN pour lire et corriger les parties de ma thèse qui concernent la conjugaison de symétries.

J'adresse une pensée à la mémoire de Jean-Claude Risset, avec qui j'ai pu échanger à propos de l'écriture des rythmes paradoxaux, et à la mémoire de Jean-Didier Vincent dont les travaux ont orienté ma recherche musicale depuis l'époque où je jouais dans le *live* collectif Plato2frui2mer, dont je salue aux passage les musiciens : Pawa, Surimi, et Koorigamit (sans oublier toutes les personnes avec qui j'ai joué de manière plus informelle).

Je remercie mon camarade compositeur Thomas Acquaviva, *alias* Mutotom, ou Atone (ou encore Tchkv!), notamment pour ses commentaires sur la qualité de production de mon *live*.

J'adresse toute ma solidarité à mon camarade Benjamin Rochefort, régulièrement confronté à la répression et à la logique carcérale pour avoir politiquement défendu la *free-party* à l'échelle internationale : j'ai organisé avec lui les événements les plus déterminants de ma vie musicale dans mon engagement militant au sein de ce mouvement.

LISTE DES PRINCIPALES ABRÉVIATIONS ET DU VOCABULAIRE SPÉCIFIQUE……9

INTRODUCTION……..……..…. 9

I À L'ÉCOUTE D'ESPACES SONORES EN FREE-PARTY…… 18

1 DE LA MOBILITÉ DE LA POSITION D'ÉCOUTE EN TEKNIVAL À LA COMPOSITION DE L'ESPACE SONORE EN *LIVE*……..…….. 19

1.1 La chair spatio-temporelle du teknival……..…….…….…… 21

1.2 Extension et généralisation de l'idée de chronotropie…..…….…….…….. 23

1.3 Vocabulaire musicologique en free-party : classification des matériaux et des formes musicales…….…..……..….. 42

1.3.1 Objet sonore et altération de la perception……..…… 43

1.3.2 Forme d'onde et altération de la perception……..……..…… 46

1.3.3 Dualité entre mémoire et érosion à l'écoute des formes musicales…..…… 48

1.4 Contexte et émergence des nouveaux styles musicaux……..……55

2 L'EFFET MUTAGÈNE DES *FREE-PARTIES* SUR L'ÉCOUTE……..…..……60

3 LE CARACTÈRE OPÉRATOIRE DES TRAITEMENTS SPATIAUX SUR UN *DANCE-FLOOR* AMBISONIQUE…… 64

3.1 Sensibilité potentielle des communautés d'écoute aux traitements spatiaux…….. 64

3.2 Interaction du contexte culturel avec la construction cognitive…….……. 65

3.3 Percevoir le paradoxe……..…...68

II LE CONTEXTE DE L'HYPERESPACE SONORE COMME CONDITION DE RÉALISATION DES ESPACES SONORES PARADOXAUX…….…..….. 73

4 APPROCHES DE L'HYPERESPACE DU SON……..……..…… 77

4.1 La spatialisation des sons paradoxaux : un héritage musical de Jean-Claude Risset…… 77

4.2 Fusion spectrale et dissociation spatiale……81

4.3 Comportement de l'opposition de phase en ambisonie d'ordre supérieur……..…… 87

4.4 La réalisation des espaces sonores paradoxaux au format B…….…….. 89

5 LES HARMONIQUES HYPERSPHÉRIQUES DANS L'AMBISONIE D'ORDRE SUPÉRIEUR…..…… 95

5.1 Contexte des hyper-noyaux…… 96

5.2 Le centre de masse dans les systèmes quantiques à 3 corps……..… 98

5.3 L'hyperangle…….……102

5.4 Choix du polynôme……..…….…….……105

5.5 Harmoniques sphériques locaux..…….…….…….…….…..106

5.6 Les normalisations 4D et 6D….…….……..…….…….... 108

5.7 L'optimisation inPhase en 4D et en 6D……..…..…… 109

5.8 Optimisations de la source ponctuelle par traitements hyperangulaires en 4D…… 115

5.8.1 À l'écoute des décodeurs…….…….. 115

5.8.2. Réaction des vecteurs d'énergie et de vélocité aux variations de l'hyperangle…….116

5.8.3 Détermination de la position et de la vitesse des sources par l'hyperangle…… 117

5.9 Compatibilité des domaines hypersphériques avec les opérations de décodage…….…… 123

5.10 Dualité onde/corpuscule et dualité champ/source……..…….. 130

III COMPOSITION DES ESPACES SONORES PARADOXAUX……..….. 133

6 NOTATION DES SOURCES PONCTUELLES…… 136

6.1 Composition des sources ponctuelles dans un hyperespace 4D…….…… 140

6.2 Composition de l'hyperespace sonore par conjugaisons de symétries……... 146

6.3 Contexte du cristal temporel……..…….. 150

6.4 Composition des sources ponctuelles dans un hyperespace 6D……..…...155

6.5 L'espace sonore paradoxal dans le contexte du paradoxe rythmique…….…...158

7 SYNTHÈSE ET ÉCRITURE INSTRUMENTALE DANS LA BOUCLE SPATIALE…….. 162

7.1 Boucles spatiales de courte durée……..…….. 162

7.1.1 Variations sur les vecteurs et l'hypervecteur……..…..….. 163

7.1.2 Interactions entre les traitements sur l'amplitude et la spatialisation……..…….. 165

7.1.3 Synthèse du *kick*…….…..……166

7.1.4 Mixage du *kick*……169

7.1.5 Le rôle agoniste du traitement spatial sur l'énergie *speedcore*……..…… 171

7.2 Boucles spatiales de longue durée……... 172

7.2.1 Le rôle agoniste du traitement spatial sur l'énergie *acidcore*…….…… 173

7.2.2 Autodétermination instrumentale…….. 175
7.2.3 Autodétermination des *breaks*…….…….. 178
7.2.4 Le rôle agoniste du traitement spatial sur l'énergie *breakcore*……..……..….. 181

8 MAQUETTE LOGICIELLE ET CONFIGURATION DU *LIVE* EN AMBISONIE…….….. 187
8.1 Espace et temps dans l'architecture des interfaces de live 4D et 6D…….. 187
8.2 Assignation des traitements au contrôle midi…….. 189
8.2.1 Contrôles discrets et contrôles continus automatiques…… 189
8.2.2 Contrôles continus non-automatiques…….. 197

9 LIVES AMBISONIQUES : ANALYSE ET COMMENTAIRES…….……..…….…….. 200
9.1 « G511 » 14.04.2019…….……..…….. 200
9.2 « Live@MSH » 19.09.2020……..……..…….. 203
9.3 « Droxareo » (septembre 2021)…….…….……..……... 218
9.4 « Udiwaqau » (septembre 2021)…….…….. 219
9.5 « Bfadafei » 2021/2022…….…..…….... 230
9.6 « Ikomifao » (mars 2022)……..…….…….. 231
9.7 « Live4smc »(avril 2022)…….……..…….... 233
9.8 « MZTK » (18.06. 2023)……..……..…..…….. 234
9.9 « Previledge » (juillet 2023)…….…….…… 237
9.10 « Human Error »20/07/2024……..…… 240
9.11 « Ibaqefoi » 15/08/2025…….. 241

10 LE *DANCE-FLOOR* AMBISONIQUE…….……. 244
10.1 Le jeu de scène sur un dance-floor ambisonique……..……..……..…… 244
10.2 Du confort d'écoute du live en ambisonie au langage musical science-core……. 246
10.3 Formes symboliques spatiales portées sur le dance-floor par le matériau sonore du kick…….…… 252

CONCLUSION……..…….…..…….. 255

ANNEXES…….. 267

A.1 IMPLÉMENTATION DES HARMONIQUES HYPERSPHÉRIQUES 4D……268

A.1.1 Contrôle de la symétrie parité/temps dans l'encodage des harmoniques hypersphériques 4D……269

A.1.2 Contrôle de la symétrie charge/temps dans l'encodage de l'hyperangle Beta en 4D……270

A.1.3 Orientation de la boucle spatiale sur l'azimut……..270

A.1.4 Optimisation 4D……271

A.1.5 Équivalence 4D du polynôme de Gegenbauer avec le second degré du polynôme de Jacobi……..271

A.2 IMPLÉMENTATION DES HARMONIQUES HYPERSPHÉRIQUES 6D……272

A.2.1 Contrôle de la symétrie parité/temps dans l'encodage des harmoniques hypersphériques 6D……..……..274

A.2.2 Contrôle de la symétrie charge/temps dans l'encodage de l'hyperangle Alpha en 6D…….……275

A.2.3 Équivalence 6D du polynôme de Gegenbauer avec le second degré du polynôme de Jacobi……..275

A.2.4 Optimisation 6D……276

A.2.5 Rôle des paramètres dans la boucle spatiale en spirale……277

A.3 L'OBJET *REMIXER*……280

A.4 L'OBJET *GRAIN_DELAY*……..……281

A.5 AUTO-DÉTERMINATION DU *LEAD*…….……281

A.6 L'EFFET *FLANGER*……..……..283

A.7 AUTODÉTERMINATION DES *BREAKS*……..284

A.8 SYNTHÈSE FM……..……286

BIBLIOGRAPHIE……..……. 289

TABLE DES SCHÉMAS ET ILLUSTRATIONS……...294

Liste des principales abréviations et du vocabulaire spécifique

Abc.lib : bibliothèque de traitements spatiaux du son développée avec le langage de programmation *Faust*.[1]

Dance-floor : piste de danse.

DiY : ou *Do it Yourself*, politique d'auto-organisation de la vie collective, d'autogestion des moyens de production, et d'auto-production des richesses, qu'elles soient économiques ou culturelles, comme par exemple les musiques de *free-party*.

Dj : ou *disc-jockey*, personne qui choisit et synchronise les disques qu'elle joue.

Faust : *Functionnal Audio Stream*, langage de programmation qui s'adresse directement au processeur audionumérique. https://faustlibraries.grame.fr/

Free-party : rassemblement musical festif auto-organisé sans prise en compte du cadre légal, afin de jouer et d'écouter de la musique électronique auto-produite,

Keytar : clavier-maître pourtant se porter comme une guitare.

Kick : son de grosse caisse de batterie, présent dans les boîtes à rythme.

Live : jouer de la musique en temps réel.

Max-msp : langage de programmation orienté objet, que j'utilise pour programmé les interfaces logicielles que j'utilise en *live*. https://cycling74.com/downloads

Mix : ce nom désigne la performance du *dj* qui choisit l'ordre et la transition des disques dont il synchronise les pulsations.

Patch : interface logicielle programmée pour jouer en *live*.

Sound-system : ce nom désigne à la fois le système de diffusion sonore et le collectif de personnes qui l'utilise pour organiser des *free-parties*.

Teknival : rassemblement de plusieurs *sound-systems* qui jouent nuit et jour pendant une durée indéterminée, parfois pendant une semaine entière.

Traveler : personne vivant de manière nomade en pratiquant le *DiY*. Les travelers sont les pionniers et les acteurs les plus impliqués du mouvement mouvement *free-party*.

VBAP : ou *Vector Based Amplitude Panning*. Méthode de spatialisation du son orientée vers la composition de sources directionnelles, mise au point par Ville Pulkki.

Virus -TI : Synthétiseur produit par Access depuis 1997 et que j'utilise en *live* depuis 2008.

Les images et graphiques sont réalisés par l'auteur à l'exception de celles dont la source est indiquée.

---

[1] Alain Bonardi. La librairie abclib : un ensemble de codes Faust rassemblant 20 ans de recherche, enseignement et création en musique mixte. Journées d'Informatique Musicale 2021, AFIM, Jul 2021, Visioconférences, France. hal-03313611

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Je joue en *free-party* depuis 25 ans, et je compose l'espace sonore du *live* depuis 12 ans. Par cette composition, je vise à conserver la capacité de la tekno à faire danser le public pendant de très longues durées.

L'idée de spatialiser le *live* a émergé collectivement du sein du groupe Plato2frui2mer avec lequel je jouais au milieu des années 2000. Cette idée n'a cependant pas dépassé le stade expérimental à l'époque, car deux obstacles majeurs s'opposaient à sa réalisation : nous ne disposions pas du système de diffusion adéquat pour jouer en quadriphonie, et nous n'imaginions pas comment composer musicalement l'espace sonore du *live* puisque nous n'avions jamais entendu ce genre d'expérimentation en *free-party*.

C'est en entendant en 2008 une interprétation spatialisée par Mario Mary de *De Natura Sonorum*, de Bernard Parmeggiani, que j'ai découvert la composition musicale de l'espace sonore avec une oreille alors habituée à l'espace sonore des teknivals et que j'ai donc commencé à imaginer de manière floue l'idée d'espace sonore paradoxal.

J'ai cherché les moyens de traiter l'espace sonore dans mon *live* de telle sorte qu'il contribue à faire danser le public le plus longtemps possible. La présente thèse propose donc des réponses à mon propre questionnement : comment parvenir à composer l'espace sonore pour un *live* en *free-party* ? Cette interrogation recelait en fait beaucoup d'autres questions, de divers ordres : y répondre supposait à la fois une acquisition de connaissances scientifiques, dont il convenait de circonscrire le ou les domaine(s) afin de formuler des hypothèses de méthode, et une expérimentation créative. La méthode d'écriture musicale proposée ici prend en compte à la fois l'espace sonore propre à la *free-party*, et la forme cyclique des musiques tekno.

En teknival, plusieurs systèmes de diffusion jouent différentes musiques. Quand on les écoute depuis une position située dans l'intersection de plusieurs champs de diffusion, l'écho d'un son peut nous désorienter et nous induire en erreur quand nous cherchons sa provenance : c'est ce que j'appelle un phénomène d'espace sonore paradoxal. Dans le contexte du teknival, ce phénomène résulte de l'interaction entre les rythmes cycliques de la forme musicale et les distances qui séparent la source sonore, son écho, et la position d'écoute.

La composition des espaces sonores paradoxaux cherche non seulement à reproduire cette situation d'écoute, mais également à écrire la spatialisation selon un rythme cyclique. Dans la recherche de ces moyens d'écriture, plus la forme musicale est prise en compte, mieux elle peut les déterminer.

D'abord on note que le caractère cyclique des formes musicales de *free-party* semble favoriser une altération dans la perception du temps, à tel point qu'il est courant de danser sur de très longues

durées sans éprouver ni fatigue, ni ennui. Ainsi, l'échelle physiologique de cette altération de la perception peut servir d'instrument de mesure afin de classer les styles musicaux qui portent ce temps cyclique selon différents tempi et différentes structures : un style musical rythme la manière de danser, avec son énergie corporelle, un état physiologique, une altération de la perception.
C'est pourquoi la recherche des moyens d'écrire l'espace sonore prend comme point de départ les cycles du temps musical, cérébral, et psychologique, pour parvenir à composer l'espace de manière cyclique.
Or le fonctionnement cyclique des espaces sonores paradoxaux repose sur la notion de symétrie dans l'écriture des sources : deux sources directionnelles symétriques par rapport au sweet-spot, procurent l'illusion que le son s'approche et s'éloigne périodiquement en passant par le centre de l'espace. Cette période peut s'étendre sur une échelle comprise entre la durée d'une pulsation et d'une phrase musicale, sa taille varie selon celle de la boucle musicale jouée par l'instrument. La variation périodique sur la distance de la source altère la dynamique de l'instrument : comment conserver une certaine proximité quand la source est éloignée afin de ne pas détériorer la dynamique instrumentale et le confort de son écoute ? Comment écrire un fondu enchaîné entre les sources pour faire entendre simultanément le même son quand il s'éloigne et quand il s'approche ? Le caractère opératoire des espaces sonores paradoxaux repose sur la manière d'écrire ce fondu enchaîné, et constitue le principal objectif de réalisation de la méthode de spatialisation présentée dans cette thèse.

Sa première partie cherche des réponses à la question suivante : comment approcher les formes musicales en *free-party* pour déterminer la spatialisation qui leur convient le mieux ? Par l'étude de certains procédés musicaux, je donne également une idée du matériau qui remplit l'espace sonore en teknival et produit parfois des phénomènes d'espaces sonores paradoxaux.
Chaque forme musicale est approchée selon sa manière de rythmer la danse et le temps psychologique. En prenant comme point de départ le caractère cyclique de la forme musicale, je m'efforce d'abord d'identifier les moyens musicaux par lesquels le désir et le plaisir de danser peuvent nous maintenir longtemps sur le même *dance-floor* ou nous attirer vers un autre. L'altération de la perception entraîne un déplacement de la position d'écoute, et, réciproquement, le déplacement de la position d'écoute entraîne une altération de la perception, particulièrement si l'écho d'une source nous induit en erreur quand on cherche sa provenance.
L'article « Tempus ex machina » de Gérard Grisey avance l'idée selon laquelle une musique peut contenir dans sa forme une résistance au sentiment d'érosion, responsable de la fatigue corporelle qui devrait suivre l'effort dansé au bout d'un temps limité. Mais ce temps semble se dilater fortement pour beaucoup de personnes qui dansent en *free-party*.

Je reprends à G.Grisey le classement des temps musicaux, du plus ordonné au plus désordonné, que j'associe à des stades intermédiaires entre les deux « pôles d'ennui », mentionnés par l'auteur à la fin du même article, et que créent respectivement le manque ou l'excès d'information : la forme cyclique de la tekno résiste à l'excès d'information et son énergie dansante doit donc s'éroder par manque d'information. Mais plusieurs périodes de temps cycliques peuvent se superposer ou se succéder, de la plus brève à la plus longue, et résister différemment au manque comme à l'excès d'information : plus un cycle est long, plus il peut laisser un contenu non-cyclique se développer et résister au manque d'information.

Grâce aux travaux, en neurobiologie, de Fabien Fenouillet, Jean-Pol Tassin et Jean-Didier Vincent, il est possible de comprendre l'origine biochimique de ce sentiment d'érosion et prendre ainsi en compte le caractère physiologique de cette interaction entre le jeu musical et le corps humain, qui semble puiser dans la musique de *free-party* la force de danser toujours plus longtemps. Certains styles sont rapides et se dansent avec beaucoup d'énergie ; d'autres, plus lents, peuvent s'écouter au repos. Je classe chaque style musical selon son temps de résistance à l'effet d'érosion, c'est-à-dire l'altération de la perception émergeant par l'interaction entre le *live* et la biochimie du corps qui danse en *free-party*. L'énergie dansante portée par ces formes riches en rythmes cycliques, peut alors être impliquée dans l'écriture de l'espace sonore, grâce à cette approche analogique entre le temps psychologique et le temps musical.

La seconde partie de cette thèse se propose d'expliquer comment l'association de la périodicité des rythmes à la symétrie des sources a orienté la composition d'espaces sonores paradoxaux vers la formalisation d'un hyperespace. Comment le paradoxe sur l'espace sonore fonctionne t-il dans l'hyperespace? En quoi ce fonctionnement est-il paradoxal?

Afin de comprendre ce fonctionnement, j'ai étudié celui des sons paradoxaux de Jean-Claude Risset à travers un exercice où je les spatialise en cherchant à faire correspondre le fondu enchaîné sur les sons à un fondu enchaîné sur les sources. Je conserve ensuite ce fondu enchaîné sur les sources afin de traiter des sons qui ne sont pas forcément paradoxaux, mais propres au langage musical tekno. Je reproduis cet exercice sur trois formats de rendu spatial : la stéréophonie, le format B, et l'ambisonie d'ordre supérieur.[2]

Dans les sons paradoxaux de J.-C. Risset, une note maintenue donne l'illusion de monter ou de descendre en fréquence de manière infinie, lentement ou rapidement, selon la durée à partir de laquelle le procédé se répète en boucle. Ce caractère périodique, conservé dans l'illusion de

[2] Cette thèse est contemporaine des recherches en synthèse sonore menée au CICM, qui produit régulièrement des outils que j'utilise pour composer selon ces différents formats.

distance, permet d'associer les espaces sonores paradoxaux au caractère périodique du rythme en tekno, et d'interagir ainsi avec sa fonction dansante.

- La spatialisation stéréophonique des sons paradoxaux met d'abord en évidence le rôle de l'opposition de phase entre les sources pour dissocier dans l'espace plusieurs composantes d'un même spectre.
- La spatialisation des sons paradoxaux au format B met en évidence la nécessité de dupliquer huit haut-parleurs virtuels disposés en cube, et esquisse la formalisation d'un domaine hypercubique issu de cette duplication. La spatialisation des sons paradoxaux en ambisonie d'ordre supérieur amène à formaliser un domaine hypersphérique issu d'une duplication du domaine sphérique. La recherche de modèles d'harmoniques hypersphériques me conduit alors à l'article d'Alexei V. Meremianin, Hyperspherical Harmonics with arbitrary arguments, où sont exposées plusieurs formules d'harmoniques hypersphériques, expliquées comme résolutions des problèmes posés par les systèmes à trois corps en physique nucléaire : dans l'implémentation des harmoniques hypersphériques pour traiter des ondes sonores, les trois corps correspondent à la source, son écho, et la position d'écoute.

Je cherche à rendre audible au public, depuis une position d'écoute fixe, ce qu'entend une personne qui se déplace entre les sound-systems. Je compose donc les déplacements imaginaires de cette personne entre des sound-systems, également imaginaires. Cette personne entend à la fois une musique qui s'approche et une musique qui s'éloigne ; or, dans les espaces sonores paradoxaux que je compose, ces deux musiques sont les mêmes : c'est donc la seule et même musique qui semble paradoxalement à la fois s'approcher et s'éloigner. Pour comprendre comment composer la vitesse à laquelle la personne imaginaire se déplace, je m'intéresse alors à la vitesse du fondu enchaîné entre le son qui s'approche et celui qui s'éloigne. Le fonctionnement des harmoniques hypersphériques confirme l'hypothèse selon laquelle ce fondu enchaîné pourrait être une dimension supérieure orientée dans l'hyperespace.

Appliqués comme traitement sur les ondes sonores, les harmoniques hypersphériques rendent effectivement audible depuis une position fixe réelle ce qu'entendrait la personne qui se déplace, par le principe de report des mouvements : les mouvements de la personne imaginaire qui se déplace sont reportés sur les sources sonores qu'elle entend. Ce report est différent pour chaque source puisque l'une s'éloigne à mesure que l'autre s'approche : l'espace sonore de la personne qui se déplace se superpose différemment sur les deux espaces sonores qu'elle entend. Cette superposition est exprimée dans les harmoniques hypersphériques par la somme des dimensions des deux espaces sonores écoutés : l'hyperespace 4D est constitué de deux espaces 2D, l'hyperespace

6D est constitué de deux espaces 3D. Opérer un fondu enchaîné entre deux domaines circulaires ou sphériques consiste à s'orienter dans l'hyperespace constitué par la somme de leurs dimensions.
Je peux enfin comparer les résultats sonores obtenus avec et sans harmoniques hypersphériques pour trouver une réponse à la question : quelles sont les différences entre le traitement sphérique et le traitement hypersphérique ? Les résultats produits par les outils d'analyse de l'espace sonore amènent à conclure que la présence du traitement hypersphérique peut contribuer à améliorer la détermination de l'énergie et de la vélocité des sources sonores.

La troisième partie, franchement tournée vers la pratique, consiste à déterminer quel est l'apport des harmoniques hypersphériques dans la spatialisation du *live*.
Comment écrire une variation périodique de l'orientation dans l'hyperespace? Comment son articulation avec les orientations 3D constitue t-elle une combinaison de symétries appliquées à l'espace et au temps? Quelles interactions peut-on entendre entre la dynamique instrumentale et la symétrie des sources quand elle implique l'orientation dans l'hyperespace ? Quels sont les choix dans la maquette logicielle qui me permettent de traiter l'espace sonore grâce à ces différentes symétries ? Cet enchaînement de questions mène à une interrogation finale : quelles améliorations peut-on entendre dans la composition évolutive des espaces sonores paradoxaux à l'écoute des lives enregistrés pendant cette thèse ?

Les sources sont écrites par paires selon trois formes de symétrie. Les deux sources sont traitées en opposition de phase, leurs positions sont symétriques sur l'azimut, et leur vitesses s'opposent: quand l'une accélère, l'autre ralentit sur la même durée. L'interaction de la position et la vitesse constitue une première combinaison de symétries, composable dans le domaine sphérique avec les angles 3D. L'interaction de la vitesse avec l'opposition de phase constitue une autre combinaison de symétrie, composable par l'orientation dans l'hyperespace. Cette seconde combinaison interagit avec la première en déterminant la distance dans la position des sources. C'est ainsi que les espaces sonores paradoxaux sont donc composés en tant que boucles spatiales.
Dans la synthèse spatiale du son, les caractéristiques spectrales sont corrélées à celles de leurs composantes spatiales ambisoniques. Par son traitement des dynamiques instrumentales, la boucle spatiale conditionne alors la synthèse sonore de l'instrument. Le caractère opératoire de cette interaction dépend d'un confort d'écoute qui requiert une somme de traitements sur les instruments, un travail de mixage, avant de composer leur espace sonore. Dans l'ordre des traitements, la synthèse sonore précède le mixage, et le mixage précède la spatialisation. Mais la synthèse des instruments et leur mixage sont, par contre, composés en fonction de leur boucle spatiale. La plupart des traitements intervenant dans le mixage transforment le volume sonore de l'instrument ;

j’entends dès lors que retravailler ainsi sa dynamique consiste à homogénéiser les proportions de l’objet sonore dans l’espace : la dynamique de l’instrument est son volume spatial.

Je prends alors le temps d'écouter tous les *lives* enregistrés pendant ces années de recherche : quelle méthode d’écoute me permet d’apprécier ce qu’apportent au *live* les espaces sonores paradoxaux ?
Je chronomètre les durées d’érosion de l’énergie dansante dans deux enregistrements et commente leur interaction avec le traitement spatial. L’écoute chronologique de 13 enregistrements permet de revenir sur la prise en main des harmoniques hypersphériques, à commencer par l’orientation dans l’hyperespace pendant le fondu enchaîné. Une somme de corrections et d’expérimentations sont apportées entre chaque *live* : la composition de plus en plus précise des boucles spatiales approfondit l’idée de symétries pour parvenir à les écrire selon leurs interactions et pour améliorer le traitement des dynamiques instrumentales par leur spatialisation. Chaque *live* propose une qualité de production qui tend vers plus de confort d’écoute à mesure que les moyens de composition de l’espace sonore se précisent.
À quels changements matériels l’expérience sur les dance-floors ambisoniques a-t-elle conduit ? L’optimisation de l’espace sonore comme source directionnelle opérée par le traitement hypersphérique amène à réduire le nombre de haut-parleurs et faciliter leur installation dans le cadre de projet auto-organisés, ce qui est le cas des free-parties. Cette réduction du nombre de haut-parleurs amène à de nouveaux choix dans leur orientation : afin de renforcer le rôle opératoire de l’opposition de phase dans les espaces sonores paradoxaux, la quadriphonie est orientée en losange plutôt qu’en carré. Il est nécéssaire de disposer d’un système de diffusion 2D quadriphonique, et parfois octophonique, pour écouter les *lives* enregistrés pendant cette thèse en profitant de la spatialisation.
Pour le jeu de scène, les instruments de *live* portatifs permettent une certaine mobilité adaptée aux différentes directions que peuvent prendre les sources. Bien que les espaces sonores paradoxaux prennent leur caractère opératoire quand on les entend depuis le sweet-spot, il n’est pas nécessaire de rester immobile pour les écouter. De nombreux effets de déphasages sont audibles et enrichissent l’écoute de l’espace sonore au moindre déplacement sur le *dance-floor*, une personne qui danse les entend continuellement.

I À L'ÉCOUTE D'ESPACES SONORES EN *FREE-PARTY*

I À L'ÉCOUTE D'ESPACES SONORES EN *FREE-PARTY*

La perception de l'espace sonore en *free-party* est ici abordée en adoptant le point de vue du temps musical proposé par Gérard Grisey dans l'article « Tempus ex-machina[3] ». Cet article est lié à une oeuvre musicale du même nom composée pour un ensemble de percussion, qui ne sonne pourtant pas comme de la tekno, mais par rapport à laquelle l'auteur explique son approche le temps musical d'une manière qui permet de comprendre certaines expériences musicales vécues en *free-party*.

Dans cet article, je retiens particulièrement le principe de pré-audibilité et l'effet *chronotrope* dans la perception du temps musical. Je m'en sers comme outil pour décrire la singularité des conditions d'écoute en teknival, cette forme de rassemblement où un grand nombre de dispositifs sonores, les *sound-systems*, jouent nuit et jour pendant à peu près une semaine.

Dans ce contexte, le principe de pré-audibilité décrit la relation entre la perception de notre environnement sonore et nos déplacements entre les *sound-systems*. Il y a surtout dans ce terme une part de prévision, d'imagination, et d'anticipation des événements musicaux par l'auditeur.

L'effet de chronotropie y décrit, lui, des procédés musicaux qui permettent au public de puiser dans ce qu'il entend l'énergie de danser toujours plus longtemps. La forme périodique des rythmes tekno alimente une énergie dansante mais son caractère cyclique entraîne sur la durée une érosion de cette énergie. Je choisis de développer l'idée de chronotropie proposée par G. Grisey en l'expliquant en grande partie selon le fonctionnement de la perception du temps dans le cerveau de la personne qui danse.

La résistance à l'érosion dans la perception du temps musical peut alors s'envisager comme une interaction entre un état biochimique et l'articulation d'événements musicaux. La chimie de la perception avec laquelle la musique interagit en *free-party* permet de comprendre les choix musicaux qui consistent à faire danser le public le plus longtemps possible. La musique interagit avec un état physiologique du corps qui semble puiser en elle l'énergie de danser toujours plus longtemps, sans jamais ressentir la moindre fatigue, ni même la moindre sensation d'ennui. Ce sentiment de pouvoir dépenser sans compter une énergie inépuisable est une forme de jouissance physique en musique. Les procédés musicaux des *livers* semblent alors reproduire l'action de certains neurotransmetteurs impliqués dans cette forme d'altération durable de la perception. Comme dans beaucoup d'autres musiques, ce sont différentes expériences de la vie humaine que les *livers* cherchent à exprimer. Reproduire l'action chimique liée à certaines expériences vécues peut constituer un procédé pour passer outre la subjectivité de nos propres affects afin d'imaginer comment composer leur mécanique temporelle en musique. En cherchant ainsi à altérer le temps

[3] Grisey, Gérard, *Écrits*, « Tempus ex machina », Paris, MF, Collection répercussions, 2008, p. 61.

psychologique, ce procédé a pour but de maintenir la perception en mouvement pour rester hors de portée de ce que G. Grisey nomme les pôles d'ennuis, qui érodent la qualité de l'émotion musicale par manque ou excès d'informations sonores. La force d'attraction d'un pôle sert à contrebalancer l'autre selon un temps qui détermine la forme musicale du *live*.

Je décris donc les principales formes musicales entendues en teknival d'après la qualité chronotrope des procédés musicaux qui les composent, donc de leur interaction avec l'effet psycho-actif du sentiment de motivation qui permet de danser longtemps sur un rythme parfois effréné. Je répertorie les formes musicales de *free-party* selon leur relation avec les molécules psycho-actives pour y associer différentes formes d'espaces sonores paradoxaux. Le principal enjeu de la spatialisation de ces formes musicales est donc la conservation de leur qualité de résistance au phénomène d'érosion, c'est principalement selon ce critère que les traitements spatiaux sont considérés comme opératoires en *live*.

Le titre *Gwerly Mernans*, d'Aphex Twin constitue un premier exemple de procédé musical chronotrope. Commenter cette oeuvre est l'occasion de s'intéresser au cas où la résistance à l'érosion exercée par un procédé musical persiste au-delà de la durée de la musique, et en dehors du contexte de la *free-party*. L'espace sonore paradoxal est un phénomène psychoacoustique qui peut se produire hors des teknivals, dans la vie quotidienne. Il est possible d'entendre ce phénomène ailleurs qu'en teknival alors que le contexte non musical n'invite pas forcément à porter l'oreille sur le phénomène. Si ce phénomène se produit ailleurs, dans la vie quotidienne, les personnes qui l'entende habituellement en teknival peuvent le percevoir comme une résurgence musicale : les procédés chronotropes qui persistent hors du contexte musical sont donc aussi présents dans ces échos qui désorientent. Le phénomène d'espace sonore paradoxal doit pouvoir conserver cette portée chronotrope quand il est composé en *live*.

1 De la mobilité de la position d'écoute en teknival à la composition de l'espace sonore en *live*

Je définis l'espace sonore paradoxal comme une illusion psychoacoustique où l'écho d'une source sonore nous désoriente et nous induit en erreur quand nous voulons trouver d'où elle provient. Ce phénomène peut devenir un outil de composition de l'espace sonore pour le *live* en *free-party*. La manière de composer cet espace sonore est alors déterminée par de longues et fréquentes expériences d'écoute immersive de la constante profusion des sons dans l'espace des teknivals.

Quand je me déplace en teknival entre les *sound-systems*, je suis un corps en mouvement. Les *sound-systems* sont des corps statiques, mais ils diffusent chacun une forme d'onde sphérique

constamment orientée et dynamique, donc en mouvement. Ma position et ma vitesse de déplacement altèrent ce que j'entends entre les *sound-systems*. J'entends la conséquence de ma propre quantité de mouvement reportée sur la quantité de mouvement des dynamiques animant chaque *dance-floor*.

D'autres corps peuvent faire écho aux *sound-systems*, comme la surface des camions, les murs des hangars, les parois des falaises et des montagnes. Ces corps sont statiques mais réfléchissent la dynamique sonore des *sound-systems*, et y ajoutent une autre dynamique sonore par effet d'écho. En voulant me rapprocher du *dance-floor* qui diffuse une musique que j'aime, je peux être alors désorienté et conduit vers son écho, selon le phénomène que je définis comme espace sonore paradoxal.

Quand je danse face à un mur d'enceintes en teknival, je peux entendre et situer dans un espace plus lointain les sons diffusés par les autres *sound-systems*. Il s'agit de sons au domaine relativement aigu, des cymbales souvent traitées avec un *flanger,* et des sons plus singuliers issus de synthétiseurs et d'échantillonneurs. Ces sons peuvent être distingués de loin alors que je suis proche d'une autre source sonore puissante. La pulsation, riche en fréquences basses, remplit un espace sonore qui m'isole des pulsations diffusées par les autres *sound-systems* : plus le dispositif sonore est puissant, plus les sons diffusés peuvent limiter l'écoute du public à l'échelle d'un seul *dance-floor,* même au milieu d'une centaine de *sound-systems*.

Quand la pulsation dans laquelle je suis immergé n'est temporairement plus jouée, lors d'un *cut* ou d'une transition plus longue, j'entends immédiatement toutes les pulsations plus lointaines qui étaient jusque là inhibées quand je n'entendais que la pulsation proche. Ces pulsations lointaines m'indiquent non seulement un autre espace, mais tendent à m'imposer leur temporalité, jusqu'à me faire perdre la notion du temps musical que j'écoute sur la source proche. Quand la pulsation revient, elle peut parfois me surprendre car ce n'est pas forcément celle que j'ai anticipée pendant que d'autres pulsations lointaines faisaient dériver ma perception hors de l'espace-temps musical constitué par le champ d'émission sonore du *dance-floor* et l'énergie musicale qui y est jouée. Le retour de la pulsation dans l'espace le plus proche me plonge à nouveau dans cet espace-temps.

Parfois, l'autre pulsation n'est pas si éloignée de la pulsation proche, non seulement dans l'espace, mais aussi dans le nombre de battements par minute. Les pulsations restent parfois synchrones sur une large période car elles sont jouées sur une échelle généralement comprise entre 120 et 240 bpm, qui tend à se restreindre et à rendre les pulsations plus homogènes pendant la nuit; des pulsations lointaines peuvent alors sonner comme une variation sur la distance de la pulsation proche quand elle devient muette pendant un *break*.

Ces quelques expériences ont pour but de rappeler, ou d'imaginer, le rôle des espaces sonores paradoxaux en teknival. Pour comprendre comment interagir avec les espaces paradoxaux par notre position d'écoute, imaginons que le compositeur Gérard Grisey nous accompagne en teknival et commente ce que nous entendons quand nous marchons entre les *dance-floors*. L'interaction de notre position d'écoute avec les espaces sonores paradoxaux met en valeur la notion de temps dans l'approche de l'espace, puisque ce paradoxe psychoacoustique est un phénomène d'écho. Le son diffusé par chaque *sound-system* se déplace dans l'air à environ 340 m/s (à 20° au dessus du niveau de la mer) dans un teknival qui peut facilement s'étendre sur plus de 340 m. Plus le son est loin, plus nous l'entendons avec un retard : l'espace détermine le temps. Certains *sound-systems* peuvent être éloignés les uns des autres sur plusieurs centaines de mètres, d'autres de quelques mètres seulement. Dans cette large échelle de retards se cachent des espaces sonores paradoxaux pour lesquels l'approche du temps musical de G. Grisey favorise l'écoute active.

1.1 La chair spatio-temporelle du teknival

La synchronisation plus ou moins durable des pulsations jouées sur chaque *dance-floor* n'est ni forcément un hasard ni totalement intentionnelle : dans un *mix*[4], un *dj* peut caler la pulsation de chaque disque sur celle du disque précédent, tout en étant influencé par les pulsations avoisinantes. Cette influence n'est pas forcément consciente. Si elle l'est, le *dj* peut essayer de caler son disque selon le *tempo* d'un *dance-floor* voisin, mais la distance avec cet autre *sound-system* peut laisser entendre la pulsation avec un certain retard et des transitoires d'attaque émoussées.

> « Chaque rythme est perçu dans sa relation qualitative avec la pulsation (sur le temps, au fond du temps), mais aussi dans sa relation quantitative (plus long ou plus court que le *tempo*[5]) ».

En tekno, la simple pulsation répétée peut illustrer cette approche du rythme sous forme de collision de *tempi*. Quand deux pulsations sont durablement synchrones entre deux *dance-floors*, la pulsation lointaine peut devenir une modulation spatiale de la pulsation proche : déphasées à contretemps, deux pulsations égales altèrent la forme musicale par leur superposition. Elles peuvent être entendues comme une seule pulsation deux fois plus rapide dont la portée musicale peut être différemment interprétée, selon le contexte musical où la pulsation lointaine se superpose à la

[4] Ce nom désigne la performance du *dj* qui choisit l'ordre et la transition des disques dont il synchronise les pulsation.

[5] Grisey, Gérard, *op.cit*, « Le squelette du temps, rythmes et durées », p. 61.

première. La pulsation décompose très généralement des phrases de huit temps, elles-mêmes regroupées dans des carrures plus ou moins longues. La pulsation lointaine en contretemps avec la plus proche peut intervenir ou non en début de phrase ou de carrure. Cette intervention peut donc être perçue comme structurante ou déstructurante dans la forme musicale.

Légèrement déphasée, la pulsation se mélange aux transitoires d'attaque ou à la fin de l'enveloppe de la pulsation du *sound-system* le plus proche. La synchronisation durable entre plusieurs pulsations proches dans le *tempo* altère le matériau sonore, comme dans un *mix* entre plusieurs platines, mais entre plusieurs *dance-floors*, donc entre différents espaces. Cette distance entre les *dance-floors* est absente quand les disques sont calés sur des platines amplifiées sur un seul *sound-system* : elle est propre à l'acoustique du teknival. L'imperfection de la synchronisation entre les pulsations donne un caractère imprévisible et vivant aux *mix*. Chaque *dj* a sa manière de synchroniser les pulsations à l'avant ou au fond du temps, ces légers déphasages entre les pulsations expriment la musicalité de chaque *dj*. Quand la distance entre plusieurs *dance-floors* intervient dans ce déphasage, on peut entendre une musicalité propre au teknival émerger de l'espace entre les *dance-floors*.

Je peux faire varier dans ma perception ce déphasage entre les pulsations de deux *sound-systems* en me déplaçant dans l'espace qui sépare ces deux *dance-floors*. L'intervention de l'espace dans la perception du temps rappelle l'écriture musicale par décorrélation des grains chez Horacio Vaggione[6]. Dans cette écriture, un événement sonore bref est d'abord enregistré sur plusieurs canaux pour conserver son contexte spatial. Déphaser les canaux entraîne alors une altération de ce contexte spatial : l'espace est altéré par le temps. Quand mes déplacements me font entendre différentes possibilités de déphasage entre les *sound-systems*, c'est au contraire le temps qui est altéré par l'espace. Ma mobilité dans l'espace me permet d'interagir avec le moment où j'entends l'intervention de l'événement sonore. Le caractère variable de ce moment est modulable depuis mes mouvements dans l'espace sonore, selon un *degré de pré-audibilité* :

> « En incluant non seulement le son mais, plus encore, les différences perçues entre les sons, le véritable matériau du compositeur devient le degré de prévisibilité, mieux, le *degré de pré-audibilité*. Or, agir sur le degré de pré-audibilité revient à composer directement le temps musical, c'est-à-dire le temps perceptible, non le temps chronométrique.
>
> *Karlheinz Stockhausen, déjà, en avait pressenti l'importance en utilisant pour certaines oeuvres (Carré pour 4 orchestres et 4 choeurs, 1971) ce qu'il appelle le degré de*

---

[6] Vaggione, Horacio, *Décorrélation microtemporelle, morphologies et figurations spatiales*, Université Paris VIII, Journées d'Informatique Musicale, Mai 2002, Marseille, France.

changement (Veränderungsgrad 1963, 71, 73, 78), notion directement issue de la théorie de l'information.

Je crois que c'est en ce point que doit se porter l'attention du compositeur qui désire donner au temps une valeur musicale. Ça n'est plus le seul son qui va donner sa chair au temps, mais bien la différence ou l'absence de différence entre un son et le suivant. En d'autres termes, le passage du connu à l'inconnu et le taux d'information qu'introduit chaque événement sonore[7]. »

Se déplacer en teknival, c'est donc recomposer dans notre perception la valeur musicale des informations sonores que l'on entend. C'est l'espace qui donne sa chair au temps musical en teknival, c'est-à-dire la distance ou l'absence de distance entre les pulsations jouées par plusieurs *sound-systems*. La composition de l'espace sonore en *live* est donc une manière de composer la chair du temps musical, mais à l'aide des outils audionumériques permettant de simuler une mobilité virtuelle interactive avec la dynamique musicale des événements sonores. La mobilité de la position d'écoute en teknival est propre à chaque auditeur, la recomposition des valeurs musicales est individuelle et extérieure à la composition des musiques jouées par les *sound-systems*. La chair spatio-temporelle du teknival est donc extérieure à la musique des *sound-systems* et intérieure dans la perception individuelle. Composer l'espace sonore du *live* consiste alors à inscrire cette chair spatio-temporelle à l'intérieur d'un discours musical, et à la rendre collectivement perceptible comme phénomène extérieur en interaction avec l'écoute. La spatialisation d'un objet sonore se corrèle alors avec sa perception dans le temps, puisque les événements sonores ne se succèdent pas dans le même espace, et que le début et la fin de chaque événement ne sont plus joués dans le même espace sonore.

1.2 Extension et généralisation de l'idée de chronotropie

L'altération de la perception d'un langage musical par la spatialisation peut provoquer plusieurs réactions à l'écoute : la spatialisation peut être entendue comme une dégradation, une amélioration, ou peut ne pas être entendue. Ces appréciations du traitement spatial peuvent être temporaires et progressivement évoluer de l'une à l'autre. En *free-party*, la spatialisation est encore trop rare pour constituer une attente de la part du public. Cependant, dès lors qu'il entend un traitement spatial, il s'attend à ce que la spatialisation joue rôle interactif avec le contenu musical dans la durée ; ce qu'il attend de la spatialisation dépend ce qu'il attend du contenu musical. Alors que les effets de

[7] Grisey, Gérard, *op cit*., « La chair du temps, Degré de pré-audibilité », p. 80.

spatialisation lui sont inconnus, ils interagissent avec des procédés et des langages musicaux qu'il connaît et apprécie différemment : certaines personnes préfèrent les tempi lents ou rapides, les transitions longues ou immédiates, les sonorités harmonieuses ou bruyantes. Les choix de spatialisation sont des choix d'interaction entre l'espace sonore et le temps musical, du court au long terme, dans le but d'obtenir un sentiment d'amélioration à la fois immédiat et durable de la musicalité grâce à la spatialisation.

> « Nous pouvons imaginer des degrés de présence du son menant progressivement du temps présent à l'épaisseur de ce temps présent où se greffe la mémoire immédiate - « sorte de phosphorescence de la mémoire immédiate (Moles 1966) » - puis, enfin, au passé plus ou moins immédiat où s'exerce la mémoire proprement dite appelée quelquefois cognitive.
> De même il semble que l'on puisse distinguer deux approches dans la manière de composer et de percevoir le temps : l'une privilégiant l'instant et la mémoire immédiate de l'événement sonore, l'autre faisant une grande confiance à la mémoire cognitive de l'auditeur, qui serait soit-disant à même de rassembler, comparer et hiérarchiser les éléments d'un discours musical étendu sur une très longue période de temps[8]. »

G. Grisey décrit la peau du temps comme une dualité où mémoire et érosion sont présentes en différentes proportions : soit le sentiment musical reste en mémoire, soit il s'érode. Les formes musicales jouées en *free-party* peuvent être classées selon ces proportions. Pour ne jamais se rider, la peau du temps en teknival se pigmente par toutes les nuances de couleurs, associées aux formes musicales jouées sur chaque *dance-floor*. La spatialisation doit conserver la pigmentation épidermique du temps musical, il peut la rendre plus terne ou plus vive, c'est-à-dire s'opposer ou s'adapter à l'énergie dansante de chaque style musical. Cette peau recouvre une chair où la distance, le vide spatial entre les *sound-systems*, détermine un degré de pré-audibilité entre les événements sonores. Ce degré varie souvent et longuement car le chemin pour rejoindre un sound-system éloigné peut être labyrinthique quand il faut contourner des dance-floors parfois très étendus, traverser une foule dense, et faire des rencontres imprévues qui peuvent altérer l'objectif de la déambulation. L'altération de ce degré de pré-audibilité interagit avec la dualité entre mémoire et érosion. Cette dualité détermine l'énergie dansante des musiques de *free-party,* et pigmente la peau du temps.
Les événements sonores eux-mêmes sont déterminés par un squelette que la chair du temps enveloppe à différents degrés de pré-audibilité.

---

[8] Grisey, Gérard, *op cit*., « La peau du temps, mémoire et érosion », p. 90.

> « Par squelette du temps, nous entendons le découpage temporel qu'opère le compositeur pour mettre en forme les sons.(…)Un même squelette temporel peut être enveloppé et pourtant perçu en différentes formes, selon la manière dont se distribuent les volumes et les poids de la « chair sonore[9] ». »

G. Grisey propose cinq niveaux dans le squelette du temps musical, du plus ordonné au plus désordonné (Fig.1.2.1). Un découpage temporel parfaitement périodique est facilement mémorisable, prévisible, donc sujet à l'effet d'érosion. Par réciprocité, un découpage apériodique du temps rend difficile la mémorisation du discours musical, dont le caractère imprévisible s'oppose à l'effet d'érosion au risque de perdre les auditeurs les moins réceptifs aux rythmes complexes : le squelette est porteur de forme dans la peau du temps.

> « Aux catégories arbitraires et généralement dualistes par lesquelles on a essayé de classer les durées : brève-longue, ternaire-binaire, valeurs rationnelles-irrationnelles, symétrie-asymétrie, je substitue une échelle de complexité, sans doute également arbitraire, mais qui a le mérite de renvoyer aux phénomènes du temps musical tels qu'ils sont perçus et de laisser entrevoir une continuité.
>
> La théorie de l'information telle que la définit Abraham Moles (1966) nous y aidera beaucoup.
>
> Le tableau ci-dessous nous laisse deviner un *continuum allant du simple au complexe que nous retrouverons dans la classification des intervalles par leur degré de rugosité et des timbres par leur degré d'inharmonicité*[10]. »

[9] Grisey, Gérard, *op cit*., « La chair du temps. Définition », p. 79.

[10] Grisey, Gérard, *ibidem*, « Catégories », p. 66

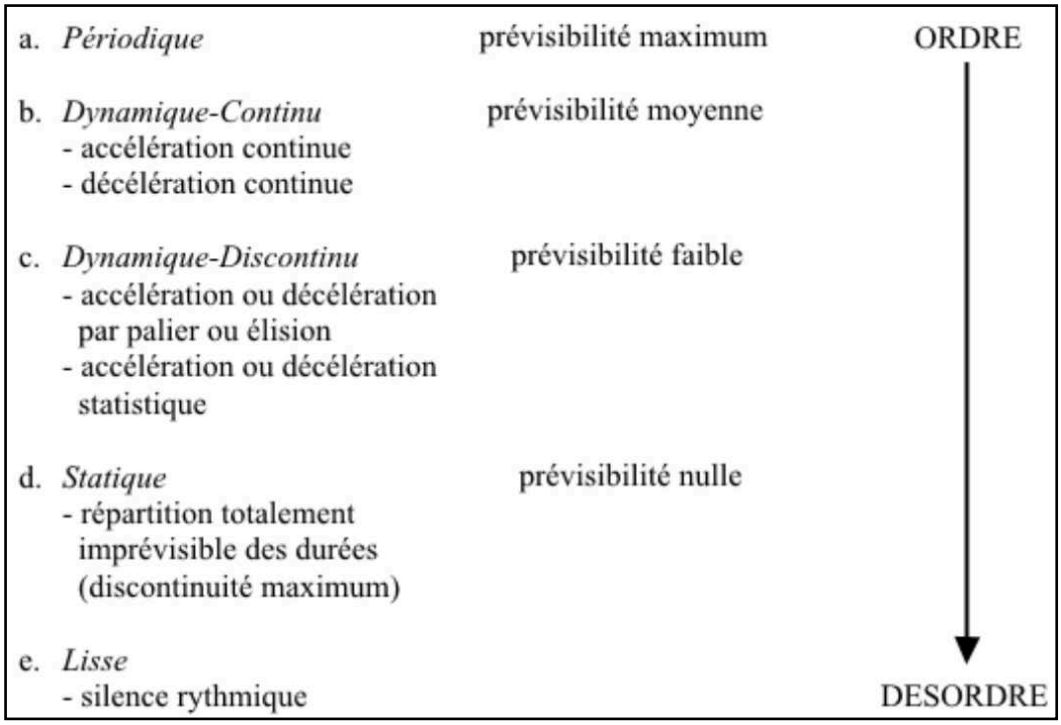


Fig.1.2.1 D'après le tableau de G. Grisey, p. 67, représentant le continuum allant du simple au complexe.

L'équilibre entre la stabilité et l'instabilité du matériau sonore et de la forme musicale peut être mesuré sur un axe vertical. Pour la communauté d'écoute de *free-party*, la stabilité du matériau et de la forme implique à la fois une brève durée de résistance à l'érosion par manque d'information, et une longue durée de résistance à l'érosion par excès d'information. Au contraire, l'instabilité du matériau et de la forme peut prolonger cette durée. G. Grisey représente de manière verticale différentes échelles de temps, entre un temps périodique facile à mesurer dans la durée, et un temps apériodique difficile à mesurer dans la durée. La durée pendant laquelle le temps est périodique ou apériodique peut être indiquée par un axe horizontal perpendiculaire à l'axe tracé par G. Grisey. Cette représentation polaire du temps permet de classer les formes musicales entendues en *free-party* (voir Fig.1.2.5, p. 39) selon les durées pendant lesquelles le temps s'oriente vers plus de stabilité ou d'instabilité.

Dans l'analyse du titre *Let's play* de Crystal Distorsion, Guillaume Kosmicki représente ces durées par des flèches qu'il commente en tant que « montées par accumulation de pistes et brouillage par des effets[11] », et pense cette structure selon le contexte musical dans lequel un *dj* « recomposera lors de son *mix* un *continuum* sonore en prélevant les parties qui l'intéressent sur les différents disques qu'il utilisera[12] ». Le *live* donne le temps de composer directement ce *continuum* sans

[11] Kosmicki, Guillaume, « Analyse de « Let's play » de Crystal Distortion : les paradoxes d'un « tube » de la free party », *Musurgia* , 2002, Vol. 9, No. 2, Musiques populaires modernes (2002), pp. 85-101 Published by: Editions ESKA, p. 98.

[12] Kosmicki, Guillaume, *op cit*., Analyse interne de «Let's play », p. 92.

l'intermédiaire des disques dont la durée est plus limitée que le *live*. Dans un *live*, ce *continuum* peut dilater le temps représenté par les flèches de montées qui structurent un titre comme *Let's play* : les procédés évoqués par G. Kosmicki offres de vastes possibilités à explorer selon les instruments qui jouent sur les pistes accumulées et les types d'effets qui peuvent conduire à un brouillage sonore. Les procédés qui peuvent être choisis en *live* pour entretenir ce *continuum* orientent ces flèches de montées vers divers degrés de complexité représentés par G. Grisey dans un autre *continuum*, qui va du simple au complexe. La flèche de montée semblerait alors se courber différemment selon le degré de complexité vers lequel elle s'oriente :

> « Il est vrai que la perception du degré de complexité n'est ni aussi simple, ni surtout aussi linéaire que ne pourrait le laisser supposer le tableau précédent. Entre le parfaitement prévisible et le parfaitement imprévisible, le degré de complexité semble suivre une ou plusieurs courbes dont le ou les sommets sont amplement fonction du contexte musical et des capacités perceptives de chacun. L'une des tâches les plus ardues du compositeur sera de déterminer jusqu'à qu'à quel point une structuration complexe affecte la perception de manière non-négative. En deçà et au-delà se situent les deux pôles d'ennui par manque ou par excès d'information, mais ce qui n'en reste pas moins laissé à l'entière subjectivité et responsabilité du compositeur[13]. »

En *free-party*, l'entièreté de la subjectivité des *livers* et de leur responsabilité cherchent à durablement maintenir la perception du public à distance des deux pôles d'ennui, entre lesquels sa perception s'altère. Les *free-parties* se caractérisent notamment par la longueur du temps pendant lequel le public peut danser sans se fatiguer. La résistance à l'attraction des pôles d'ennuis se traduit par une résistance manifeste à la fatigue qui devrait s'emparer du corps après avoir dansé assez longtemps. Le corps humain qui danse longtemps en *free-party* répond à un état biochimique particulier. La longue durée des teknivals illustre la singularité des conditions d'écoute propres à cette musique. Ma responsabilité de *liver* consiste à maintenir l'état de perception du public hors de portée des deux pôles par des moyens musicaux, pendant que chaque personne du public altère sa perception par ses propres moyens. Notre perception répond à un fonctionnement chimique et peut s'altérer de manière directement chimique, mais aussi musicale : la musique est alors toujours mise en relation avec la chimie de la perception. La subjectivité musicale des *livers* s'exprime parfois en référence à des molécules psychotropes pour déterminer des styles musicaux.

---

[13] Grisey, Gérard. *op cit*. p. 68

La qualification d'un style musical comme *speedcore* (se reporter à la partie 1.3.3, b, pôle *dance-floor*, *speedcore*, p. 48) exprime la vitesse importante de la pulsation, supérieure à environ 250 bpm, donc l'importance de l'énergie dépensée par la personne qui danse en rythme, de sa résistance à la fatigue : cet état physiologique peut être provoqué par certaines amphétamines ou méta-amphétamines, communément appelées *speed*. Le procédé musical *speedcore* doit inlassablement et rapidement répéter la pulsation régulière jouée par la grosse caisse de la batterie, nommé *kick* ou *bassdrum* selon les modèles de boîte à rythmes[14]. Le caractère minimal de ce procédé musical résiste à court terme, et de manière immédiate, à l'attraction du pôle d'ennui qui émergerait à long terme de l'excès d'information : comme le *speed* et la plupart des psychotropes stimulants, son effet est immédiat, mais il semble ne pas pouvoir résister sur le long terme à l'attraction du pôle d'ennui par manque d'information : cette sensation de manque est profondément impliquée dans l'addiction à la satisfaction immédiate du désir de danser.

L'*acidcore* (se reporter à la partie 1.3.3, c, pôle *free*, *acidcore* p. 50) est un autre style musical qui semble permettre au contraire de résister à long terme, et de manière non immédiate au pôle d'ennui qui émerge à court terme du manque d'information. Cette altération de la perception se traduit également par une résistance durable à la fatigue mais son effet stimulant agit de manière émergente. L'*acidcore* résiste à l'attraction du manque d'information en se laissant doucement emporter vers l'excès d'information : cet effet neuro-perturbateur et stimulant est analogue à celui du LSD 25, communément appelé « acide ».

Dans l'*acidcore* et le *speedcore*, la référence à la chimie moléculaire est une métaphore musicale, pas une condition d'écoute correcte exigée[15]. Quelle que soit son origine, l'altération de la perception qui permet de danser aussi longtemps est une chimie interactive avec la forme musicale.

> « Rejoignant Gilbert Rouget, nous affirmons évidemment qu'en aucun cas une musique ne saurait avoir le pouvoir *sui generis* et encore moins universel de déclencher la transe. De la même manière, aucun des inducteurs précédemment cités, pas même la consommation de produits psychotropes, n'a le pouvoir de les déclencher non plus. Seules leur combinaison idéale et leur intégration dans une culture en ont le pouvoir[16]. »

---

[14] J'en profite pour donner l'exemple du label « Very Explicit Bassdrum », même s'il ne s'agit pas précisément d'un label *speedcore*.

[15] Un titre comme *Cyberurier*, de Heretiks, témoigne musicalement de la présence en *free-party* de la culture *punk,* dans laquelle se distingue le mouvement *straight edge*, qui milite contre la consommation récréative de psychotropes. Voir Molotov, Blitz, *Armer la sobriété : L'anarchie sauvage contre la culture de l'intoxication*, 2018. À télécharger sur https://infokiosques.net/spip.php?article1771

[16] Kosmicki, Guillaume, *Transe, musique, liberté, autogestion, Une immersion de douze ans dans le monde des free parties et des teknivals*, *Cahiers d'ethnomusicologie* 21, 2008, La musique des free parties : « frange dure de la musique techno », p. 42. G Kosmicki fait ici référence à Rouget, Gilbert, *La musique et la transe: Esquisse d'une théorie générale des relations de la musique et de la possession*, Paris, Gallimard, 2010.

Le vocabulaire chimique présent dans la dénomination des styles musicaux exprime diverses altérations de la perception qui engagent à chaque fois une forme de sentiment différent, parfois radicalisé. Cette radicalisation du sentiment est suggérée par le mot *core* qui complète souvent les appellations. La continuité avec laquelle le style musical *acid-house*[17] de la fin des années 80 a pu parfois évoluer vers l'*acidcore*, est une radicalisation continue des modes de jeu en *live*[18], vers des sonorités toujours plus « acides[19] », mais aussi du sentiment porté par cette évolution de la forme musicale : *core* signifie le coeur, le noyau, la radicalité du procédé musical, quel qu'il soit. La vitesse au coeur de l'écriture *speedcore* peut symboliser un coeur qui bat vite, et l'opposition au temps périodique cultivée en *breakcore* (forme détaillée plus tard en 1.3.3, pôle *free*, *breakcore*, p. 51) peut symboliser la tachycardie d'un coeur brisé qui ne sait plus pour qui battre. Je note au passage que la *chronotropie*, c'est-à-dire l'altération du temps, désigne dans le vocabulaire médical une variation du pouls, mais je ne cherche à interagir musicalement qu'avec le temps cérébral, pas le temps cardiaque. On peut entendre dans *core*, l'expression de la place centrale accordée au sentiment dans la forme musicale qui veut l'exprimer intensément. Classer ces sentiments selon le composé chimique par lequel ils sont ressentis, peut constituer une méthode pour les reproduire en musique selon le temps d'action de la molécule. C'est donc d'après le classement des psychotropes proposé par Georges Peters[20] que je propose un classement des formes musicales, même si leur nom ne fait pas toujours référence à une molécule. Les formes *hardtek*, *hardcore* et *speedcore* sont rapides et stimulent l'énergie dansante, alors que les styles *drum'n bass*, *trip-hop* et *ambient* sont plus lents et reposants. Les formes *trance, acidcore* et *breakcore* sont complexes et perturbent la prévisibilité des événements, alors que les styles *tekno, gabber*, et *acid* sont plus simples et prévisibles. Autant de sentiments que de molécules peuvent alors être reproduits par des procédés musicaux en interaction avec la perception du temps.

G. Grisey propose une description de cette interaction entre les procédés musicaux et l'altération de la perception, dans laquelle il utilise l'adjectif *chronotrope* à propos des moyens musicaux dont il dispose pour résister à cette attraction vers les pôles d'ennui :

---

[17] Ce style est popularisé en autre par le titre *Rock to the beat* de 101. Le titre sorti en 1988 a été censuré à l'époque par la radio NRJ, qui y entendait une apologie explicite de l'usage récréatif de psychotrope. On peut entendre en boucle une voix chanter « rock to the beat, rock to the beat..(ad lib) ». À chaque répétition, la transition sonore entre la fin du mot *beat* et le mot *rock* peut alors donner l'illusion d'entendre le mot « *drug* ». Cette politique de censure radiophonique a paradoxalement contribué au succès du titre, et à faire découvrir au public l'existence des *raves*. J'ai moi-même découvert l'existence de ce mouvement à l'âge de 10 ans grâce à ce titre. Je ne comprenais alors ni l'anglais, ni en quoi ce contenu musical avant tout instrumental pouvait être sujet à censure, mais j'étais surtout intrigué par la mise en valeur des instruments électroniques que je ne connaissais pas (échantillonneur, boîte à rythmes), et cette forme musicale répétitive nouvelle pour l'époque.

[18] Je pense au *remix* de *Pop-Corn* par Aphex Twin : https://www.youtube.com/watch?v=T1nqwhI14do

[19] c'est-à-dire, en explorant toujours plus la variété de timbres par le traitement continu des filtres sur un instrument de synthèse, comme la TB-303 de Roland.

[20] Peters, Georges, « Rave drugs : musique techno et designer drugs », *Revue médicale suisse*, 2001, n° 2363, *Médecine d'urgence*, https://www.revmed.ch/revue-medicale-suisse/2001/revue-medicale-suisse-2363/rave-drugs-musique-techno-et-designer-drugs. DOI: 10.53738/REVMED.2001.59.2363.1967

> « Pour contrebalancer cet effet d'entropie, cette érosion permanente du son dans notre mémoire, le compositeur ne dispose que de maigres moyens.
>
> En voici quelques-uns :
>
> 1) La répétition d'un événement aide, et force parfois la mémorisation.
>
> 2) Le degré de prégnance d'un son ou d'une séquence peut favoriser sa mémorisation. Un son violent ou inattendu, par exemple, peut laisser une empreinte perdurable. C'est le but même du contraste.
>
> 3) Au contraire, dans la composition de certains types de processus, la différence entre chaque événement est de zéro. (…) si cette continuité est maintenue durant toute l'œuvre, la mémorisation est pratiquement impossible. Si aucun événement saillant ne vient choquer notre conscience, notre mémoire reste inconsciente. Elle ne sait où se raccrocher - d'où l'intense effet de fascination ou d'hypnose - et seul émerge le souvenir vague des contours de l'évolution sonore. Le temps qui s'écoule n'est plus mesurable. C'est ce type de processus que j'appelle psychotrope, ou mieux même chronotrope[21]. »

Je retiens dès lors l'idée de chronotropie comme un moyen musical d'interagir avec l'altération d'un temps psychologique de manière à ce que s'exerce une résistance à l'effet d'entropie[22]. Ressentie sur une longue durée, l'émotion musicale tend à se disperser en une somme de sentiments indéterminés. Cette dynamique de l'entropie est autant présente dans le phénomène musical que dans sa perception : par son contenu temporel, toute musique et tout objet sonore tendent vers un état final silencieux. Dans le schéma 1.2.5 (p.26), G. Grisey associe le silence rythmique au seuil maximal de désordre temporel. Sa manière de qualifier la résistance d'une musique à l'entropie comme « psychotrope, ou mieux même chronotrope » me pose la question du rôle du cerveau dans la perception du temps musical du *live* : l'attraction vers les pôles d'ennui semble nécéssaire à un fonctionnement cognitif sans lequel il serait impossible de ressentir la moindre émotion musicale. La dynamique de l'entropie propre aux traitements des événements et à la synthèse des émotions par le cerveau est ici énoncée par Fabien Fenouillet[23] :

---

[21] Grisey, Gérard, *op cit.,* « La peau du temps, mémoire et érosion », p. 91.

[22] Bridgman, Percy, W., *The Nature of Thermodynamics*, Cambrige (Massachussets), Harvard University Press, 1941, réimpr. 1943, « Entropy », p. 150. https://archive.org/details/natureofthermody031258mbp/mode/2up

[23] Fenouillet, Fabien, *Les Théories de la motivation*, chapitre II, « Présentation intégrée de 101 théories motivationnelles », 3.7.6. Théorie de l'antagonisme motivationnel, Paris, Dunod, « Éducation sup », 2023. https://shs-cairn- info.faraway.parisnanterre.fr/les-theories-de-la-motivation--9782100793228-page-65?lang=fr#s2n9, consulté le 5 août 2025.

« Pour Solomon & Corbit (1974), après l'introduction d'un stimulus averti ou hédoniste, une réaction du même ordre surgit jusqu'à atteindre un pic (…). Dans une deuxième phase, cette réaction décline doucement (…) jusqu'à atteindre un certain seuil tant que l'intensité du stimulus est maintenue (…). Lorsque le stimulus s'arrête, la réaction affective s'arrête et donne naissance à une contre-réaction affective qualitative très différente de la première, qui elle même connaît un pic en miroir de la première et qui décline lentement jusqu'à disparaître totalement (Fig.1.2.2)[24]. »

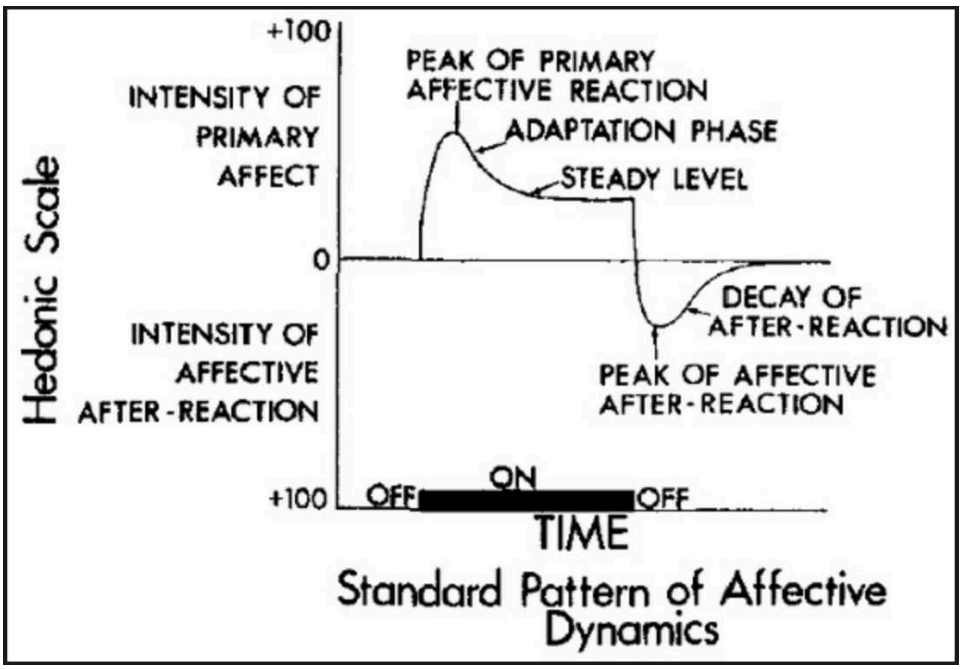


Fig.1.2.2 Schéma standard d'une dynamique hédoniste affective, tiré de Solomon & Corbit (1974), présent dans le document cité ci-dessus.

Je fréquente les *free-parties* car le *kick* est un événement sonore qui me plaît ; la dynamique hédoniste affective liée à cette sensation de plaisir décroît quand je ne l'entends plus, donc je désire que le *kick* se répète encore et encore : ce désir naît d'une addiction provoquée par le manque d'amplitude à la fin de cette dynamique qui constitue une forme d'entropie sonore. Deux neurotransmetteurs y sont impliqués : les endorphines durant l'attaque, et la dopamine pendant le déclin. Dans *La chair et le diable*, Jean-Didier Vincent détaille leur action à travers deux réseaux neuronaux décrits comme des pentes :

« La première pente suit le système dit mésocortical qui utilise la dopamine comme neurotransmetteur.(…) Les corps cellulaires des neurones dopaminergiques (…) reçoivent des informations provenant aussi bien du cerveau que de l'ensemble du corps. Ce système

[24] Tassin, Jean-Pol, *Le circuit de la récompense*, 4. La dopamine, seule responsable du circuit de la récompense ? 28.05.21 https://planet-vie.ens.fr/thematiques/animaux./systeme-nerveux-et-systeme-hormonal/le-circuit-de-la-recompense

vise principalement l'aspect incitatif, c'est-à-dire les comportements d'approche et d'appropriation des objets (…)[25]. »

La danse est une forme d'appropriation de la tekno comme objet musical. La stimulation dansante doit donc être considérée comme musicalement dopaminergique en *live*. Elle peut être produite chez le public par l'auto-administration de molécules exogènes agonistes de la dopamine (notés comme *stimulants psychomoteurs* dans la figure 1.2.4, p. 37), pour accroître la quantité de mouvement dansé.

> « La seconde pente est soutenue par un système non dopaminergique qui fonctionne avec les opiacés endogènes comme neurotransmetteurs. Ces substances de nature protéique sont (…) libérées au niveau des synapses qui fixent les extraits d'opium après que ceux-ci aient pénétré dans le cerveau. Ce système rend principalement compte de l'aspect du plaisir lié à la consommation et destiné à la satisfaction d'un besoin de l'organisme (comportement homéostatique)[26]. »

La répétition du *kick* répond au désir dopaminergique de satisfaction immédiate : la stimulation dansante est une approche du temps musical à court terme. La satisfaction immédiate provoquée par la répétition est endorphinergique, la sensation de plaisir est un apaisement corporel qui répond à l'effort de la stimulation dansante. Chimiquement, l'auto-administration de molécules exogènes agonistes de l'endorphine (notés comme *narcotiques analgésiques* dans la figure 1.2.4, p. 37) peut répondre à un besoin de satisfaction immédiate, notamment pour calmer la douleur. L'effet endorphinergique est neuro-dépresseur, et s'érode assez vite quand le *kick* se répète invariablement jusqu'à risquer de provoquer une lassitude à l'écoute, et un épuisement de l'énergie dansante :

> « Les deux voies sont inséparables et le plaisir implique à la fois l'appétence et la consommation (…), leur fonctionnement harmonieux permet de joindre l'utile à l'agréable et le plaisir à la satisfaction des besoins.(…) Lors de sa stimulation répétée et prolongée, la libération des endorphines s'épuise et leurs récepteurs se désensibilisent (l'amplitude de leur réponse diminue). Mais d'autre part, l'activation soutenue de la voie dopaminergique sollicite en même temps l'intervention d'une boucle de rétroaction négative formée de neurones à Gaba (l'acide gamma-amino-butyrique, neurotransmetteur inhibiteur) qui freinent et bloquent en retour l'emballement des neurones à dopamine.(…) Ceux-ci sont

[25] Vincent, Jean-Didier, *La chair et le diable*, Odile Jacob, Paris, 2004. Chapitre premier, L'Opposant, Les voies du ciel et les voies de l'enfer, p. 121.

[26] J.-D, Vincent, *op cit*., p. 122.

> associés à la souffrance et à l'aversion. Les régions médianes du mésencéphale et de l'hypothalamus, lorsqu'elles sont activées, induisent des phénomènes d'aversion et de punition. (…) [27] »

Il est possible de créer musicalement une sensation de manque dans le contexte d'un *live*, par exemple en inhibant le *kick*, en prolongeant cette coupure, en filtrant ses fréquences basses, ou encore en perturbant sa régularité : la diversité des moyens de privation du *kick* repose sur le caractère imprévisible des traitements qui peuvent altérer son rôle neuro-stimulant. La ré-exposition du *kick* répond au désir de satisfaction immédiate dans la mesure où le retour du *kick* sait se faire désirer. Dans ce contexte, c'est l'absence de *kick* qui tient le rôle dopaminergique du désir de satisfaction immédiate. C'est depuis l'équilibre entre les moments où le kick est présent et ceux où il est absent que se gère la tension musicale en *live*. Les sons qui l'accompagnent peuvent contribuer à le faire désirer en annonçant son retour. Ces sons peuvent esquisser des points de repères temporels qui instaurent une prévisibilité dans la durée par un inéluctable compte à rebours vers la ré-exposition du *kick*. Ce compte à rebours m'invite à prendre à mon mal en patience, car je peux anticiper quand je vais obtenir cette récompense qu'il me promet.

> « Parallèlement au rôle majeur de la dopamine dans le système latéral de récompense, la sérotonine, autre neurotransmetteur, occuperait une position comparable au sein du système médian d'aversion et de déplaisir.(…)
> Un dernier système, dit noradrénergique, paraît être impliqué à la fois dans les mécanismes du plaisir et de l'aversion (…), ces neurones modulent l'excitabilité des millions de neurones directement impliqués dans le transfert de l'information d'une structure à une autre. Qui plus est, ces neurones sont activés lors de toute forme de stimulation sensorielle (visuelle, auditive ou tactile)[28]. »

Le schéma suivant (Fig.1.2.3) montre comment l'action couplée de la noradrénaline et de la sérotonine module celle de la dopamine. L'action de la noradrénaline tend vers l'excès d'information, celle de la sérotonine tend vers le manque d'information. L'action couplée de ces neurotransmetteurs maintient la perception en équilibre entre ces deux pôles d'ennui, notamment par cette modulation des circuits dopaminergiques.

---

[27] J.-D, Vincent, *op cit*., p. 124.

[28] J.-D, Vincent, *op cit*..

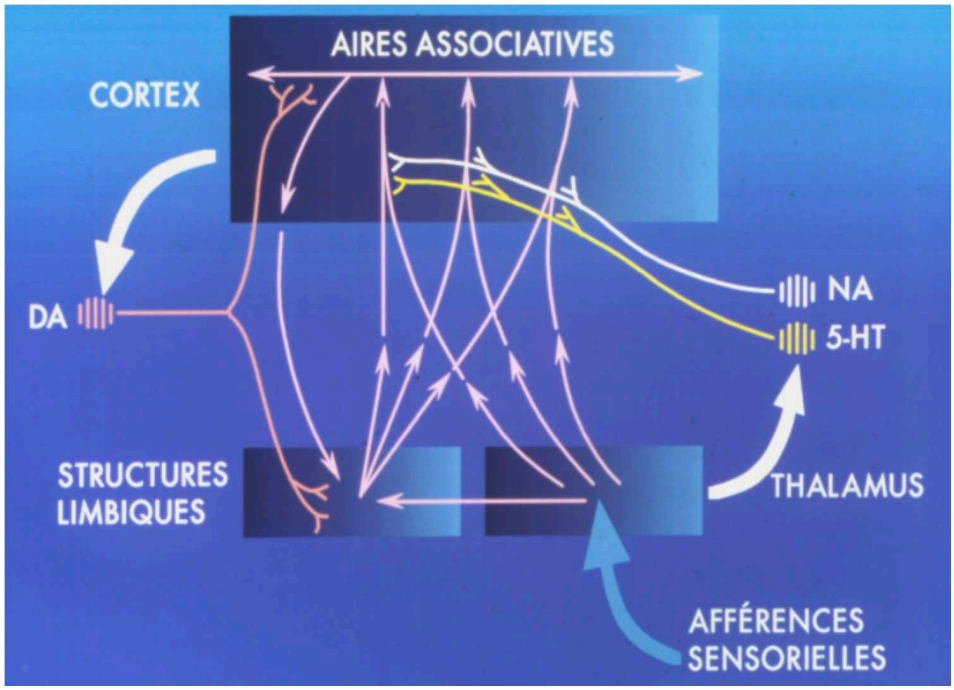


Fig.1.2.3 « Les afférences sensorielles, après un relais dans des noyaux spécifiques du thalamus, atteignent le cortex par l'intermédiaire des neurones dits exécutifs. Simultanément les neurones noradrénergiques (NA) et sérotoninergiques (5-HT) sont activés et modulent le traitement des informations corticales qui sont associées de l'arrière à l'avant du cortex. Ces informations rejoignent les neurones dopaminergiques (DA) qui déterminent une hiérarchie cortico-sous-corticale afin de répondre de façon adaptée au sens des afférences sensorielles (13). Abréviation : 5-HT signifie 5-hydroxytryptamine (sérotonine). ». Image et commentaire fournis par Tassin, Jean-Pol, *op cit*.

La dynamique affective décrite par Solomon & Corbit, et le paragraphe « Mémoire et érosion » de G. Grisey mettent en évidence le second principe de la thermodynamique, l'entropie : un système fini ne peut évoluer que vers plus de chaos[29], ce qui est donc le cas pour notre perception. Le chaos peut être une absence totale d'information, ou bien un seuil critique dans l'excès d'information, au-delà duquel je ne peux en entendre davantage. Ces deux approches contiennent des éléments à partir desquels il est possible de construire une méthode qui prend en compte cette évolution vers de plus en plus de chaos, pour comprendre comment s'articulent les résistances à l'entropie dans le déroulement d'une improvisation musicale comme le *live*.

> « Les neurones à noradrénaline réagissent à tout événement nouveau de l'environnement dans un délai extrêmement court (30 ms) en libérant de la noradrénaline. Si l'événement nouveau se reproduit plusieurs fois, les neurones noradrénergiques ne s'activent plus (on dit qu'ils se désensibilisent). La libération de noradrénaline entraîne, notamment dans le cortex somatosensoriel, une augmentation du rapport signal sur bruit. Autrement dit, lorsque survient un événement saillant, la noradrénaline diminue le bruit de fond, ce qui met en

[29] Bridgman, Percy W, *op.cit*.

> relief le nouveau signal par rapport à l'ensemble des signaux déjà présents et qui constituent le bruit. Ces neurones renforcent la vigilance et la prise de conscience de l'événement par l'individu[30]. »

Les sons percussifs, par leurs transitoires d'attaque, peuvent donc provoquer une réaction du système noradrénergique. Joués dans un rythme répétitif, ils provoquent une érosion dans la réaction de ce système : ce rythme est alors relégué comme bruit de fond alors qu'il est considéré comme un signal lors de son exposition. Toute modification du rythme est mise en valeur dans notre perception par contraste avec une diminution du bruit de fond. Les procédés par lesquels le langage musical *breakcore* résiste immédiatement à l'érosion provoquée par le manque d'information, repose abondamment sur les traitements aléatoires du rythme, et des effets granulaires perceptibles dans la courte durée, souvent en contraste avec de longues nappes qui résistent, elles, sur le long terme à l'excès d'information.

> « Les neurones sérotoninergiques, quant à eux, réagissent aussi aux événements extérieurs mais, contrairement aux neurones noradrénergiques, ils ne se désensibilisent pas quand ils reçoivent successivement des stimuli identiques. La libération de sérotonine entraîne une diminution du rapport signal sur bruit, c'est-à-dire qu'elle diminue plus le signal que le bruit de fond. Ainsi, les événements saillants sont « relativisés », ce qui permet de rester vigilant face à ce qui se passe autour de soi. Ce faisant, les neurones à sérotonine semblent protéger le système nerveux central : ils lui permettent de poursuivre le traitement des informations reçues, malgré la présence d'événements extérieurs marquants, qui risqueraient de perturber ce traitement[31]. »

[30] Tassin, Jean-Pol, *op cit*.

[31] Tassin, Jean-Pol, *op cit*.

Le système sérotoninergique s'oppose au sentiment de surprise provoqué par le jeu des instruments de percussion, il érode leur rôle saillant dans la forme musicale. Ce caractère imperturbable de la perception entre en confrontation avec le caractère immédiat, imprévisible et désordonné du matériau musical pour l'ordonner dans la durée, et rend ainsi la forme musicale identifiable.

En *breakcore*, les nappes sonores de longue durée s'opposent souvent au jeu des instruments de percussion : le matériau des nappes est continu, leurs transitoires d'attaque sont longues, celles des percussions sont courtes et leur matériau est discret. Dans la forme, certains instruments jouent des nappes longues aux variations rares, alors que les rythmes sont constitués de nombreux événements courts et varient souvent. Les nappes ordonnent le caractère immédiat et brièvement périodique des variations rythmiques dans un temps long et périodique, porteur de la forme *breakcore*.

L' érosion qui amenuise le plaisir d'écouter le *live* pousse à chercher des moyens musicaux qui maintiennent un sentiment de satisfaction sur le long terme, notamment par des procédés neuro-perturbateurs émergents. Il est possible de s'inspirer directement de l'interaction entre la noradrénaline et la sérotonine pour décrire le temps que doit prendre la forme musicale pour jouer ce rôle neuro-perturbateur et émergent. Alors que le noradrénaline tend vers l'excès d'information, la sérotonine tend vers le manque d'information, mais si son action modératrice peut être considérée comme légèrement neuroleptique à courte échéance, son caractère constant et continu lui procure au contraire un caractère neuro-perturbateur émergent sur le long terme. La lenteur avec laquelle la sérotonine érode l'émotion peut être telle qu'il n'est plus possible de déterminer si c'est le manque ou l'excès d'information qui est modéré. L'action érosive de la sérotonine contient la résistance à l'érosion dans son temps d'action : du seul point de vue de ce temps d'action, l'érosion et la résistance à l'érosion se confondent. C'est cet équilibre par la lenteur qu'il semble falloir reproduire en musique afin de pouvoir jouer et danser longtemps.
Chimiquement, il est possible de s'auto-administrer des molécules exogènes neuro-perturbatrices agonistes de la noradrénaline ou de la sérotonine (en cyan dans la figure 1.2.4, p. 37), afin de faire naître progressivement une stimulation dansante par un « long et méthodique dérangement des sens[32] ». Ces molécules modulent entre autres l'activité des neurones 5HT-2a, récepteurs de la sérotonine et de la noradrénaline[33], impliqués dans l'altération de la vision, de l'ouïe, et du toucher, particulièrement stimulés sur le *dance-floor* par la musique et les effets visuels comme les stroboscopes, les fumigènes, ou tout autre outil impliquant un art visuel de la scène.

---

[32] L'expression est attribuée à Jim Morrison dans le film *The Doors*, d'Oliver Stone, sorti en 1991. Envisager le dégagement des sens comme une longue méthode m'invite à la chercher en musique.

[33] Fantegrossi, William, Murnane, Kevin, Reissig, Chad , « The behavioral pharmacology of *hallucinogens* », *Biochemical Pharmacology,* volume 75, Issue 1, 1 January 2008, p. 17-33 (3. Serotonin receptors and hallucinogen neuropharmacology, p. 22).

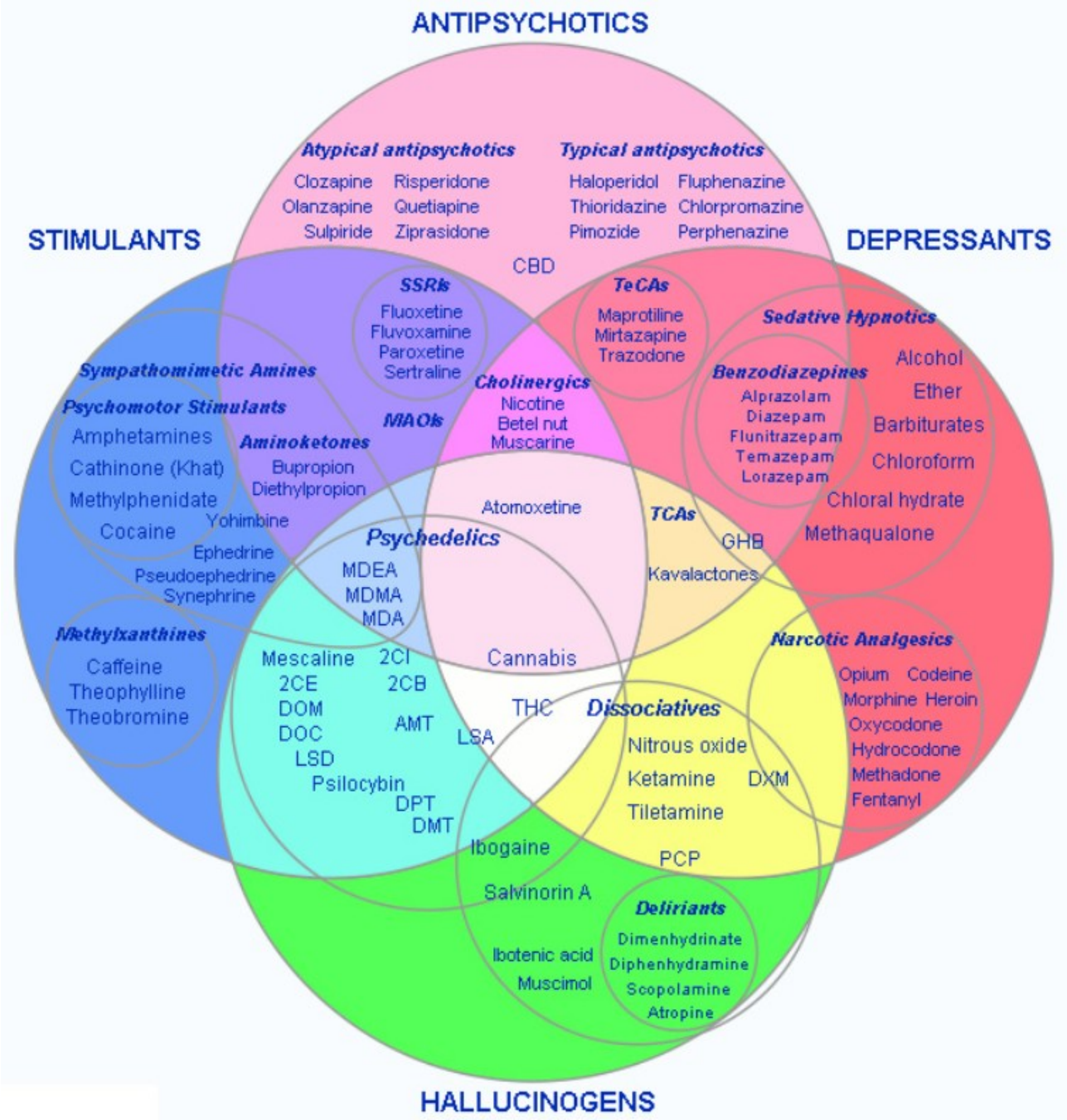


FIg.1.2.4 Diagramme des psychotropes réalisé par Derek Snider (université de Cambridge, Ontario), d'après la classification du Dr Georges Peters (Institut de pharmacologie et toxicologie, Université de Lausanne). Ce diagramme est consultable sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/Psychotrope#Classifications

Certaines formes musicales se caractérisent par l'intervention de phénomènes sonores aléatoires qui jouent un rôle neuro-perturbateur dans la prévisibilité du temps musical. Dans l'*acidcore*, les traitements aléatoires se développent, contrairement au *breakcore*, de manière continue et sur une longue durée, et transforment ainsi les sonorités d'instruments au jeu relativement mélodique, au rythme périodique, contrastant avec le comportement imprévisible de leur effet. De nombreux effets de balayage par *flanger* ou filtre résonnant traitent ces instruments au jeu mélodique, mais aussi les

percussions. Le système noradrénergique est continuellement mais modérément stimulé, alors que le système sérotoninergique réagit continuellement à la répétition des événements. Le style musical *acidcore* résiste sur le long terme à l'effet d'érosion provoquée par le manque d'information, et contribue à entretenir le sentiment de satisfaction pendant de longues durées.

La continuité dans la forme et le matériau musical, l'absence d'événements saillants, s'opposent à la la perception métrique du temps. Les traitements continus se développent sur une longue durée, alors que la discrétisation intervient dans un temps court. Un temps long et continu peut contenir d'avantage d'informations sonores qu'un temps court et discrétisé. En *acidcore*, la résistance au manque d'informations perdure sur un temps long et continu. En *breakcore*, la résistance au manque d'informations prend au contraire effet sur un temps court, discrétisé en une multitude d'informations courtes. L'équilibre entre manque et excès d'informations dépend d'une échelle de durées, différentes pour chaque forme musicale. L'axe vertical tracé entre les deux pôles d'ennui par G. Grisey peut alors être mis en relation avec un axe horizontal indiquant l'échelle de durées répertoriées par Curtis Roads :

« *Infini* La portée idéale du temps des durées mathématiques comme la somme infinie des ondes sinusoïdes dans l'analyse classique de Fourier.

Supra Une échelle de temps au-delà d'une composition individuelle, et s'étendant sur des mois, des années, des décennies, et des siècles.

Macro L'échelle de temps de la totalité de l'architecture ou la forme, mesurée en minutes ou en heures, ou dans des cas extrêmes, en jours.

Meso Divisions de la forme. Groupements d'objets sonores en hiérarchies de différentes tailles de structures de phrase, mesurés en minutes ou en secondes.

Objet sonore Une unité basique de la structure musicale, généralisant le concept traditionnel de note pour inclure des événements sonores complexes et évolutifs sur une échelle de temps bornée d'une fraction de seconde à plusieurs secondes.

Micro Des particules de son sur une échelle qui s'étend en dessous du seuil de perception auditive (mesurée en millième de seconde ou en millisecondes).

Échantillon Le niveau atomique des systèmes audionumériques. Des échantillons binaires individuels ou des valeurs numériques d'amplitude, se succédant l'une après l'autre à intervalle fixe. La période entre les échantillons est mesurée en millionièmes de secondes (microsecondes).

Sous-échantillon Des fluctuations sur une échelle de temps trop brève pour être clairement enregistrée ou perçue, mesurée en milliardièmes de secondes (nanosecondes) ou moins.

Infinitésimal La portée idéale du temps des durées mathématiques comme les fonctions delta infiniment brèves.»[34]

Toutes les interpolations entre la durée et la quantité d'information sont des qualités d'énergies chronotropes qui peuvent être classées de manière polaire comme dans le diagramme des psychotropes (Fig 1.2.5, 1.2.6).

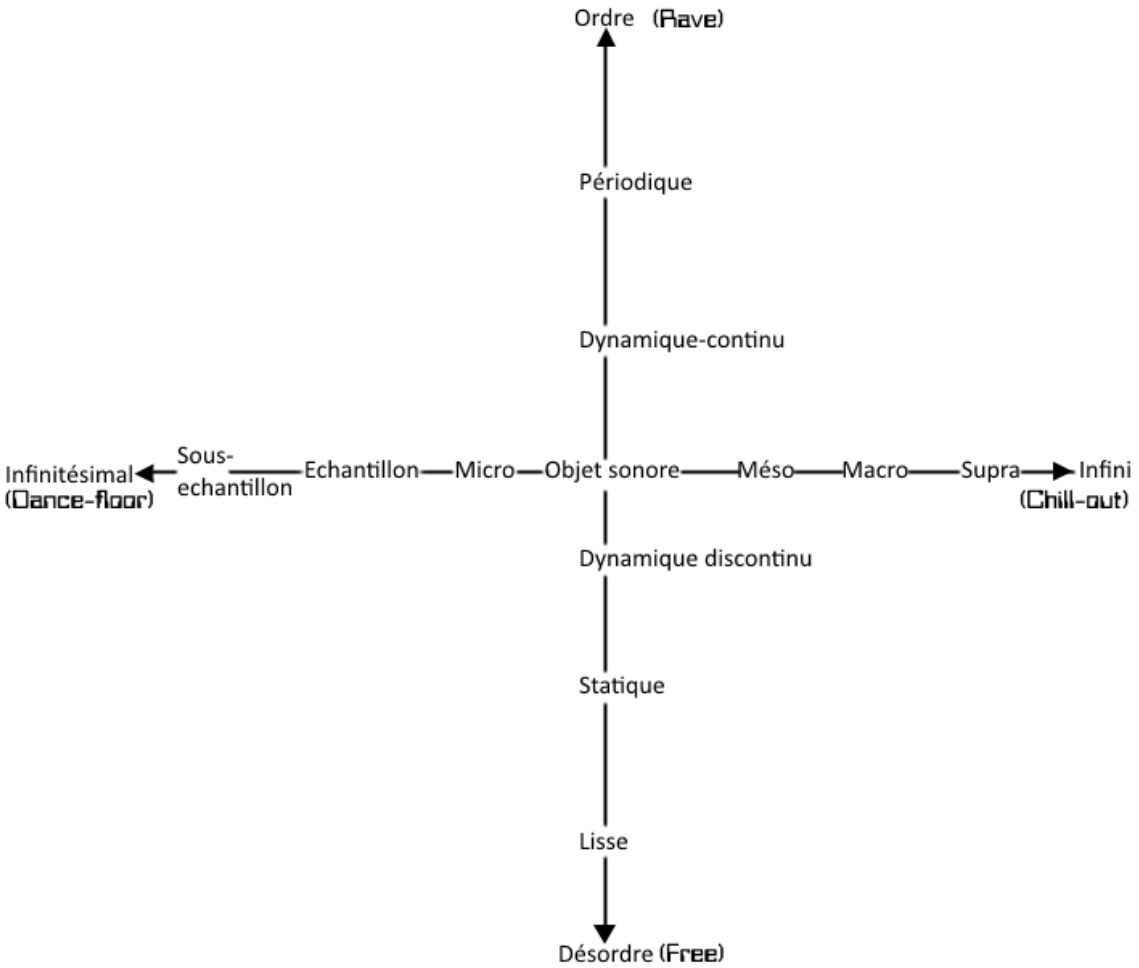


Fig. 1.2.5 Ma représentation polaire d'après les échelles de temps de G. Grisey et de C. Roads. Je regroupe les formes musicales les plus résistantes à l'excès d'information vers le pôle *rave*. Les plus résistantes au manque d'information sont regroupées dans le pôle *free*. Celles dont la résistance prend effet sur un temps court sont regroupées dans le pôle *dance-floor*. Celles dont la résistance perdure sur un temps long sont regroupées dans le pôle *chill-out*. Chaque forme est détaillée dans la partie 1.3.3 « Dualité entre mémoire et érosion à l'écoute des formes musicales», p.47.

Cette représentation polaire permet de mettre en relation les procédés musicaux avec les molécules psychotropes du diagramme de Snyder. La résistance à l'excès d'information est produite par les neuroleptiques. La résistance au manque d'information est produite par les neuro-perturbateurs. Les stimulants augmentent la quantité de mouvement dansé dans le temps, les dépresseurs la diminuent. Classer les musiques jouées en *free-party* selon leur qualité chronotrope constitue une approximation qui a pour but d'établir des points de repères mesurables par leur rapport au temps.

[34] Notre traduction de Roads, Curtis, *Microsound,* Time Scales of Music, London, MIT Press, 2004, p. 3-4,

Ce temps est psychologique, donc lui-même approximatif dans son appréciation du temps physique, et il varie selon les personnes au sein même de la communauté d'écoute. Il est arbitraire d'établir des généralités sur la qualité chronotrope des formes musicales, mais aussi temporaire[35] : les musiques de *free-party* évoluent avec la communauté d'écoute, de nouveaux styles émergent, d'autres se raréfient.



Fig.1.2.6 Ma proposition du diagramme des formes de chronotropies portées par les différents styles de musique et d'auteurs en *free-party*. Chacune peut être classée soit par époque à l'échelle *supra,* soit par forme à l'échelle *méso,* soit à l'échelle de chaque objet sonore. Les couleurs choisies par D.Snyder pour la clarté visuelle peuvent nous interroger sur la correspondance ainsi établie entre les couleurs et les familles de psychotropes, comme peut être questionnée la correspondance que j'établis entre les molécules psychotropes avec les procédés chronotropes des formes musicales.

[35] L'accès *open source* au diagramme de Snyder se prête à des mises à jour quand de nouvelles propriétés moléculaires sont découvertes, il est donc facile d'y ajouter des formes musicales et des auteurs.

Le dernier classement que j'ai établi lors de mes précédentes recherches musicologiques[36] sur la *free-party* remonte à une décennie : la mise à jour des points de repères ne peut toujours pas se défaire de son caractère arbitraire et temporaire, mais elle offre une démarche plus séculière quant à l'approche du phénomène de chronotropie dans un contexte musical en évolution. Ce rappel de classification dresse un dernier état de l'art sur la tekno en *free-party* : chaque style musical a une énergie qui doit être fidèlement conservée, et peut-être même approfondie lors de la composition de l'espace sonore.

Bien que rarement pratiqués, l'écoute et le jeu en ambisonie ont fait l'objet d'expérimentations dès le début du mouvement *rave,* bien avant que j'y participe. Je ne dispose que de témoignages oraux à ce sujet, mais j'ai eu plusieurs fois l'occasion de constater que des *sound-systems* avaient disposé leurs haut-parleurs selon des configurations qui rendaient possible la composition de l'espace sonore en 2D, à chaque fois dans des événements qui regroupaient plusieurs sound-systems. Je n'ai toutefois pas entendu de composition de ce type d'espace durant ces occasions, mais peut être étais-je sur autre dance-floor à ce moment là. Il arrive aussi que ces *sound-systems* jouent sur une double stéréophonie. La plupart des *dj's* mixent d'ailleurs des disques enregistrés en stéréophonie, il n'est donc pas évident de remixer leur espace sonore de manière musicale, surtout en temps réel.
Le premier exemple est un essai de tri-phonie, au teknival organisé pour l'éclipse de soleil (près de Soissons durant l'été 1999[37]) sur le *sound-system* de *travelers* UFO. Le second eut lieu la même année lors d'une *free-party* organisée près d'Elbeuf par le *sound-system* Teknokrates : il y avait leur *dance-floor* comme scène principale, un petit *sound-system hardcore* et un *sound-system trance* avec ses haut-parleurs en quadriphonie. La qualité originale de ce genre de *free-parties* est due à la diversité musicale. Les *sound-systems* de *travelers*, en tant que pionniers du mouvement *rave* et *free*, ont chacun une identité musicale propre, alors que les *sound-systems* qui suivent ce mouvement tout en restant intégrés au mode de vie consumériste peuvent finir par tous se ressembler musicalement. C'est donc en privilégiant les procédés musicaux les plus singuliers que sont construits les points de repères qui rendent possible une approche générale de la forme musicale selon sa qualité de résistance à l'entropie.
Plus récemment, le duo R-zac a enregistré un *live* comprenant des traitements 2D : *Immersive Session Binaural Mix*[38], accessible au format binaural depuis septembre 2022. La plupart des

---

[36] Picciola, Daniel, *Le live en* free-party *: contexte, approche du temps, commentaires d'écoute et analyse*, Master 2 Musicologie, Création, Musique et Société, parcours « Théorie et recherche ». Université Paris VIII, 2015. Ce mémoire peut être téléchargé sous le nom « memolive.pdf » sur https://conspiration.me/nextcloud/apps/files/files/12012?dir=/ (nom d'utilisateur : Daniel, mot de passe : danielgrosfichieraudio)

[37] Ce teknival s'est déroulé quelque part au bord de la D935 en sortant de la N2 en direction de Soissons (nous avions décidé de changer de lieu au dernier moment et ne savions pas vraiment où nous étions).

[38] Ce *live* peut être écouté, de préférence au casque, sur la page : https://www.youtube.com/watch?v=fQP9eNo_SH0

instruments sont traités comme sources directionnelles aux mouvements lents et continus, à l'exception du *kick* et de la caisse claire qui demeurent au centre de l'espace sonore. Je retrouve dans ces spatialisations certains procédés que j'utilise, comme l'interaction entre la continuité de l'évolution spectrale et la continuité du déplacement des sources. Les sources directionnelles de ces instruments sont parfois symétriques sur l'azimut, tout comme dans mon *live*. Les sources progressent lentement sur des phrases musicales longues, supérieures à huit temps, composées de valeurs longues. Ce traitement spatial interagit alors avec la structure du *live* d'une manière moins périodique qu'avec des phrases plus courtes donc plus fréquemment répétées : cette spatialisation renforce surtout l'effet neuro-perturbateur du jeu instrumental mais n'interagit pas directement avec les procédés dansants issus des rythmes périodiques plus brefs.

1.3 Vocabulaire musicologique en *free-party*: classification des matériaux et des formes musicales

Dans le diagramme 1.2.6 (p. 40), l'axe horizontal relie le pôle *Dance-floor,* qui regroupe les styles musicaux stimulants, au pôle *Chill-out* dans lequel sont regroupées les styles musicaux à l'effet dépresseur. Entre ces deux pôles, les styles musicaux sont associés au caractère dansant de la forme : un *presto* suggère une danse rapide, un *lento* suggère une danse lente. Cet axe du temps métronomique est aussi une approche spatiale du teknival : le *chill-out* est un lieu pour se reposer sur de la musique calme après avoir passé un temps indéterminé sur les *dance-floors*.

L'axe vertical relie le pôle *Rave,* dans lequel sont contenues les styles musicaux neuroleptiques, au pôle *Free* qui contient les styles musicaux neuro-perturbateurs. Cet axe est aussi une approche chronologique des musiques entendues en teknival : plus un procédé musical est nouveau, plus il s'oppose aux codes musicaux pré-établis, plus il est neuro-perturbateur. Le pôle *Rave* contient des styles musicaux joués dans les débuts du mouvement *rave-party*, le pôle *Free* contient des styles musicaux plus récents, joués quand le mouvement *rave-party* a évolué en *free-party*. Depuis leur apparition à la fin des années 80 jusqu'à nos jours, la transformation du mouvement et de ces styles musicaux s'inscrivent dans une échelle temporelle *Supra*. La durée du teknival est une durée extrêmement longue dans l'échelle *Macro,* celle du *live* est comprise dans cette échelle : plus le teknival dure longtemps, plus le *live* peut durer longtemps.

1.3.1 Objet sonore et altération de la perception

L'instrument qui permet le plus de distinguer les différents styles de tekno est le *kick,* ou *bass drum*[39], dont les quelques exemples suivants permettent de comprendre comment il peut résister à l'entropie dans la forme musicale en tant qu'objet sonore. Cet instrument synthétise une grosse caisse de batterie et peut être facilement modulé pour rappeler le son d'autres percussions comme les timbales, notamment en maintenant des hauteurs stables dans les basses fréquences. Différentes frappes avec plus ou moins d'attaque peuvent être synthétisées pour déterminer quelle percussion perturbe le spectre de l'instrument. La fin de son enveloppe tend vers une forme d'entropie : une chute de la fréquence et de l'amplitude vers un état final différent selon le type de *kick*. Cet état final peut être sonore ou silencieux, selon la dynamique déterminée par la fin de l'enveloppe. Répéter le *kick* à une fréquence régulière est une forme d'opposition à l'entropie contenue dans le matériau. Cette opposition prend effet depuis la forme musicale pendant une durée limitée, relative au contexte musical ponctué par le *kick*, et conditionnée par la reconnaissance cognitive de la métrique. Il est tout aussi facile à prévoir qu'à mémoriser quand il est joué régulièrement, donc à désordonner par des rythmes moins réguliers, mais aussi par des traitements sur le timbre, notamment des filtres passe-bas, passe-haut, ou résonnants.

- **Le *kick* tekno** : Le plus simple des *kicks* est un son de grosse caisse obtenu par synthèse ou échantillonnage. Le caractère percutant du son est une brusque chute de fréquence dans les transitoires d'attaque. L'enveloppe du *kick* tekno est courte, sa forme d'onde est simple. La fin de l'enveloppe tend vers le silence sur une courte durée. Le temps de dispersion des fréquences graves dans l'acoustique peut excéder la fin de l'enveloppe. À partir d'une certaine amplitude, les transitoires d'attaque et la fin de l'enveloppe sont clairement perceptibles par le sens du toucher. Le *kick* tekno est bref : entre chaque répétition à un *tempo* lent (120 bpm, ou *allegro*), il peut facilement laisser entendre son état final silencieux, comme degré de pré-audibilité. Sa courte durée s'oppose assez brièvement au manque d'information : l'entropie du kick tekno peut se muser comme une décroissance aussi rapide de son amplitude que de sa résistance au manque d'information. Le *kick* tekno peut alors rapidement se répéter pour à nouveau répondre au manque d'information qu'il crée à chaque fois qu'il est joué.

- **Le *kick gabber*** [40] : Le son de grosse caisse est ici traité par une distorsion. qui fait entendre plus d'amplitudes après l'attaque. L'enveloppe est donc plus longue à disparaître, la fin de

[39] J'utilise l'appellation *kick* par habitude des synthétiseurs sur lesquels je joue, et où certains sons percussifs proviennent des bibliothèques contenues dans des boîtes à rythmes, le plus souvent les TR 808 et 909 de Roland.

[40] « gabber » semble dérivé du mot yiddish *chaver*, qui signifie « ami » ou « frère » aux Pays-Bas, berceau de ce style musical.

l'enveloppe peut donc se composer sur une plus longue durée qu'en tekno. La longueur de son enveloppe laisse entendre un mouvement continu dans le spectre sonore jusqu'à la fin de l'enveloppe, en conséquence de l'événement discret constitué par les transitoires d'attaque. Ce mouvement continu peut rendre le *kick gabber* plus sensible aux traitements spectraux que le *kick* tekno. Le caractère imprévu de l'intervention de ces traitements est neuro-perturbateur peut s'opposer à l'érosion de l'énergie dansante du *kick* régulier. Le *kick gabber* se caractérise également par une hauteur identifiable comme note qui demeure dans l'état d'entropie finale du matériau. La durée la plus courte pour un *kick gabber* est au minimum plus longue qu'un *kick* tekno mais peut souvent remplir toute la durée entre les pulsations.

- **Le *kick hardcore*** : Alors que la distorsion du *kick gabber* peut mordre sur l'attaque, les transitoires d'attaque du *kick hardcore* le font sonner de manière lourde, profonde, et tranchée. La fin de l'enveloppe laisse entendre un spectre complexe.
  Le genre musical où l'on peut entendre ce type d'objet, est parfois dénommé *terror*, ou *terrorcore*. Il peut être difficile d'identifier sur quelle note fondamentale joue le *kick*, contrairement au *kick gabber*. Même joué à une pulsation lente, le *kick hardcore* se répète souvent avant que de la forme d'onde n'atteigne son état final. Les transitoires d'attaque interviennent et s'entendent d'après le degré de pré-audibilité d'un contexte sonore riche en fréquences basses et de forte amplitude. La complexité spectrale et la dynamique rendent le *kick hardcore* particulièrement sensible à tout type de traitement. Cette possibilité de variation permet au traitement de nourrir une énergie neuro-perturbatrice qui s'oppose à l'érosion de l'énergie dansante de la pulsation régulière.
  L'adjectif « bruyant » et le champ lexical de l'excès choisis par E. Grynzspan pour décrire le hardcore sont judicieux pour expliquer comment doit sonner ce type de *kick* :

  « La hauteur des sons graves est (…) difficile à estimer, tandis que les sons trop aigus sont irritants, ce qui classe ces sons dans la catégorie des bruits (…). Or la techno utilise abondamment des fréquences extrêmes ; les sons graves notamment, parce que ce sont les sons recherchés pour les pulsations (…). Plus le son est grave, plus il est flou pour notre oreille et se rapproche de la notion acoustique de bruit[41] ».

  L'idée d'excès me semble pertinente pour décrire comment le *kick hardcore* doit sonner, cependant cette description est symbolique : dans sa synthèse et ses traitements, aucun son ne

[41] Grynzspan, Emanuel, op cit, Au delà du timbre, bruits et registres, p.51.

doit être trop aigu ou trop grave même si c'est l'illusion qu'il doit donner. Cette interprétation par la symbolique de l'excès s'applique également à l'amplitude :

> « La techno (…) est toujours jouée trop fort (…) on ne compte plus les disques mentionnant sur la pochette « play it at maximum volume » (…). Cet excès n'est pas imposé par un musicien, un patron de club, ou un ingénieur du son, il est recherché par le public [42] ».

- **Le *kick frenchcor*e** : comme les *kicks gabber* et *hardcore*, son enveloppe est longue mais la fréquence remonte pendant le contretemps après chaque attaque, ou bien l'attaque est suivie d'un effet *reverse* sur le contretemps : le résultat sonore ressemble à un mécanisme de piston. La fin de l'enveloppe est traitée en *side-chain*, compressée par l'amplitude des transitoires d'attaque. Ce traitement peut également intervenir en *hardcore*, mais son rôle en *frenchcore* consiste à établir une symétrie entre les amplitudes traitant la compression et les amplitudes traitées par la compression. Cette symétrie est également temporelle, l'amplitude compressée de la fin de l'enveloppe répond en contretemps au transitoires d'attaque. La remontée des fréquences peut rendre comme l'aspiration d'un puissant système de pompe puise aussi profondément que l'attaque le permet. Cet effet de piston très perceptible rend ce matériau particulièrement dansant, notamment par une sensation traversant périodiquement tout le corps. Les codes musicaux *frenchcore* sont liés aux moyens de production, notamment à la qualité de la compression *side-chain*. Comme dans le *kick hardcore*, la fin de l'enveloppe dure assez longtemps pour rendre ce *kick* sensible à de nombreux traitements sur le timbre, mais le caractère périodique de la compression confère à l'instrument une propriété intrinsèquement binaire dans sa décomposition de la pulsation en croches, et une constance dans l'équilibre entre les amplitudes d'attaque et de la fin de l'enveloppe. Ce caractère dansant s'érode facilement par son caractère prévisible, et l'intervention de traitements neuro-perturbateurs n'a pas pour but de s'opposer de manière durable à cette érosion. Les *mix* exclusivement *frenchcore* semblent viser une communauté d'écoute plus sensible à la qualité de production en tant que technique de résistance à l'entropie de l'énergie dansante : chaque disque doit donner l'impression d'être mieux produit que le précédent, et donc être choisi selon la singularité de sa production pour être valorisé dans la résistance à l'érosion de l'énergie dansante du *mix*. Dans un live frenchcore, l'exposition de chaque nouveau kick doit conserver cette énergie propre au mix. Le live peut alors recourir une simulation numérique des disques et des platines du dj, et peut même jouer son live depuis

---

[42] Grynzspan, Emanuel, op cit, Le bruit comme intensité du son, p.51.

des contrôleurs en forme de platine pour conserver le geste musical du dj ; cette pratique rend la frontière entre live et mix plus indéterminée.

- **Le *kick* « spiralien**[43] **»** peut être obtenu à partir d'un *kick gabber*, *hardcore* ou *frenchcore,* mais en ajoutant un *flanger.* Ce *kick* oppose dans la forme musicale une résistance à l'entropie depuis son matériau. C'est quand il est répété que le *kick* spiralien maintient le mouvement continu du *flanger* sur une large durée. Dans la continuité de ce traitement, chaque *kick* est différent du précédent. Le *kick* spiralien est donc plus difficile à mémoriser et à anticiper, le balayage du *flanger* ne suivant pas forcément un mouvement périodique, surtout s'il est modulé en temps réel. Il n'a plus comme fonction d'optimiser la perception du temps physique en réduisant le nombre d'événements prévus par le temps psychologique. Par sa régularité rythmique et son amplitude, il reste une stimulation dansante ; par sa variabilité de timbre, il devient neuro-perturbateur. Les *kicks hardcore* et *frenchcore* sont plutôt utilisés dans le pôle *Dance-floor*. Les *kicks* tekno et *gabber* sont plutôt utilisés dans le pôle *rave*. Le *kick* spiralien contient les matériaux musicaux qui servent à reproduire un effet neuro-perturbateur attribué à au niveau proche du pôle *Free*. Le pôle *Chill* se caractérise par l'utilisation quasi exclusive du *kick* tekno ou par l'absence de *kick*.

1.3.2 Forme d'onde et altération de la perception

La résistance à l'entropie peut être produite depuis les formes d'ondes qui composent l'objet sonore à l'échelle *micro,* par la synthèse ou la transformation de sons pré-enregistrés. La forme périodique ou apériodique de l'onde peut porter une forme musicale d'échelle qui présente divers degré d'équilibre entre les courtes durées de chaque événement périodique et les longues durées pendant lesquelles se développent des éléments plus aléatoires. Chaque forme ou division de forme musicale oppose plus ou moins soit une résistance à court terme au manque d'information donc à long terme à l'excès d'information, soit une résistance à long terme au manque d'information donc une résistance à court terme à l'excès d'information.

Un instrument comme la caisse claire contient à la fois des transitoires d'attaque et un spectre complexe qui se prêtent à des transformations porteuses de forme musicale, ou de divisions de cette forme. Le spectre de l'instrument peut par exemple être traité dans une synthèse soustractive pour devenir un instrument tempéré qui joue des nappes, des leads et des basslines. La dynamique de la caisse claire, quant à elle, peut être ralentie et jouée à l'envers pour amplifier progressivement les

[43] Cet adjectif n'est pas communément employé en *free-party* : nous l'utilisions pour communiquer entre *livers* dans notre groupe Plato2frui2mer pour désigner et reproduire un type de *kick* que l'on entend souvent dans les *lives* et les disques de Spiral Tribe.

modulations d'un filtre passe-bas sur les autres instruments. La longue augmentation de la fréquence joue avec la tension musicale jusqu'à un paroxysme qui annonce le retour du kick ou l'exposition d'un nouveau kick.

Pour illustrer quelle forme d'onde peut prendre la forme musicale, je prends la plus simple, une sinusoïde, dont la périodicité est associée au pôle *Rave*, et je la fais voyager vers les autres pôles, afin d'établir quelques généralités sonores pour une première approche de la qualité chronotrope des objets sonores issus des synthèses, échantillonneurs, et boîtes à rythmes.

- La forme d'onde dans le pôle *Rave* est continue et périodique. Quand elle est attirée par le pôle *Dance-floor*, elle peut monter en fréquence, et tendre vers la discontinuité d'une onde carrée.

- En s'éloignant du pôle *Rave* pour le pôle *Dance-floor*, elle se rapproche aussi du pôle *Free* ; la forme d'onde devient alors plus aléatoire tout en oscillant à grande vitesse dans le pôle *Dance-floor*, ce qui peut créer du bruit blanc : les styles musicaux correspondants aux pôle *Dance-floor* sont souvent « bruyants ». Ils utilisent beaucoup d'éléments discrets sans hauteur déterminée dans le jeu rythmique des instruments de percussion, mais aussi des sonorités plus longues riches en partiels. Dans les énergies *gabber* et *hardcore*, à la frontière du pôle *Rave* et du pôle *Dance-floor*, les opérations discrètes sont beaucoup plus présentes et porteuses de forme que les opérations continues : les transitions sont courtes et généralement prévisibles mais peuvent aussi intervenir par surprise dans le style *speedcore*.

- En s'éloignant du pôle *Dance-floor* pour le pôle *Free*, la forme d'onde est attiré par le pôle *Chill-out* : les mouvements aléatoires ralentissent et laissent percevoir de longs traitements continus avec des balayages de modulantes, d'effets de filtres, de *flangers*.
- En s'éloignant du pôle *Free* vers le pôle *Chill-out*, la forme d'onde descend dans la fréquence. Elle est alors attirée par le pôle *Rave* et redevient une sinusoïde, continue et périodique. Dans les énergies *breakcore* et *trip-hop*, à la frontière du pôle *Free* et du pôle *Chill-out*, les opérations continues sont beaucoup plus présentes et porteuses de forme que les opérations discrètes.
- En s'éloignant du pôle *Chill-out*, vers le pôle *Rave*, la forme d'onde est attirée par le pôle *Dance-floor* , elle monte alors en fréquence et tend vers la discontinuité d'une onde carrée. Le cycle peut reprendre. Dans mes précédentes recherches en Master, les commentaires d'écoute des *lives* de Spiral tribe et Foxtanz parviennent au constat que beaucoup de libertés peuvent être prises par rapport à ce cycle pour suivre la forme musicale.

1.3.3 Dualité entre mémoire et érosion à l'écoute des formes musicales[44]

La description de chaque style musical est accompagnée d'exemples sonores qui peuvent être téléchargés à cette adresse: https://conspiration.me/nextcloud/apps/files/files/12012?dir=/ si l'on se connecte sous le nom d'utilisateur « Daniel », avec le mot le mot de passe « danielgrosfichieraudio ». Le dossier « playlist » contient les fichiers audio.

a) Pôle *Rave*

Tekno : articulation *Chill-out* du pôle *Rave*. Le temps perçu est cyclique et modérément discrétisé : ce temps cyclique résiste constamment à l'excès d'information, mais très peu au manque d'information

Le langage repose sur une certaine économie de moyens dans l'écriture et tend vers une forme de minimalisme. Ce style est assez dansant, facilement mémorisable et prévisible. Le *kick* est tekno, assez lent. Les percussions accentuent parfois l'énergie dansante par des strettes de cymbale ou des roulements de caisse claire : plus un événement se répète rapidement, plus il s'oppose à court terme au manque d'information et stimule l'énergie dansante. La *bassline* se limite à un *ground,* une fondamentale qui émerge dans les contretemps entre les *kicks,* souvent avec l'effet de compression *side-chain* qui crée un effet de piston entre le *kick* et le *ground*. Les synthétiseurs peuvent aussi jouer des mélodies diatoniques simples avec des formes d'ondes très périodiques.

Dans le style *happycore,* l'échantillonneur joue des *samples* au contenu généralement vocal, féminin, ou enfantin, souvent une voix quelconque transposée vers l'aigu. Le style est très mélodique, et plus rapide que la tekno. Son *kick* est *gabber*, et sa fondamentale est accordée aux mélodies.

Exemples sonores : *Rock to the beat*, 101 (tekno/acid-house). *Incredible High,* Nutron Intelligence (happycore).

Gabber : articulation *Dance-floor* du pôle *Rave*. Le temps perçu est cyclique et assez intensément discrétisé ; ce temps cyclique résiste constamment à l'excès d'information, mais sa vitesse supérieure au style tekno le rend plus vulnérable au manque d'information.

---

[44] Cette partie met à jour le classement que j'ai établi en Master 2 : Picciola, Daniel, op. cit, ch. III « Commentaires d'écoute des *lives*. 1) Théorie générale. C) Le paysage sonore du teknival comme espace composable.

Tout comme le *happycore*, le *gabber* est un style qui a connu son heure de gloire aux Pays-bas. On peut le décrire comme une version « excessive » et « bruyante » du *happycore*. Les mélodies, souvent très épurées, sont davantage chromatiques et jouent sur des sons plus détunés. Le matériau exposé dans les *samples* est de l'ordre du *trash*, du *gore* : insultes, hurlements, couplets de rap *hardcore*, extraits de films d'horreur ou pornographiques. Généralement binaire, la batterie peut aussi suggérer une métrique ternaire avec des mesures en 12/8. Elle joue souvent des rythmes de marche militaire sur un *kick* généralement également de type *gabber*. Les thèmes de ces suggestions musicales s'opposent à l'ambiance froide de la tekno de Detroit, et peuvent être exprimés par une orchestration aux couleurs plus sombres, bruyantes, et surprenantes, ce qui constitue un procédé musical moins neuroleptique qu'en tekno.

Exemple sonore : *The number one contender*, Technohead.

Acid : articulation *Free* du pôle *Rave*. Le temps semi-cyclique perçu résiste modérément au manque d'information. Sa discrétisation modérée résiste modérément au manque d'information.
Les premiers *lives acid* utilisent traditionnellement une *bassline* ou un arpège joué à la TB-303 avec un traitement permanent des filtres résonants, accompagnée par un *kick* tekno. Pour établir cette énergie musicale, j'ajouterai le style de *hardfloor* des disques mixés par le dj Manu le Malin au début de ses sets, comme par exemple *Explorers*, de Zekt. Le *hardfloor* peut tout à fait être considéré comme une catégorie de *hardcore*, mais je classe son procédé musical comme équivalent à l'*acid* pour son effet neuro-perturbateur, résistant doucement et assez durablement à l'érosion provoquée par le manque d'information : le *hardfloor* peut introduire le *hardcore* avec la même continuité que l'*acid* peut précéder l'a*cidcore*. Dans l'*acid* et le *hardfloor*, le synthétiseur peut jouer des nappes ou des mélodies assez sombres et chromatiques sur des formes d'ondes évolutives, dont le spectre peut devenir plus bruyant et tendre vers le *hardcore* ou l'*acidcore*. Le *kick* oscille entre tekno et *hardcore*. Les rythmes de la batterie confirment le temps cyclique suggéré par le *kick*.
La stimulation dansante varie en intensité, subissant l'attraction du pôle *Dance-floor* et du pôle *Chill*. L'effet neuro-perturbateur est moins sensible à l'attraction du pôle *Rave* et commence à mobiliser l'attention en multipliant légèrement les possibilités d'évolution du langage musical.

Exemples sonores : *Spicy bread of charity*, Gamble 202 (acid). *Explorers,* Zekt (hard-floor).

b) Pôle Dance-floor

Hardcore : articulation *Rave* du pôle *Dance-floor*[45]. La résistance à l'érosion de l'énergie dansante *hardcore* se caractérise par une recherche sur la complexité du timbre sonore. La recherche sur des matériaux bruyants ouvre la voie à une somme de traitements plus importante que celle des effets destinés à l'écriture basée sur un système de hauteur. La hauteur demeure présente souvent sous forme de nappes, plus rarement dans les *leads*, et le *kick* peut parfois porter une hauteur stable à la place des *basslines,* comme dans certains *kicks frenchcore*. Les synthétiseurs sont principalement utilisés pour joués les nappes, et ne nécessitent pas un jeu sur les notes de l'instrument, qu'elles soient tempérées ou non. Les sons complexes des nappes et des *leads* de *hardcore* peuvent donc être joués par des synthétiseurs monophoniques, mais aussi par des échantillonneurs. Les sons pré-enregistrés peuvent être complexes ou remplacer le jeu polyphonique des synthétiseurs, notamment quand les échantillonneurs jouent des enregistrements d'instruments acoustiques. La hauteur des instruments acoustiques peut être corrigée pour s'accorder avec le tempérament égal des basslines, ou de certains *kicks frenchcore*. Le *hardcore* conserve une forme prévisible qui stimule et sollicite beaucoup l'énergie dansante. Le *tempo* accélère souvent pendant un *mix* ou un *live hardcore*. L'esthétique *hardcore* suggère une culture de l'excès : plus le *hardcore* est excessif, plus il peut être qualifié de *terror* pour clairement se distinguer du *gabber,* et du *hard-floor*. La variété des traitements sur le matériau bruyant ouvre notamment la voie à de nouveaux types de *breaks*, des moments peu ou non-pulsés, où la complexité de l'effet remplace le jeu en strettes et en roulements sur les instruments de percussion, plus classique en tekno. Maintenir un jeu en *break* ouvre alors la voie au style *breakcore*. Surenchérir sur la vitesse du jeu pulsé ouvre la voie au *speedcore*.

> « L'extrémisme musical du courant hardcore est une exacerbation du noyau dur de la techno. Mais le hardcore n'est en aucun cas le coeur de la scène techno (…), il en est l'une des extrémités(…). Les autres courants contiennent d'avantage d'éléments qui les rattache à un héritage, alors que la rupture est maximale dans le cas du hardcore, musique particulièrement envahie par le bruit, le son sale et les rythmiques les plus agressives et obsessionnelles [46] ».

Exemples sonores : *Pourquoi tant de haine?* Dj Joshua (*terror*). *Le théâtre du bruit,* Micropoint (*frenchcore*)

---

[45] Un certains nombres de titres *hardcore*, produit en France entre 1993 et 2003, sont commentés dans l'ouvrage de Jamard, David, et Pittion-Rossignol, Florian. *Sous le radar #008* TECHNO HARDCORE FRANCE/1993-2013 sélection/disques, SIGNAL ZERO éditions.

[46] Grynszpan, Emmanuel, *Bruyante Techno*, Guichen, Mélanie Séteun, « Collection Musique et société », 1999, p. 33.

Speedcore : articulation *Free* du pôle *Dance-floor.* La discrétisation du temps peut viser la plus haute fréquence audible comme battement, seuil au-delà duquel le style *speedcore* se transforme en *extra-tone*[47]. Les procédés neuro-perturbateurs peuvent venir s'interposer contre l'érosion rapidement provoquée suite au manque d'information produit par la répétition à grande vitesse d'un même événement : le temps psychologique est donc semi-cyclique.

La stimulation dansante peut passer par une accélération continue ou discrète de la pulsation, ce qui augmente la fréquence de la métrique qui mesure le temps physique. L'exemple de modulation métrique paradoxale expérimentée par R. Brochard montre que plus une pulsation est rapide, plus le cerveau regroupe les pulsations dans une métrique plus large. Plus la pulsation est rapide, plus le cerveau inhibe les amplitudes à l'intérieur des bornes métriques par lesquelles il compte les répétitions[48].

- Je peux jouer sur cette métrique en rajoutant un instrument sur les temps faibles, comme la caisse claire, ou sur les contretemps comme la cymbale *hi-hat*. Ce procédé a pour but de produire un effet stimulant.
- Je peux inclure la pulsation dans un mouvement continu avec un effet de *phaser* ou un filtre pour accroître les probabilités d'évolution du son par le temps psychologique. Ce procédé cherche à développer un effet neuro-perturbateur.
- Je peux inclure un mouvement continu dans les fréquences basses pendant la fin de l'enveloppe, de sorte qu'avec une amplitude assez forte, la fin de l'enveloppe fasse ressentir le *kick* rapide comme intense vibration qui parcourt le corps. Ce procédé doit pouvoir stimuler l'énergie dansante.

Les *kicks hardcore* et *frenchcore* ont une attaque très marquée qui reste très audible lorsqu'elle est rapidement répétée, et peuvent donc être utilisés en *speedcore*. Le *kick* peut aussi tendre du *hardcore* vers le *spiralien* pour varier le temps cyclique du *speedcore*.

La vitesse du *speedcore* est supérieure à 240 bpm et comptée à la blanche dans le temps cérébral ; elle est comptée à la ronde à partir de 480 bpm ou au carré à partir de 960 bpm. Contrairement à l'écoute des formes de tekno plus lentes, le temps cérébral est plus proche de la durée d'une mesure de 4 ou 8 temps que de la pulsation. À l'écoute du speedcore, le temps cérébral compte le nombre de mesures par phrase à l'échelle où il compte de pulsations par mesure en-dessous de 240 bpm. Plus le tempo accélère, plus les phrases peuvent s'étendre dans la durée et perturber le compte des mesures. Les synthétiseurs ou les échantillonneurs jouent souvent des nappes, ou des sortes de paysages sonores qui ponctuent ou perturbent le temps cyclique des mesures. Ces mouvements

---

[47] En franchissant maintes fois ce seuil, le *liver* Lawrencium a très tôt contribué à ouvrir la brèche vers ce style musical.

[48] R. Brochard, D.Abecassis, R. Ragot, D. Potter, et C. Drake, C. « The tick-tock of our internal clock : direct brain evidence of subjective accents in isochronous sequences », *Psychological Science*, 14 (4), (2003), p. 362-366.

continus, à l'évolution lente, créent un contraste sonore marquant quand elles se superposent aux pulsations rapides et permettent de renouveler longtemps le discours musical à l'intérieur de l'univers *speedcore*. C'est notamment le cas dans l'excellent *live-mix Drugstore core-boy* de La Peste, où ce procédé véhicule une forme *speedcore* particulièrement neuro-perturbatrice.

Exemples sonores : *La relativité du sommeil paradoxal,* Neurocore. *Speedcore Lacryma*, Gabba Front Berlin.

Hardtek : articulation *Chill-out* du pôle *Dance-floor.* Le temps perçu est cyclique, ou potentiellement semi-cyclique, donc résistant à l'excès d'information. Sa discrétisation assez résiste peu au manque d'information.
Le *kick* et les éléments de batterie, évoluent de manière discrète, créant des strettes et des syncopes dans les rythmes. Toutes ces variations sont comprises dans une carrure : un temps cyclique large qui facilite la prévision des périodes de stabilisation et de modulation. Le *kick*, assez rapide, évolue entre tekno et *hardcore*. Le synthétiseur joue le plus souvent des *basslines* qui établissent le même temps cyclique que la batterie. Les *samples* sont traités par des opérations discrètes comme des oscillations de basse fréquence, en formes d'ondes carrées ou en dents-de-scie. Des traitements granulaires peuvent aussi être utilisés à ces fins.

Exemple sonore : *Electrodrugs*, DSP 002.

c) Pôle Free.

Trance : articulation *Rave* du pôle *Free*. Le temps est perçu en larges cycles, eux-mêmes continuellement décomposés en temps non-cycliques assez intensément discrétisés, voire intensément discrétisés dans le style *hi-tek trance*. Ce temps non-cyclique résiste assez intensément au manque d'information. Sa haute fréquence de discrétisation résiste à l'excès d'information.
Les mouvements continus sont, dans leur ensemble, le matériau de base des univers musicaux du pôle *Free, mais débordent parfois sur les pôles avoisinant*. Dans le *speedcore*, ils perturbent un temps cyclique court. Dans l'*acid*, ils sont inclus dans un temps cyclique assez large. Dans la *trance*, ils commencent à déborder et élargir le temps cyclique pendant lequel ils se développent.
Le synthétiseur joue des arpèges à travers des variations continues de filtres résonnants. Ces opérations continues sont génératrices de temps cyclique. En *trance,* l'évolution de chaque cycle est prévisible, mais plusieurs cycles différents peuvent se superposer. Le déphasage qui s'ensuit accroît

le nombre de probabilités à prévoir dans le temps psychologique. Un autre temps cyclique émerge des synchronisations et des dé-synchronisations entre les différents cycles superposés.
Les opérations discrètes sur le *kick* et la batterie confirment une métrique binaire, mais peut parfois suivre une mesure ternaire en 12/8. Le *kick* est toujours tekno, souvent accompagné par des *basslines* en *ground*. Les *samples*, plus rarement utilisés en *trance* que les synthétiseurs, peuvent être transformés par traitement granulaire en mouvements continus.

Exemples sonores : *Shanti*, Angry Luna (*Hi-tek trance*), *Snarling Black Mabel*, Hallucinogen (*Psytrance*), *Feel the universe*, Juno Reactor (*Trance-Goa*).

Acidcore : articulation *Dance-floor* du pôle *Free*. Le temps perçu est non-cyclique et assez intensément discrétisé, donc à la fois très résistant au manque d'information et modérément résistant à l'excès d'information.
Dans l'*acidcore* la résistance à l'érosion repose sur une opposition au temps cyclique : le temps psychologique doit anticiper des probabilités à l'infini. Le temps d'érosion se dilate sous l'effet de transformations continues dont le caractère aléatoire augmente avec l'allongement du temps d'érosion.
Le mouvement continu se développe de façon aléatoire dans les filtres des arpèges du synthétiseur, dans le *flanger* du *kick spiralien*, la batterie ou les samples. Il peut également moduler l'enveloppe de certains éléments discrets comme les événements qui composent le rythme de l'arpège ou le *kick*. Les éléments discrets décomposent encore la métrique perçue de manière cyclique, et ces cycles sont maintenant contenus dans un temps non-cyclique. Ces mouvements discrets peuvent s'articuler de manière discrète à une fréquence similaire à l'énergie *hardtek*.

Exemple sonore : *Flower of intelligence*, Zenith. Extrait du live « Mental Perturbation », auteur inconnu.

Breakcore : articulation *Chill-out* du pôle *Free*. Le temps perçu est non-cyclique et à la fois discrétisé et dispersé, donc très résistant au manque d'information et très peu résistant à l'excès d'information.
Ce temps non-cyclique évolue d'une part de manière continue par des opérations aléatoires sur les filtres, *phasers, flanger*s, et d'autre part d'une manière discrète sur les rythmes complexes joués par les instruments de percussion. Le *kick* et les éléments de batterie jouent des rythmes aléatoires qui s'articulent de manière discrète dans un temps non-cyclique. Cette aléatoire discrète décompose le

temps à haute fréquence, sollicitant ainsi l'attention de l'auditoire en prenant la place de la pulsation régulière conventionnelle.
L'évolution des mouvements continus du périodique au non-périodique se fait de manière continue. L'évolution des mouvements discrets du périodique au non-périodique se fait de manière discontinue. Les opérations discrètes périodiques qui se comptaient jusqu'ici selon leur périodicité se comptent maintenant également selon leur non-périodicité, comme des mouvements continus.
Cette transition discontinue du périodique au non-périodique est une inversion des procédés qui stimulent la danse, puisque la pulsation régulière n'est plus le matériau de base porteur de forme : le *breakcore* n'est pas une forme de tekno, mais trouve un certain public en teknival.
Les synthétiseurs jouent des nappes qui créent un contraste, par leur évolution lente et périodique, avec les mouvements aléatoires des opérations discrètes, comme dans le *speedcore*. Ce genre d'opération continue peut être porteur de temps cyclique. Les procédés chronotropes de l'*acidcore* que sont les opérations discrètes porteuses de temps cyclique et les opérations continues porteuses de temps non cyclique, peuvent ainsi être totalement inversés dans le *breakcore*.
Le discours musical devient difficilement mémorisable et difficilement prévisible, quand la mémoire s'est habituée à la métrique régulière des styles tekno.

Exemple sonore : *Cadmium*, Venetian Snares. *Androstyle*, Somatic Response.

d) *Pôle Chill-out*

Trip-hop : articulation *Free* du pôle *Chill-out*. Le temps perçu est semi-cyclique et très modérément discrétisé, résistant modérément au manque ou à l'excès d'information.
Le *trip-hop* s'est développé sur les versions instrumentales des chansons *hip-hop*, tout comme le d*ub* est à la base la version instrumentale gravée sur la face B des disques de *reggae*. Le *dub* présente également des articulations musicales entre l'*ambient* et le *trip-hop*. J'ai choisi l'appellation *trip-hop* plutôt que *dub*, car comme le *trip-hop* vient du *hip-hop* et que le *dub* vient du *reggae*, *hip-hop* et tekno sont des appellations qui sont nées d'un genre musical unique basé sur l'usage des boîtes à rythmes, parfois appelé *beatbox* dans les années 80. La chanson *Forward the Revolution* de Spiral Tribe se compose d'articulations musicales communes au *hip-hop, au ragga* et à la tekno.
Les rythmes des éléments discrets redeviennent cycliques, clairsemés sur un *tempo* assez lent, parfois régulièrement pulsés dans le *dub*. Les mouvements continus sont importants, notamment à

travers des nappes qui portent ou perturbent le temps cyclique dans le cas du *trip-hop*, et à travers les traitements du *skank* (temps faible) dans le *dub*.

Exemple sonore : *Fires of Ork II*, Fires of Ork.

Ambient : articulation *Rave* du pôle *Chill-out*. Le temps perçu est long, cyclique, et assez peu, voire pas du tout discrétisé. Le discours musical peut se résumer à des nappes et des ambiances sonores pour seules opérations continues. La forme *ambient* contient peu d'informations sonores, mais résiste au manque d'information par un jeu très lent ayant pour effet de valoriser la rareté de chaque événement, et la longue continuité qui amène à l'événement suivant. L'absence de pulsation ne provoque pas d'érosion à court terme de l'énergie dansante présente dans les autres styles : l'énergie musicale de l'ambient invite au contraire à la diminution de la quantité de mouvement danser pour goûter un repos corporel. Le désir et le manque, impliqués dans les styles plus dansants, sont ici modérés au profit d'un effet légèrement neuro-perturbateur qui peut s'orienter vers plusieurs sentiments : si les plages de *Selected Ambient Works* d'Aphex Twin peuvent facilement procurer un sentiment de sérénité, le style *dark ambient* de Muslimgauze exprime au contraire un sentiment d'oppression.

Exemple sonore : *Seven Forty-Seven*, Boards of Canada.

Drum'n bass : articulation *Dance-floor* du pôle *Chill-out*. Le temps perçu est semi-cyclique, modérément discrétisé et dispersé. Les procédés musicaux drum'n bass résistent assez intensément au manque d'information, et modérément à l'excès d'information.
Les rythmes des éléments discrets qui font la *drum'n bass* gardent un comportement aléatoire proche du *breakcore*, mais ils sont joués de manière beaucoup plus cyclique : les temps faibles sont souvent marqués par la caisse claire. La décomposition du temps physique est de haute fréquence, et attire plus l'attention qu'une pulsation régulière dans la décomposition d'une mesure, mais son temps cyclique demeure prévisible à l'échelle des phrases, jouées par des nappes et des *basslines* très présentes, dont l'évolution lente contraste avec la richesse des rythmes des instruments de percussion. L'échantillonneur joue souvent des *samples* vocaux de *ragga*, et contribue ainsi à stimuler l'énergie dansante aux cotés des instruments de percussion.

Exemple sonore : *Willyman*, Krakout (Mas I Mas sound system).

1.4 Contexte et émergence des nouveaux styles musicaux

Le *raver* Christophe Lévêque raconte dans une interview[49] une expérience où le *dj* Richie Hawtin mixait en même temps que plusieurs autres *dj's,* chacun dans une salle différente du même bâtiment pendant toute une nuit : les *dj's* entendaient les pulsations des autres *mix* et se sont progressivement tous calés sur le même *tempo* alors que chacun mixait un style de tekno différent. J'ai vécu des expériences similaires dans les soirées organisées à Berlin dans le cadre de la *fuck-parade*[50] : le résultat sonore était une tekno hybride, présentant plusieurs visages pour un même corps, un ensemble d'espaces sonores modulant à la fois par les évolutions de chaque *mix*, et par les déplacements de la position d'écoute. Cette expérience peut être vue comme un *mix* entre l'espace de chaque *dance-floor*, une sorte de mise en abîme du *mix* de chaque *dj* dans un mixage spatial collectif.

Pour un *dj*, synchroniser plusieurs disques pour mélanger leurs sonorités fait émerger un langage musical hybride entre les disques. Deux musiques qui se mélangent en font émerger une troisième, deux *kicks* qui se mélangent en font émerger un troisième. Ce phénomène d'émergence approfondit et développe des codes musicaux que la communauté d'écoute assimile pendant les *free-parties*, et qui influencent la composition de nouvelles formes musicales. Le *tempo* auquel le *dj* choisit de mixer peut altérer l'énergie de la musique enregistrée sur le disque. Mixer des disques, c'est faire émerger une nouvelle énergie à partir du contenu des musiques de chaque disque. Ainsi, la tekno devient *hard-tekno,* ou *hardtek,* qui se radicalise vers le *hardcore*, dont le tempo accélère vers le *speedcore*. L'*acid* se transforme en *acidcore;* le *breakbeat* se déstructure en *breakcore;* la *house* dérive en *hard-house*. La *trance* se décompose en *trancecore, trance-goa, psytrance, high-tek trance*… L'expérience racontée par Christophe Lévêque tire sa singularité de la spatialisation émergent du *mix* collectif.

En teknival, où plus de distance sépare les *sound-systems*, ce phénomène de synchronisation entre les *dance-floors* émerge plus fréquemment la nuit, où la plupart des pulsations du convergent vers la même échelle de valeurs métronomiques (180-200 bpm) : il s'agit d'un choix entre les styles musicaux orientés *hardcore*, donc entre certains procédés qui peuvent stimuler l'énergie dansante dans la musique. Dans la journée, les styles sont plus diversifiés et expérimentaux : les espaces paradoxaux émergent alors de façon plus hétérogène. Il n'est pas rare que les *sound-systems* jouent autre chose que de la tekno pulsée : on peut souvent entendre les styles *drum'n bass, dub, dubstep, ambient*, et aussi de la musique acoustique. Les *dj's* commencent ou finissent souvent leur *mix* par

---

[49] « Sous le donjon de Manu le Malin », https://www.youtube.com/watch?v=maSjfbYyMMY&t=2602s.

[50] La *fuck-parade* est la manifestation nationale annuelle de la scène *free-party* allemande à laquelle j'ai eu le plaisir de participer durant les étés 2006, 2007 et 2008.

un disque qui n'est pas forcément de la tekno. Toute musique écoutée en teknival s'entend selon la manière dont elle altère la perception du temps, même si cette musique est composée pour une autre communauté d'écoute : le contexte culturel de toute sonorité est redéfini dans le contexte du teknival. On peut d'ailleurs y entendre la vibration des moteurs électrogènes qui alimentent les *sound-systems* : cette vibration a une périodicité qui peut être confondue avec les sonorités *hardcore* jouées par certains *sound-systems*. Cette vibration des groupes électrogènes donne souvent l'illusion d'être traitée par une compression *side-chain*, quand le *kick* diffusé par le *sound-system* qu'elle alimente se mélange à elle. En teknival, la libre répartition des *sound-systems* et des véhicules dans l'espace favorise l'émergence d'échos qui s'entendent sans que l'on puisse toujours identifier la source, comme des *sound-systems* fantômes (Fig.1.4.1, 1.4.2).

> « Les sons diffusés et réfléchis sont principalement des pulsations régulières, de vitesses différentes, qui se synchronisent et se désynchronisent périodiquement. Les discrétisations du temps musical par les boîtes à rythmes se superposent en figures rythmiques plus complexes, où il est difficile de dire si les effets de déphasage du type *flanger* proviennent directement de la source ou de son contexte spatial. D'autres sons plus rares, singuliers, plus étranges les uns que les autres, émergent çà et là, entretenant une modulation sonore permanente qui se concentre et se disperse aléatoirement pendant tout le teknival. Les conditions météorologiques interagissent également avec les perturbations atmosphériques sonores émanant du teknival. Quand le vent se lève, chargé de sons, il s'engouffre dans le labyrinthe de murs d'enceintes et de véhicules, et porte parfois le son sur de longues distances, un peu comme un chef d'orchestre qui spatialiserait tout le teknival[51] . »

[51] Picciola, Daniel, « Espaces sonores paradoxaux : approche des harmoniques hypersphériques et implémentation logicielle, pour une pratique créative de la spatialisation immersive du son en *free-party* ». 1. À l'écoute des espaces sonores paradoxaux, 1. 2 À l'écoute des espaces sonores paradoxaux en Teknival, p. 3, Journées de l'Informatique Musicale 2022. Proceedings of the 19th Sound and Music Computing Conference, June 5-12th, 2022, Saint-Étienne (France) https://hal.science/hal-04373112/document. La question de l'interaction entre son et météorologie peut être approfondie en consultant : Paré, Annabelle, « Mesures acoustiques : les effets de la météo sur la propagation du son », *BBA*, 2 juin 2023, https://www.bbaconsultants.com/fr-ca/publications/mesures-acoustiques-les-effets-de-la-meteo-sur-la-propagation-du-son



Fig.1.4.1 Le teknival de Castlemorton, au Royaume-Uni : la libre disposition des *sound-systems* et des véhicules favorise le phénomène d'espace sonore paradoxal. La photographie est attribuée à Andrew Dunsmore, dans un article du *Daily Telegraph* paru en mai 1992 https://freepartypeople.wordpress.com/2012/10/05/may-12th-1992-castlemorton-common-free-festival Dans un épisode de La Série Documentaire, sur France Culture, Guillaume Kosmicki raconte comment la répression de ce teknival a amené les Spiral Tribe à quitter le Royaume-Uni pour venir jouer en France: https://www.radiofrance.fr/franceculture/podcasts/lsd-la-serie-documentaire/le-retour-a-la-nature-des-free-party-9180939.



Fig.1.4.2 La base militaire de Marigny, dans la Marne, a accueilli en 2005 un teknival légal : la disposition en rangs parallèles des *sound-systems* et véhicules facilite le travail de surveillance, et rend plus rare le phénomène d'espace sonore paradoxal. Image consultée sur le site https://x.com/BassExpression/status/990601184112205824

Les hangars qui accueillent les *free-parties* ont une forte réverbération. L'importance du nombre de *kilowatts* est un critère de confort d'écoute en *free-party* : les amplificateurs sont souvent poussés au point de faire émerger une saturation acoustique dans les hangars, ce qui est également une caractéristique de l'espace sonore déterminant les conditions d'écoute. Le son émis par les haut-parleurs est différemment déphasé en chaque endroit du hangar : il est déformé dans l'espace sous forme d'une somme de déphasages, certains longs, d'autres courts, et laisse entendre un espace sonore paradoxal singulier pour chaque personne présente dans le lieu. La saturation acoustique des hangars peut donc être décomposée en une somme d'espaces sonores paradoxaux. Ces espaces

sonores paradoxaux sont instables et modulent au moindre mouvement de la position d'écoute : ils rendent l'écoute en *free-party* particulièrement interactive.

Toute la puissance sonore accumulée, compressée dans les hangars, se libère quand elle s'étend à l'échelle du teknival, où l'ensemble des espaces sonores paradoxaux peut être perçu de manière plus ordonnée, et propose au le public davantage de choix d'écoute interactive par la liberté de ses déplacements entre les *dance-floors*. Dans les hangars, les espaces sonores paradoxaux sont audibles comme champs diffus ; en teknival, ils peuvent être discernés comme sources ponctuelles. Pour composer un *live* en ambisonie, je prends en compte cet ensemble de paysages et saisons sonores propres aux teknivals en privilégiant ce caractère spatial que peut prendre la musique dans tout événement de type *free-party*.

2 L'EFFET MUTAGÈNE DES *FREE-PARTIES* SUR L'ÉCOUTE

La tekno de *free-party* s'inscrit dans un temps musical qui semble d'échelle *infinie*, chaque personne l'écoute aussi longtemps qu'elle le désire à son échelle *macro*. Plus l'immersion dans l'univers sonore du teknival est longue, plus notre oreille semble devenir musicienne : tout événement sonore est contextualisé dans l'univers musical du teknival, et interagit avec l'effet psychotrope ressenti à l'écoute des sons diffusés par l'ensemble des *sound-systems*. Toutes les personnes qui ont passé au moins une nuit en *free-party* connaissent la persistance de cet effet longtemps après avoir quitté les lieux : à bord d'un véhicule qui s'en éloigne, le roulement des pneus sur la route rappelle le *kick*, le vent qui s'engouffre dans les fenêtres rappelle les filtres sur les réverbérations des caisses claires, cymbales, et autres sons proches du bruit blanc. Altérée par le temps d'immersion en free-party, l'écoute d'un son imprévisible le re-contextualise dans un temps cyclique qui tend à le réordonner dans la continuité d'autres événements sonores. Cette écoute permet d'entendre la discontinuité de son intervention comme une probabilité de variation sur les événements sonores plus périodiques, alors qu'il est habituellement perçu en tant qu'événement ponctuel, désordonné, et décorrélé du reste de l'environnement sonore. Cette écoute altérée construite pendant la *free-party* persiste dans notre perception, hors de son espace sonore d'origine.

Le titre d'Aphex Twin, *Gwely mernans,* semble être composé autour de la notion de distance entre l'auditeur et le contexte sonore d'une *free-party* : cette distance est spatiale mais prend aussi une dimension temporelle en exprimant la persistance de l'écoute altérée des sons. Un son très grave et périodique rappelle la pulsation d'un *kick*, mais avec un déphasage qui estompe les attaques et met en valeur les fréquences basses, traitées avec beaucoup de réverbération et des variations sur la panoramique. Des lignes à retard émergentes viennent parfois déphaser la périodicité des *kicks* qui

paraissent lointains ; cet effet rappelle le phénomène d'espace sonore paradoxal en teknival, où interviennent les conditions météorologiques : le vent joue un rôle majeur en portant sur de longues distances les *kicks*, qui sonnent comme les fréquences basses et périodiques de *Gwely mernans*. Un changement du sens du vent peut faire émerger un autre *kick* plus ou moins lointain, et dont le *tempo* est différent : c'est exactement l'effet obtenu quand Aphex Twin module la ligne à retard sur les fréquences basses qui se déplacent sur la panoramique. Une phrase musicale composée de notes longues et éparses se développe, en jouant un son au spectre avec peu d'harmoniques, traité par une ligne à retard. La phrase semble se développer en ralentissant sur toute la durée de la musique, dans une temporalité beaucoup plus lente et indépendante de la fréquence basse, avec parfois des synchronisations entre ces deux temporalités, composées pour sonner comme le fruit du hasard. Le temps semble se dilater au fur et à mesure que l'énergie musicale de notes de plus en plus éparses se dissipe peu à peu, mais finalement jamais totalement. L'énergie musicale de Gwerly mernans illustre cette persistance de l'altération de la perception propre à l'univers de la *free-party*. Cette persistance est une forme de résistance à l'érosion qui dévalorise l'événement sonore : au lieu d'être perçu comme anodin, l'événement sonore est entendu comme pouvant s'intégrer au contexte musical auquel la perception s'est habituée en *free-party*. La qualité chronotrope semble persister hors du contexte de la *free-party*, et répandre sa résistance à l'érosion sur le monde extérieur.

L'oreille de la communauté d'écoute de *free-party* réordonne hors du teknival tout événement sonore comme dans le contexte musical d'un teknival imaginaire. Hors de cette communauté d'écoute, la majorité des personnes subissent l'influence d'un environnement sonore perçu comme désordonné, imprévisible, parfois désagréable, où même une musique peut être considérée comme une nuisance sonore, ce dont les *free-parties* sont parfois accusées.

D'autres communautés d'écoute cultivent une oreille analytique des divers phénomènes sonores : dans la communauté d'écoute électro-acoustique, la plupart des personnes qui composent des musiques spatialisées entendent des effets de décorrélation dans de nombreuses situations acoustiques. Cette écoute active de l'espace sonore permet d'entendre des espaces sonores paradoxaux en milieu urbain.

Dans ce milieu potentiellement riche en espaces sonores paradoxaux, l'un d'eux a particulièrement retenu mon attention : en marchant un jour entre d'imposantes barres d'immeubles, j'entends une moto qui démarre et accélère brusquement en s'éloignant sur ma droite. Le son du moteur s'amplifie entre les barres d'immeubles, et se réfléchit sur d'autres barres d'immeubles situées à ma gauche (Fig. 2.1, 2.2).

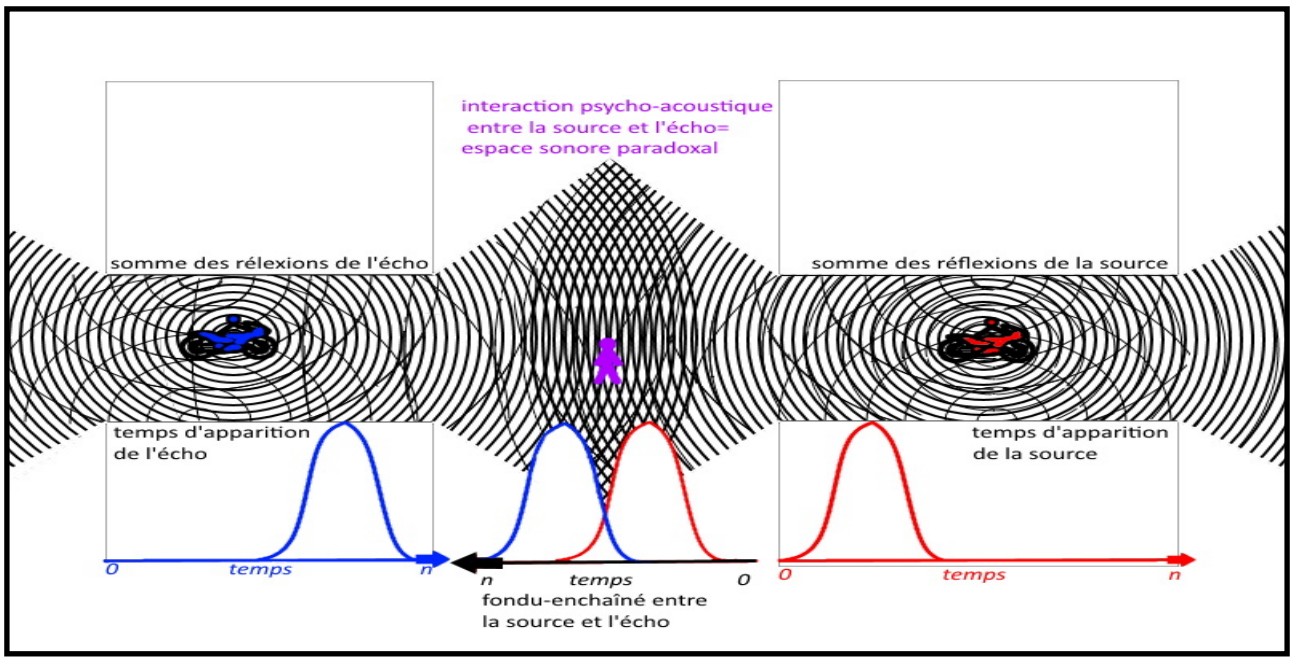


Fig. 2.2 L'écho n'émerge qu'à partir du moment où la source sonore diminue, ce temps pendant lequel l'amplitude est moindre est déterminé par la distance entre la source et les surfaces réfléchissantes. C'est le rapport entre ce contexte acoustique et la vitesse d'éloignement de la source qui détermine la possible corrélation psychoacoustique entre la source et l'écho. C'est cette corrélation qui induit l'illusion d'espace sonore paradoxal.

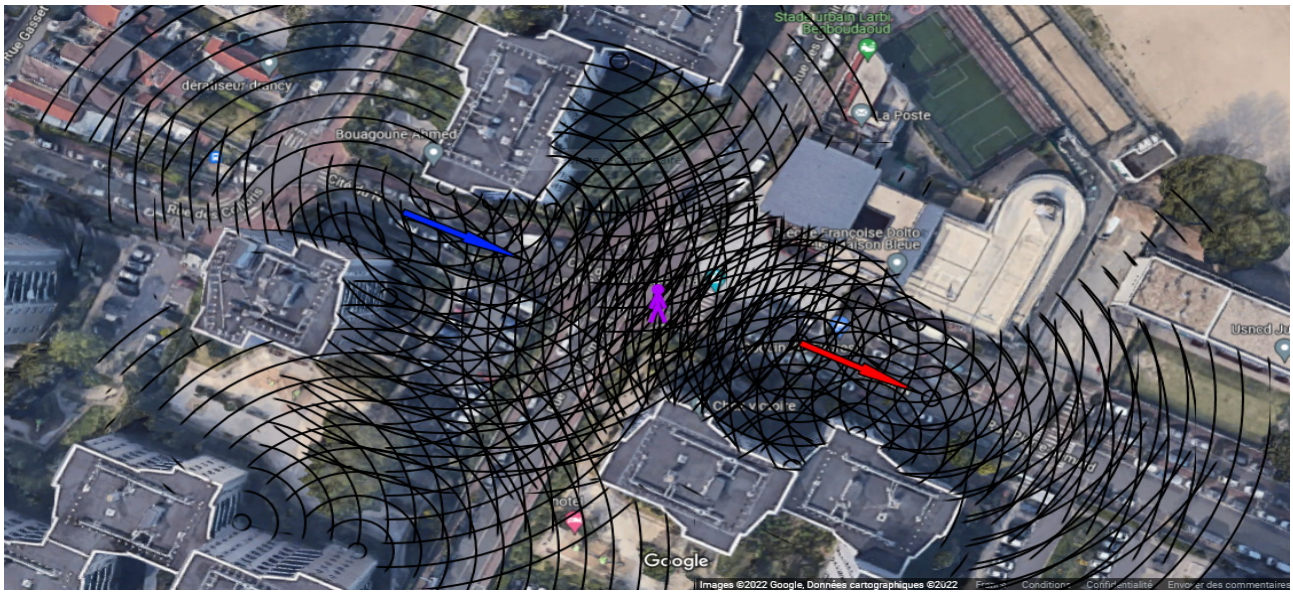


Fig. 2.1 Image réalisée par l'auteur à l'aide de Google.map. Propagation supposée des ondes sonores (symbolisées sans réelle prise en compte des lois de la réflexion) au croisement de la rue des Cheminots (verticale) et de la rue Pierre Sémard (horizontale), près de la station RER du Bourget, en Seine-st Denis. La source sonore est indiquée par la flèche rouge, son écho par la flèche bleue. La silhouette violette indique ma position d'écoute.

À mes oreilles, une continuité s'établit dans l'espace sonore entre la source et son écho. L'écho de la source en mouvement donne, lui aussi, l'illusion de se déplacer dans l'espace. La somme des mouvements de la source et de son écho fait émerger une autre illusion : le même objet s'éloigne de moi dans une direction, tout en se rapprochant de moi par la direction diamétralement opposée. J'entends cet événement sonore avec la persistance chronotropique des teknivals dans mon oreille,

et je pourrais même interpréter le paradoxe de ce phénomène psychoacoustique comme un phénomène paranormal troublant : je peux m'imaginer qu'une moto futuriste se téléporte alors que le motard ne fait qu'effectuer ses rondes quotidiennes autour du quartier. La configuration de l'espace sonore peut être porteuse d'une forme de vie dans l'imagination : la continuité que j'établis entre la source et son écho est une altération de la perception, et le degré de fantaisie avec lequel je tente de résoudre ce paradoxe est corrélé au souvenir du contexte festif du teknival. La composition musicale des espaces sonores paradoxaux cherche à interagir l'imagination du public dans le contexte festif des *free-parties*.

3 LE CARACTÈRE OPÉRATOIRE DES TRAITEMENTS SPATIAUX SUR UN *DANCE-FLOOR* AMBISONIQUE

3.1 Sensibilité des communautés d'écoute aux traitements spatiaux

Les traitements spatiaux sont composés pour interagir avec deux types de jeu qui s'équilibrent différemment selon les langages musicaux propres à la *free-party*. Un premier procédé vise à accentuer le côté dansant, par une discrétisation périodique du temps du *live*, facile à mémoriser et à anticiper : ce procédé stimulant résiste à l'excès d'information. L'autre procédé privilégie les phénomènes d'émergence, des traitements sonores continus, assez aléatoires, difficiles à prévoir et à mémoriser, qui entretiennent une sensation de vertige, une sorte d'ivresse dans la perception de la musique : ce procédé neuro-perturbateur résiste au manque d'information. Ces codes musicaux sont reconnus par le public de *free-party*, qui leur attribue une qualité psychotrope. Les traitements ambisoniques ne font pas partie de ces repères culturels, et ne peuvent logiquement pas être reconnus comme psychotropes, mais c'est précisément cet exotisme qui leur procure cette qualité : même s'ils ne sont pas musicalement composés, les espaces sonores paradoxaux propres aux teknivals et *free-parties* sont familiers à leur public. Certains contextes particuliers d'espaces paradoxaux peuvent ainsi être musicalement composés, notamment pour spatialiser le *kick*. Le *kick* périodique est un procédé stimulant qui équilibre ou oriente le langage musical vers le *speedcor*e. Même la tekno la plus *chill* contient des strettes et roulements qui sont des procédés *speedcore,* mais qui ne sont pas porteurs de cette forme musicale : le procédé stimulant *speedcore* délimite un seuil maximum de discrétisation dans l' énergie dansante propre à chaque forme musicale.

La composition de l'espace paradoxal du *kick* est un procédé qui doit restituer, voire renforcer, la stimulation *speedcore* potentiellement contenue dans le matériau du *kick*. Définir le style musical *speedcore* comme une *tekno-hardcore* d'une vitesse supérieure à environ 250 bpm permet déjà de comparer ce style aux autres par la seule singularité du *tempo,* mais c'est aussi dans le choix du matériau et son potentiel morphophorique que la forme *speedcore* s'apprécie. Plus la pulsation est rapide, moins la longueur d'onde des fréquences basses du *kick* a le temps d'être entendue, alors que ces fréquences sont également un critère de confort d'écoute. Composer des *kicks speedcore* qui se succèdent dans différents espaces permet d'utiliser des fréquences plus graves sans être limité par la période de la pulsation.

3.2 Interaction du contexte culturel avec la construction cognitive

La perception d'une forme de paradoxe sonore sur la hauteur, le rythme, ou l'espace, n'est psychotrope que si la communauté d'écoute attribue un caractère dansant ou neuro-perturbateur au paradoxe. Pour la communauté d'écoute s*peedcore*, la rapidité de la pulsation. est particulièrement psychotrope. Cette communauté d'écoute est donc potentiellement sensible aux paradoxes rythmiques, qui donnent l'illusion que la pulsation ne cesse d'accélérer (le retour que j'ai eu de la part de dj Moloch sur les paradoxes rythmiques que j'ai joués en *live* au mois d'août 2018, me confirme leur bon fonctionnement). Indépendamment du caractère qui leur est attribué, les différents paradoxes sonores demeurent des illusions, tout comme la perception d'une source sonore qui se déplace entre les haut-parleurs est une illusion. Ces illusions sont rendues perceptibles par une altération de la perception du temps qui n'est pas seulement d'ordre culturel mais neurobiologique.

Dans le principe de son paradoxal de Jean-Claude Risset, la forme d'onde sinusoïde peut être remplacée par un rythme joué en boucle qui donne l'illusion d'accélérer constamment : un *beat hip-hop* accélère au double de sa pulsation jusqu'à devenir un *beat drum'n bass* qui se fond vers le silence pendant que le même *beat* émerge à nouveau dans sa pulsation originale, sous sa forme *hip-hop*. Cette boucle est utilisée en neuroscience comme preuve esthésique mettant en évidence la mécanique de perception de la métrique dans le cerveau humain[52]. Le cerveau humain rend perceptible le temps physique dans lequel surviennent tous types d'événements présents dans l'environnement d'une personne. Les événements du temps physique sont mis en scène par le temps psychologique dans l'unité de temps et de lieu d'un théâtre des événements avec lequel la personne peut interagir.

J' utilise comme beaucoup de *livers* un processeur numérique qui discrétise un temps physique pour traiter le son, mais la perception des sons s'inscrit dans un temps psychologique. Dans le cerveau humain, le temps est perçu par l'intermédiaire des *lobes temporaux*[53], dont le fonctionnement peut rappeler aux *livers* certaines méthodes utilisées en analyse audionumérique. Reproduire une perception physiologique du temps par des moyens audionumériques pousse à établir des correspondances interdisciplinaires au risque de confondre le traitement du temps cérébral avec le traitement audionumérique. Ma description de la répartition des rôles joués par les lobes temporaux dans la perception du temps est donc incomplète, mais comprise d'un point de vue de *liver*.

---

[52] Brochard, Renaud, « La vérité du temps se trouve-t-elle dans le rythme du cerveau ? », conférence donnée aux *Journées Scientifiques annuelles de l'Institut Universitaire de France*, organisées par le Pôle de recherche et d'enseignement supérieur (PRES) de Toulouse, l'Université Toulouse II-Le Mirail et l'Institut Universitaire de France. Toulouse : Hôtel- Dieu, 2-4 avril 2013. http://www.canal-u.tv/video/universite_toulouse_ii...

[53] Brochard, Renaud, *op cit*.

Le premier lobe reporte l'amplitude des événements sonores indépendamment du contexte temporel qui est, lui, établi par le second lobe[54]. Le premier lobe traite le spectre du son en identifiant les amplitudes qui composent le timbre. L'évolution temporelle de ces amplitudes, comme par exemple les transitoires d'attaque, sont traitées par le second lobe. Cette répartition des rôles est analogue à ce que G. Grisey formule pour proposer une loi psychoacoustique : « plus nous dilatons notre acuité auditive pour percevoir le monde microphonique, plus nous rétrécissons notre acuité temporelle ». Dans notre perception, la vitesse et la position du son peuvent être mesurées à l'aide des vecteurs de vélocité et d'énergie, qui fonctionnent selon des fenêtres d'analyse courtes et longues[55]. Nous pouvons entendre les amplitudes mesurées par le premier lobe jusqu'à environ 20000 événements par seconde, ce qui peut correspondre à la taille d'une fenêtre d'analyse courte dans un modèle numérique.

Dans le second lobe, la vraisemblance du contexte prend en compte les événements précédents et l'anticipation des probables prochains événements. L'équilibre entre les événements prévisibles et imprévisibles définit la forme du *live*. Pour établir la métrique des événements sonores, le second lobe modère périodiquement leur amplitude selon une fréquence déduite du temps cérébral, autour de 2 Hz : toute pulsation supérieure ou égale à 180 bpm est considérée comme supérieure ou égale à 2/3*120 bpm. Le même rythme peut être interprété par différentes métriques, comme par exemple entre les mesures à 3/4 et 6/8. Cette différence d'interprétation du rythme semble particulièrement mise en évidence quand le rythme est entendu soit par des musiciens, soit par des non-musiciens[56] (Fig. 3.2.1).

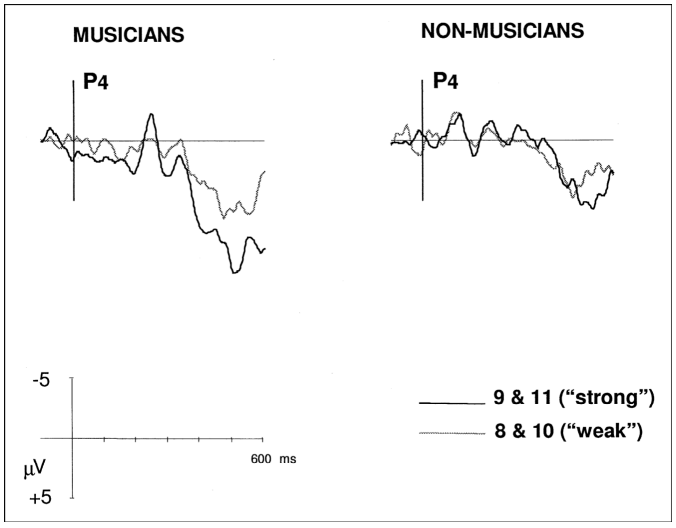


Fig.3.2.1 Différences de potentiel évoqué (PE)[57] entre nombre impair (en noir) et nombre pair (en gris) de baisses d'amplitude entendues sur la même pulsation par différentes personnes. Ces résultats proviennent d'EEG du site pariétal P4. (Image et commentaire issue de l'article mentionné ci-dessus).

[54] Brochard, Renaud, *op cit*.

[55] Gerzon, Michael, « Ambisonics. Part two: Studio techniques », *Studio Sound*, Vol. 17, nº 8, (August 1975), p. 24-26, 28, 30. Correction : *Studio Sound*, Vol. 17 nº· 10 (October 1975), p. 60

[56] Brochard Renaud, Abecassis Donna, Ragot Richard, Potter Doug, Drake Carolyn, « The tick-tock of our internal clock : direct brain evidence of subjective accents in isochronous sequences », Psychological Science, 14 (4), (2003), Method, Electro- encephalogram measurement, Fig.3, p. 363.

[57] Modification du potentiel électrique produite par le système nerveux en réponse à une stimulation externe.

Si un rythme accélère au double du *tempo* initial, il peut être rejoué au *tempo* initial avec des valeurs deux fois plus courtes et donner l'illusion de continuer à accélérer, puisque sa métrique est toujours un multiple du temps cérébral oscillant autour de 120 bpm. Dans *Nature contre nature*, Jean-Claude Risset utilise abondamment l'illusion de rythmes qui accélèrent ou ralentissent à l'infini, parfois même simultanément. La perception de ces paradoxes rythmiques semble liée à la métrique du temps cérébral. J.-C. Risset utilise ce même type de paradoxe à l'échelle de la hauteur dans *Suite from Little Boy*. Concernant ces deux cas, on constate dans la perception du temps une anomalie où l'accélération des rythmes devrait les transformer en hauteurs, et les hauteurs monter jusqu'à l'inaudible. Inversement, les hauteurs devraient descendre jusqu'à se transformer en rythmes, et le ralentissement des rythmes devrait aboutir à l'absence d'événement. L'anomalie perçue dans le déroulement linéaire du temps physique est une boucle temporelle, un temps cyclique projeté dans un temps linéaire : cette projection est perçue comme un paradoxe temporel. Il peut devenir difficile de déterminer à l'écoute si la fréquence monte ou descend, ralentit ou accélère, quand plusieurs de ces paradoxes ce superposent.
Je perçois de manière continue et périodique un temps physique discontinu et non-périodique. La fréquence de discrétisation estimée à 20 Hz correspond à un seuil dans la perception des événements : si les événements sonores se succèdent à une fréquence inférieure à ce seuil, ils sont perceptibles en tant que rythmes ; s'ils se succèdent à une fréquence supérieure à ce seuil, ils sont perceptibles en tant que hauteurs ou timbres.

La perception de l'espace est liée à la perception du temps : plus une source ponctuelle se déplace rapidement plus elle peut devenir une fréquence audible. Or il est possible de composer un espace sonore complexe comprenant à la fois une source ponctuelle et un champs diffus en décomposant l'espace en une somme de sources ponctuelles avec chacune sa propre vitesse correspondant à sa distance. La source la plus proche et la plus lente interagit avec les sources plus lointaines et plus rapide et s'enrichit alors d'un champs diffus. Plus la source est loin, plus sa vitesse est importante, et tend à se faire entendre comme une fréquence audible, mais à un niveau sonore qui s'amoindrit à mesure qu'elle tend vers les aigus.

L'illusion d'une source qui se déplace entre les haut-parleurs résulte du traitement de l'information sonore par le lobe temporal qui établit le plus de continuité possible entre les événements potentiellement discontinus. L'illusion du temps psychologique est un ensemble d'événements discontinus réordonnés dans le but de faciliter l'interaction d'une personne avec son environnement : une personne qui reconnait un ensemble d'événements sonores comme de la musique peut danser sur cette musique. La perception de notre environnement ne semble possible

qu'en étant altérée de toutes les manières possibles afin de pouvoir mieux le comprendre et interagir avec lui. L'altération de la perception du temps est un rouage central dans la mécanique psychotrope, et la psychotropie est la mécanique de la perception : les neurotransmetteurs sont des psychotropes endogènes, les procédés musicaux chronotropes sont des psychotropes exogènes. La psychotropie se confond avec la perception, l'altération de la perception du temps se confond avec la chronoception. L'absence d'altération de la perception est comme un état final d'entropie à laquelle la chronotropie peut s'opposer. Il n'y aurait donc pas d'état de perception qualifié de lucide qui puisse être dissocié de formes d'ivresses : la lucidité serait la pleine conscience de ces formes d'ivresse, du caractère approximatif de notre perception, du sentiment que nous inspire notre environnement, et du désir d'interagir avec ce qui s'y trouve.

La spatialisation des événements sonores du *live* fait entrer la perception de l'espace sonore dans l'équilibre entre le manque et l'excès d'information : c'est en jouant sur cet équilibre que l'espace sonore du *live* peut accentuer certaines énergies présentes dans le matériau et la forme. Pour les restituer, et même les renforcer, les traitements spatiaux doivent pleinement intégrer le langage musical qui définit l'énergie générale du *live,* notamment l'énergie dansante du *kick*.

3.3 Percevoir le paradoxe

Le caractère prévisible d'une évolution musicale peut provoquer dans notre perception l'inhibition d'une singularité imprévue. Notre habitude d'entendre le *kick* de manière monophonique peut inhiber la spatialisation. L'altération de l'espace sonore du *kick* serait inhibée par une sorte d'invraisemblance associée au phénomène. Dans notre perception, si le *kick* est prévu comme un objet sonore monophonique, alors ses mouvements dans l'espace sonore peuvent sonner comme une imperfection extérieure à l'objet sonore.

N'étant pas reconnue comme code musical par notre communauté d'écoute, il serait paradoxal que la spatialisation du son joue un rôle dans la résistance d'un *live* à l'érosion, mais ce paradoxe semble être justement un mécanisme à suivre pour que la spatialisation joue son rôle dans l'altération de la perception. Dans le vocabulaire utilisé en *free-party*, le « son » désigne la musique : puisque tout son est entendu dans la persistance chronotrope du teknival, c'est la perception qui identifie l'événement sonore comme musical. Cette persistance réagit lorsque nous sommes exposés à une amplitude sonore qui nous rappelle celle du *dance-floor*. La perception musicale du « son » se résumerait alors à l'importance de la puissance de diffusion ; peu importe le type de matériau : selon ce raisonnement, l'énergie musicale se mesurerait simplement en watts sans exprimer le moindre rapport au temps. L'explication du phénomène de persistance par la seule stimulation de la mémoire du haut volume sonore est une approche globale de laquelle nous ne

pouvons que déduire un dénominateur commun, sans prendre en compte la singularité du matériau sonore ni le sentiment que nous y attachons. Si tout événement sonore pouvait résister à l'érosion par sa seule puissance de diffusion, plus aucun son ne serait étranger au contexte du teknival qui étendrait son empire sur tout type de perception. L'altération de la perception se réduirait à un seul type de perception, vaguement désignée comme un état d'ébriété, moyenne de l'ensemble de tous les états de perception du son en teknival. L'enthousiasme de découvrir l'univers sonore de la *free-party* s'estompe avec le temps, car la perception au départ altérée se stabilise : il faut donc toujours chercher à sortir de notre état de perception par l'exploration musicale. N'importe quel son entendu en teknival n'est pas forcément chronotrope, puisque cette propriété lui est octroyée par la singularité de chaque son, par son origine extérieure au teknival. La puissance de diffusion est cependant profondément impliquée dans l'altération de la perception du temps car elle remplit un espace qui est composable comme dimension du temps.

Je partage avec une grande majorité de ravers de ma génération un goût prononcé pour les lives de Spiral Tribe. Quand je tente de commenter leurs lives avec une écoute active dans mon mémoire de Master 2, je parviens à conclure que leur résistance à l'érosion repose sur leur singularité, leur expérimentions sonores, leur remise en question des codes musicaux, mais tout en restant dans un contexte musical globalement identifiable comme de la musique propre à l'univers *free-party.*

- il est étonnant que l'usage du *flanger* par Curley soit un procédé chronotrope car il utilise trop de *feedback* par rapport aux usages communs en tekno, non seulement par le taux de réinjection mais aussi par ses trop longues périodes d'émergence et de dispersion pour que les boucles de huit temps puissent être mémorisées comme une carrure dans la forme.

- il est étonnant que la même *bassline* répétée pendant quarante minutes dans *Live act 97,* de SP23, ne suscite aucune lassitude pour une communauté d'écoute certes habituée à la répétition des événements sonores, mais sur des durées de cinq à dix minutes (le pressage de disque vinyles au format maxi 45 tours impose une durée huit minutes ; cette durée varie selon la vitesse à laquelle le disque est joué, et le temps pendant lequel il est joué).

- il est étonnant que la plupart des sonorités de *Paint in your face* de 69db soient des procédés chronotropes, car elles sont jouées hors de tout système de boucle, avec des interventions trop rares et des modulations imprévisibles, alors que le public de *free-party* est habituée à l'exposition de thèmes répétitifs. Le comportement aléatoire des traitements n'intervient ordinairement que pendant la durée d'un *break* pour mieux valoriser le retour de la boucle. Cette part donnée à l'aléatoire dans *Paint in your face* met en valeur la singularité de sonorités insolites

en tekno. 69db utilise notamment une réverbération panoramique qui est un traitement spatial plutôt non-usité en *free-party* où le confort d'écoute privilégie une illusion de puissance sonore facilitée par la monophonie.

Le mot *paradoxe* vient de *para* : qui s'oppose à, à côté de, alternatif à la *doxa* : l'opinion commune, ce à quoi on s'attend (la prévisibilité), la croyance, le sentiment, le jugement. Un paradoxe constitue donc une opposition à la *doxa*. C'est parce que le phénomène de paradoxe illustre l'altération de la perception comme mécanique même de la perception que les traitements ambisoniques ou les espaces sonores paradoxaux peuvent, par leur exotisme, être perçus comme neuro-perturbateurs : s'il est paradoxal qu'un procédé inconnu de la communauté d'écoute soit paradoxal, c'est aussi parce qu'il est paradoxal qu'il est neuro-perturbateur. Les procédés chronotropes de *Spiral Tribe* comportent des prises de risque où la remise en question des usages communs est paradoxalement fort bien accueillie. C'est parce que le caractère de l'énergie musicale est paradoxal qu'il peut d'abord s'opposer au caractère populaire pour mieux le devenir.

La question du paradoxe en tant qu'alternative à la *doxa* pose de la question de la place de la *doxa* dans le fondement d'une culture populaire. Le *sound-system* Heretiks, singulier par son esthétique de saturation de l'espace acoustique, aimait à rappeler sur ses *flyers* la définition de l'hérésie : « ne souscrit pas à la norme établie[58] ». Le choix nominal de *sound-systems* comme *Antinorm* ou *P4anti6TM*, exprime une défiance contre le monopole des complexes industriels sur les moyens de production musicale. Mais la culture *underground* peut elle-même créer ses propres formes d'aliénation, qui se traduisent par un renfermement de la communauté d'écoute sur des codes musicaux établis au point de les vouloir immuables : la *free-party* perd alors sa créativité pour devenir traditionaliste, intégrable à l'économie de marché où elle peut jouer un rôle d'assommoir très rentable pour les propriétaires des moyens de production, et nuisible à l'auto-production de musique électronique expérimentale. La popularité du mouvement *free-party* a fini par attirer un public qui partage les valeurs culturelles de la classe possédant l'appareil de production. Ce public a lui même intégré la *free-party* dans son mode de vie sédentaire, avec lequel les *travelers* sont en rupture.

Remettre en question les codes musicaux jusqu'à la forme symbolique de la tekno, le *kick*, par la composition de l'espace est une manière de s'opposer à la norme établie par la vision sédentaire du monde. Dans mon *live,* la composition de l'espace du *kick* synchronise le déplacement de la source sur l'enveloppe du *kick*. La spatialisation se confond avec l'enveloppe pour moduler l'énergie du matériau sonore sans la détériorer. Tout comme certaines composantes spectrales peuvent être mises

[58] Raclot-Dauliac, Damien, *We had a dream - Heretik System,* 2010. https://www.youtube.com/watch?v=HB4R-yN1nBk

en valeur par un filtre sur les fréquences, différentes résistances à l'entropie présentes dans le même matériau sonore peuvent être mises en valeur selon sa spatialisation.

Le public de *free-party* qui découvre la spatialisation l'entend comme paradoxale puisque tout traitement spatial s'oppose à ce que qu'il s'attend à entendre dans l'espace sonore, habituellement monophonique. C'est parce qu'aucun effet dansant ou neuro-perturbateur ne leur est encore attribué que les traitements spatiaux peuvent procurer ces effets. Le paradoxe n'existe dans la culture que parce qu'il s'y oppose. Toutefois, le paradoxe par lequel la spatialisation du son s'oppose à sa perception comme objet statique est de courte durée. Le sentiment de surprise s'érode ; néanmoins le sentiment de paradoxe peut persister quand de nouvelles sonorités sont exposées et mises en valeur par la spatialisation : un même son peut être différemment mis en valeur selon le type de spatialisation, mais une même spatialisation peut être différemment mise en valeur selon le type de son.

Tout procédé musical neuro-perturbateur est paradoxal car il s'oppose dans son rapport au temps à la prévisibilité des stimulations dansantes. Dans le contexte musical du *breakcore*, c'est l'imprévisibilité qui rend opératoires les procédés dansants en s'opposant à leur prévisibilité : la prévisibilité des stimulations dansantes est paradoxale puisqu'elle s'oppose à un temps prévu comme imprévisible. En *breakcore*, la prévisibilité enrichit le désordre par l'ordre, selon le principe d'anti-chaos, qui consiste à rajouter de la donnée dans le chaos pour l'accroître[59]. En *free-party*, traiter par un paradoxe l'espace sonore alors qu'il est déjà perçu comme paradoxal constitue une mise en abîme. L'acoustique de la *free-party* contient une énergie dansante et neuro-perturbatrice même si elle n'est pas musicalement composée. Intégrer le potentiel énergique de ces espaces sonores paradoxaux à celui du *live*, c'est contextualiser à l'intérieur même de la composition du *live* son propre contexte spatial, celui de la *free-party*, du teknival.

L'ordre symbolisé par les stimulations dansantes est prévisible jusqu'à induire le désir de se perdre musicalement tellement le chemin semble facile à retrouver. Les procédés neuro-perturbateurs répondent à ce désir de vertige, de désorientation, de paradoxe : ce désordre produit à son tour le désir de retrouver ses pas de danse périodiques. Le mouvement dansé de manière périodique est un effort corporel qui peut s'anticiper dans le temps, un peu comme chez les sportifs qui ont l'habitude d'écouter une musique très pulsée pour rythmer des exercices répétitifs. Intégrés aux énergies musicales du *live*, les espaces sonores paradoxaux peuvent intervenir de manière prévisible, avec un espace sonore en forme de chemin droit, ou bien de manière imprévisible, avec un espace sonore en forme de labyrinthe. Pour dessiner ce chemin, la source et l'écho de l'espace sonore paradoxal

---

[59] [44] Roskamp, Karl W., « From Chaos to Antichaos and Back to Chaos : The Possibility of a Cycle », *Credit and capital markets- Kredit und Kapital*, Vol. 27, Nº 2, janvier 1994., p. 1-10 . DOI https://doi.org/10.3790/ccm.27.1.1

doivent donner l'illusion de se suivre. Le même son doit à la fois donner l'illusion de s'éloigner derrière le public tout en s'en approchant par devant, et ce, de manière cyclique. Cette boucle spatiale est un espace sonore paradoxal musicalement composé, elle est perceptible comme paradoxe temporel dans l'espace sonore.

La spatialisation peut dégrader l'énergie portée par le matériau ou la forme : par exemple le *kick* peut perdre sa place au centre de l'espace sonore. La spatialisation doit au contraire mettre en valeur les énergies musicales préexistantes à sa composition, car la répartition des objets sonores dans l'espace peut les rendre plus intelligibles. Le *live* est donc spatialisé pour qu'une énergie dansante demeure dansante, et qu'un procédé neuro-perturbateur demeure neuro-perturbateur. Les espaces paradoxaux ne sont pas, pour l'instant, culturellement reconnus comme dansants ou neuro-perturbateurs, mais sont composés avec la volonté de les rendre agonistes de l'énergie chronotrope des formes musicales, comme une molécule exogène à notre organisme n'est psychotrope que parce qu'elle est agoniste de nos neurotransmetteurs.

II LE CONTEXTE DE L'HYPERESPACE SONORE COMME CONDITION DE RÉALISATION DES ESPACES SONORES PARADOXAUX

II LE CONTEXTE DE L'HYPERESPACE SONORE COMME CONDITION DE RÉALISATION DES ESPACES SONORES PARADOXAUX

La résistance des traitements spatiaux à l'érosion de l'énergie musicale vécue sur un temps durable pose également la question du rapport entre l'espace et le temps, dont les propriétés physiques déterminent comment ils peuvent être composés. Ces propriétés singulières déterminent les conditions du possible dans la composition musicale, comme par exemple le caractère irréversible du temps où interviennent les événements sonores, et l'espace nécéssaire à la diffusion du son en ambisonie. Or, l'espace et le temps que nous distinguons sont les différentes dimensions d'un seul objet, l'espace-temps, qui comprend trois dimensions d'espace et une de temps[60]. Certaines conditions favorables à la composition du *live* ambisonique, pourraient donc être contenues dans l'unité de l'objet spatio-temporel, comme hyperespace sonore. L'espace sonore n'est pas composable en dehors du temps : cette quatrième dimension peut évidemment être considérée comme présente dans toute spatialisation du son.

Plus un objet se déplace vite, plus le temps mesuré depuis cet objet semble ralentir : le temps mesuré depuis un photon semble gelé. Si l'on représente l'espace et le temps par deux axes perpendiculaires et que l'on trace l'accélération de l'état immobile jusqu'à la vitesse de la lumière par une ligne droite, cette droite pourrait théoriquement ce poursuivre au delà de la vitesse de la lumière. L'accélération n'est pas linéaire mais courbée : elle devient nulle quand elle atteint la vitesse de la lumière[61]. La courbure de l'espace temps est particulièrement visible dans l'effet de lentille gravitationnelle produit par les trous noirs où la lumière est déviée : l'image de l'univers semble alors s'incurver jusqu'à former un objet sphérique.

L'espace sonore peut être déformé de la même manière en y composant cette courbure comme une orientation vers des dimensions supérieures à l'espace 3D, pour parvenir à des états de distorsion spatio-temporelle où le proche et le lointain s'intervertissent, et où la personne vivant habituellement dans un espace 3D est confrontée à un paradoxe sonore sur la distance.

Le traitement spatial du *live* doit permettre à cette personne d'entendre depuis une position fixe ce qu'entendrait un personne qui se déplace toujours vers l'avant jusqu'à revenir à son point de départ, comme si elle marchait sur une sphère dont le volume est tel que la personne perçoit sa courbure comme plate. Ce paradoxe peut être compris et composé à partir de la géométrie dans l'hyperespace, où sont présentes des dimensions supérieures à l'espace 3D.

---

60 Paty, Michel, Les trois dimensions de l'espacé de et les autre dimensions de temps, 3 Les quatre dimensions de m'espace temps, La quatrième dimension nécessaire. L'espace entre dans le temps, p.22, éditeur Dominique Flament, Dimension, dimensions I, Série Documents de travail, Fondation Maison des Sciences de l'Homme, Paris, 1998, p. 87-112.

61 Einstein, Albert, The meaning of relativity, four lectures given at Princeton University, May 1921, Lecture III The general theory of relativity, p.61, Priceton University Press, Priceton, 1923.

La production d'un traitement spatial associé aux paradoxes sonores de J.-C. Risset requiert d'une part la duplication de la méthode de spatialisation, donc du nombre de dimensions, et d'autre part un fondu enchaîné qui interpole deux états pour la méthode dupliquée. Ce fondu enchaîné traite l'illusion de distance entre deux sources sonores, quelles que soient leurs orientations 2D ou 3D, et intervient comme une orientation supplémentaire dans un espace sonore qui peut s'exprimer alors par plus de trois dimensions. Cette spatialisation sur les paradoxes sonores est d'abord produite en stéréophonie, puis à différents formats, dits ambisoniques, qui permettent de synthétiser l'espace sonore en 2D ou 3D en rajoutant des haut-parleurs orientés selon les dimensions que l'on veut composer. Je reproduis la spatialisation des paradoxes sonores d'abord au format B, et ensuite en ambisonie d'ordre supérieur, pour enfin comprendre comment la composition du champ diffus peut améliorer le traitement afin qu'il puisse s'appliquer même sur des sons qui ne sont pas paradoxaux.

Les étapes qui précèdent la spatialisation des sons paradoxaux par composition du champ diffus ont pour but de valoriser le rôle de l'opposition de phase dans la dissociation entre composantes spatiales et composantes spectrales. En psychoacoustique, l'étude des sons paradoxaux de J.-C. Risset sert à mettre en évidence le principe d'octave spatiale, un phénomène de regroupement spectral sur des composantes spatiales dissociées de manière stéréophonique. La spatialisation des sons au format B quadriphonique permet d'entendre différemment cette octave spatiale selon son orientation sur l'azimut. C'est notamment dans le sens de la profondeur que l'expérience devient importante pour comprendre ce qu'une personne qui marche toujours vers l'avant entend de ces sources sonores quand elles se ressemblent : leurs composantes spatiales sont moins dissociables à l'écoute que dans le sens de la largeur. Avec la méthode du format B octophonique, la dimension virtuelle s'oriente dans une disposition hypercubique des haut-parleurs virtuels, somme des deux cubes issue de la duplication de la méthode de spatialisation. En dupliquant la méthode de l'ambisonie d'ordre supérieur, on obtient alors un domaine hypersphérique constitué par la somme de deux domaines sphériques, chacun étant composé du même nombre de microphones virtuels. La composition du champ diffus consiste alors à écrire différentes dynamiques de fondu enchaîné dans les ordres ambisoniques supérieurs. C'est à ce moment que les propriétés angulaires du fondu enchaîné en font une dimension supplémentaire interactive avec les dimensions de l'espace 3D : la variation de son orientation dans l'hyperespace module l'illusion de distance entre les deux domaines sphériques quelle que soit leur orientation. L'illusion est d'autant plus réaliste quand elle composée en tant que telle du point de vue de l'hyperespace : la distance est l'illusion procurée par l'orientation d'une dimension supérieure à l'espace 3D, et présente dans un hyperespace qui semble dépourvu de la notion de distance.

La recherche nucléaire a recours à un modèle mathématique, les harmoniques hypersphériques, qui peuvent devenir une méthode de spatialisation quand ils sont implémentés en ambisonie d'ordre

supérieur. La dimension supplémentaire y est qualifiée d'*hyperangle*. Cette méthode permet de tordre la courbure d'un espace-temps virtuel afin d'obtenir un paradoxe sur la distance. Mon opération consiste à reporter les mouvements de la personne à l'écoute sur les dynamiques des sons émis sur les *dance-floors*, en m'inspirant de l'interaction entre trois particules présentes dans les noyaux atomiques.

Plus l'espace sonore est décomposé en un nombre important d'harmoniques sphériques, plus la source ponctuelle peut s'enrichir d'un champ diffus. Le traitement hypersphérique permet d'interpoler ces deux états de l'espace sonore. En me rappelant le contexte quantique dont est issu ce traitement, je compare son effet à la transformation d'un atome léger en atome complexe : plus son rang orbital est haut, moins la position et la vitesse d'un électron peuvent être simultanément estimées.

Dans un noyau atomique, trois quarks s'éloignent les uns des autres sous l'attraction extérieure exercée par le nuage électronique, mais ils se rapprochent sous l'influence de leur interaction forte. Plus ils s'éloignent, plus leur position et leur vitesse deviennent indéterminées les uns par rapport aux autres. La décomposition de leur interaction en harmoniques hypersphériques permet d'identifier leur position et leur vitesse afin de déterminer par leur saveur s'ils s'agit de quarks communs ou exotiques.

Par leur simplification des systèmes à trois corps, les harmoniques hypersphériques appliqués aux ondes sonores semble réduire l'indétermination entre l'énergie et la vélocité des sources quand elles s'éloignent pour former un champs diffus. Dans le cas d'un champ diffus, plus l'espace sphérique est complexe, moins l'énergie et la vélocité des sources coïncident. Au contraire, dans le cas d'une source ponctuelle, l'espace sphérique est simple et peut être dépourvu d'ordre supérieur, il est alors plus probable que l'énergie et la vélocité de la source sonore coïncident. Le traitement hypersphérique modère les différences qui pourraient induire une discontinuité dans le fondu enchaîné entre l'état de source et à l'état de champ.

4. APPROCHES DE L'HYPERESPACE DU SON

4.1 La spatialisation des sons paradoxaux : un héritage musical de Jean-Claude Risset

La recherche du caractère opératoire des traitements spatiaux en *live* conduit à les associer aux paradoxes sonores et rythmiques composés par Jean-Claude Risset, dans la dynamique d'un fondu enchaîné commun aux domaines de hauteur, de rythme, et d'espace. Ces paradoxes sont utilisés en neurosciences pour illustrer comment fonctionne la perception de la métrique et des phénomènes de dissociation et de regroupement. L'étude de ces phénomènes met en évidence le principe d'octave spatiale : deux provenances différentes peuvent être dissociées pour les deux notes composant une octave diffusée en stéréophonie. Inclure une opposition de phase entre ces deux provenances met en valeur la perception de cette octave par dissociation des composantes spatiales.
La production au format B du traitement spatial associé aux paradoxes de Risset permet de faire varier l'orientation de l'octave spatiale sur l'azimut. Dans ce format, le fondu enchaîné prend une valeur dimensionnelle comme mesure angulaire supplémentaire commune à deux espaces sonores 2D ou 3D : cette dimension supplémentaire transforme mathématiquement l'espace sphérique en espace hypersphérique, ou hyperespace.

La spatialisation des boucles musicales jouées en *live* tend à reproduire leur caractère périodique. Le langage musical de la tekno est composé selon un temps cyclique mesurable en multiples de 4. La structure binaire de ces boucles est morphophorique : cette écriture en boucle doit permettre à la spatialisation d'intégrer la forme musicale. L'espace sonore paradoxal est un mécanisme qui permet de composer cette boucle dans l'espace sonore. Cette boucle spatiale est à la fois une composition de l'orientation et de la distance de sources ponctuelles. La distance d'une source est une illusion sonore où c'est l'amplitude du son qui est traitée : un son fort est proche, un son faible est loin, il se rapproche par un *crescendo* et s'éloigne par un decrescendo. D'autres traitements comme les filtres résonnants, les *flangers*, ou les réverbérations peuvent intervenir pour composer l'effet de distance.
Le travail sur la boucle d'un son échantillonné permet de déterminer les enjeux présents dans la composition de l'espace sonore sous forme de boucle. L'écoute en boucle d'un son enregistré peut laisser entendre un artefact à chaque reprise de la boucle. Cet artefact est causé par la variation discrète entre la première et la dernière amplitude échantillonnées. Il peut être gommé à l'aide d'un fondu au silence. La boucle n'est plus ponctuée par l'artefact, mais par ce silence.
Ce silence peut être bref et ne pas nuire à l'entièreté de l'enregistrement écouté, mais encore faut-il que les conditions d'enregistrement s'y prêtent. Si le son est enregistré dans une acoustique riche en réverbération, il faut que l'enregistrement dure jusqu'à ce que la réverbération se dissipe pour que le

fondu au silence ne détériore pas la qualité acoustique dans laquelle le son a été enregistré. Si le son enregistré est utilisé pour jouer comme une caisse claire, il doit être bouclé généralement tous les deux temps. Or selon le tempo, le temps de réverbération du son échantillonné peut dépasser la durée de cette boucle, et faire du fondu au silence un événement audible qui interfère avec l'énergie produite par la réverbération de l'instrument.

Utiliser une ligne à retard pour répéter cette boucle permet d'éviter de devoir recourir au fondu au silence. Néanmoins, ce traitement par pleine réinjection du retard ne permet plus d'entendre les traitements qui interviennent avant cette réinjection. Il n'est possible de traiter que la réinjection, ce qui limite l'interaction avec l'instrument. Pour composer en boucle l'espace sonore sans qu'un fondu au silence n'interfère avec l'illusion de distance, il est nécéssaire de dupliquer le signal audionumérique sans recourir à la réinjection d'une ligne à retard. La réinjection de la ligne à retard entraîne un fondu enchaîné dans la boucle spatiale : ce fondu enchaîné est nécéssaire pour éviter le silence entre les reprises de la boucle, et il interfère sur l'illusion de distance. Faire de ce fondu enchaîné un outil pour composer la distance dans la boucle spatiale sans recourir à la réinjection d'une ligne à retard requiert une approche polyphonique.

La boucle d'un son enregistré peut être écoutée à l'endroit comme à l'envers. Ce sens de l'écoute doit également être rendu composable dans l'écriture d'une boucle spatiale. La boucle spatiale doit pouvoir recommencer dans son orientation initiale après s'être s'achevé dans l'orientation opposée. Le fondu enchaîné intervient entre deux orientations opposées : le même son est alors entendu simultanément selon deux orientations. Le fondu enchaîné semble faire régresser la boucle de son orientation finale vers son orientation initiale, alors qu'elle devrait donner l'illusion de progresser à chaque reprise. Pour assurer le caractère constamment progressif de la boucle pendant le fondu enchaîné, le son diffusé selon deux orientations opposées doit être joué en opposition de phase : ce traitement s'applique également sur la duplication du signal audionumérique.

L'opposition de phase intervient comme une symétrie d'amplitude en interaction avec l'orientation symétrique des sources. Elle intervient périodiquement, selon la symétrie temporelle du fondu enchaîné entre les deux sources, pour que la boucle spatiale progresse toujours dans le même sens : sans cette opposition, la boucle est jouée périodiquement d'avant en arrière. Ce fondu enchaîné entre les distances des sources confère à la boucle spatiale son caractère paradoxal par lequel le même son semble à la fois s'approcher et s'éloigner en deux orientations opposées. L'outil qui permet d'opérer au fondu enchaîné sans recourir à une ligne à retard s'inspire d'outils de composition musicale utilisés par Jean-Claude Risset : les sons et les rythmes paradoxaux[62].

---

[62] Risset, Jean-Claude, « Pitch and rhythm paradoxes : Comments on "Auditory paradox based on fractal waveform" », *The Journal of the Acoustical Society of America,* Vol. 80, nº 3, September 1986 (II. A related rhythm paradox, p. 962).

> « Grâce à la synthèse des sons par ordinateur, nous pouvons séparer les variations de hauteur "tonale" et hauteur "spectrale" : pour des sons formés d'octaves, la hauteur tonale varie quand on fait varier la fréquence fondamentale, et la hauteur spectrale varie lorsqu'on déplace l'enveloppe spectrale. Cette dissociation peut conduire à des variations de hauteur paradoxales : sons donnant l'illusion de monter ou descendre sans fin - paradoxe similaire à l'escalier de Penrose (Fig. 4.4.2, p. 84) - (hauteur tonale fixe), et sons qui descendent la gamme tout en devenant plus aigus (hauteurs spectrale et tonale variant en sens inverse).[63] [64]La hauteur spectrale le long d'un axe linéaire (Fig. 4.2.1, p. 78) - la pertinence de cette représentation est confirmée par l'analyse factorielle de tests subjectifs effectués par Charbonneau[65] [66] [67]. »

S'il faut deux hauteurs pour entendre un son paradoxal, deux rythmes pour entendre un rythme paradoxal, alors il faut deux espaces sonores pour entendre un espace sonore paradoxal. Dans ces trois manières de composer la musique, deux matériaux sonores jumeaux évoluent d'un état *A* vers un état *B*[68]. Deux premières formes d'ondes sinusoïdales de phases opposées et de basse fréquence opèrent des fondus enchaînés entre l'évolution du premier matériau sonore et l'évolution du second. Ces deux évolutions parallèles sont déphasées de 180° : elles se relaient en respectant une symétrie temporelle, rendant audible le paradoxe de variation infinie sur la hauteur, le rythme, ou l'espace sonore.

Le format stéréophonique constitue une première étape de spatialisation des sons et rythmes paradoxaux afin d'étudier les comportements ondulatoires qui permettent la composition d'un espace sonore paradoxal donnant l'illusion de se déplacer infiniment vers la droite ou la gauche. Quand le paradoxe sur la hauteur s'applique sur deux formes d'ondes sinusoïdales, la différence d'octave sur la hauteur est audible pendant le fondu enchaîné. Alors que la hauteur monte ou descend d'une octave sur toute la panoramique, la spatialisation stéréophonique du paradoxe laisse entendre la première hauteur sur le premier haut-parleur, et son octave sur le second haut-parleur ;

---

[63] Shepard, R.N., « Circularity of judgements of relative pitch », *The Journal of the Acoustical Society of America,* 36 (1964), p. 2346.

[64] Risset, J.-C. « Pitch control and pitch paradoxes demonstrated with computer synthesized sounds », *The Journal of the Acoustical Society of America,* 46 (1969), p. 88.

[65] Charbonneau, G. et Risset, J.-C., « Circularité de jugements de hauteur sonore », *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris,* 227, Série B (1973) p. 623.

[66] Charbonneau, G. et Risset, J.-C., « Jugements relatifs de hauteur Schémas linéaires et hélicoïdaux », *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris,* 281 Série B (1975) p. 289.

[67] Risset, Jean-Claude, « Hauteur et timbre des sons », *Rapport Ircam 11/78*, vol. 10, Ircam - Centre Georges-Pompidou, 1978, http://articles.ircam.fr/textes/Risset78a/ (§ Hauteurs des sons / Paradoxes de hauteur).

[68] Risset, Jean-Claude, « Pitch and rhythm paradoxes : Comments on "Auditory paradox based on fractal waveform », *The Journal of the Acoustical Society of America,* Vol. 80, nº 3, September 1986 ((II. A related rhythm paradox, p. 962).

le paradoxe spatial est audible grâce à cette différence de hauteur entre les deux formes d'ondes sinusoïdales. Le paradoxe sur la hauteur et sa spatialisation deviennent inaudibles quand la fréquence commune aux deux formes d'ondes sinusoïdales baisse en dessous de 20Hz, mais si elles sont remplacées par deux formes d'ondes en dent-de-scie, un paradoxe rythmique devient audible. Par contre, le paradoxe dans l'espace sonore perd son caractère opératoire, car des fréquences communes aux spectres des ondes en dent-de-scie viennent s'additionner au centre de l'espace sonore pendant le fondu enchaîné : le paradoxe dans l'espace sonore s'estompe au profit d'un simple balayage stéréophonique, que la fréquence commune aux deux formes d'ondes oscille dans le domaine du rythme ou qu'elle oscille dans le domaine de la hauteur.

Pour éviter que les fréquences communes aux deux formes d'ondes ne se superposent au centre de l'espace sonore, elles sont traitées par une opposition de phase. Quand les deux fréquences sont simultanément audibles à une octave de différence, dans les deux espaces opposés de la stéréophonie, l'annulation de phase creuse un silence dans le centre de la panoramique. Le même son semble simultanément s'approcher d'un côté et s'éloigner de l'autre : le paradoxe dans l'espace retrouve son caractère opératoire à l'écoute (Fig.4.1.1, 4.1.2).

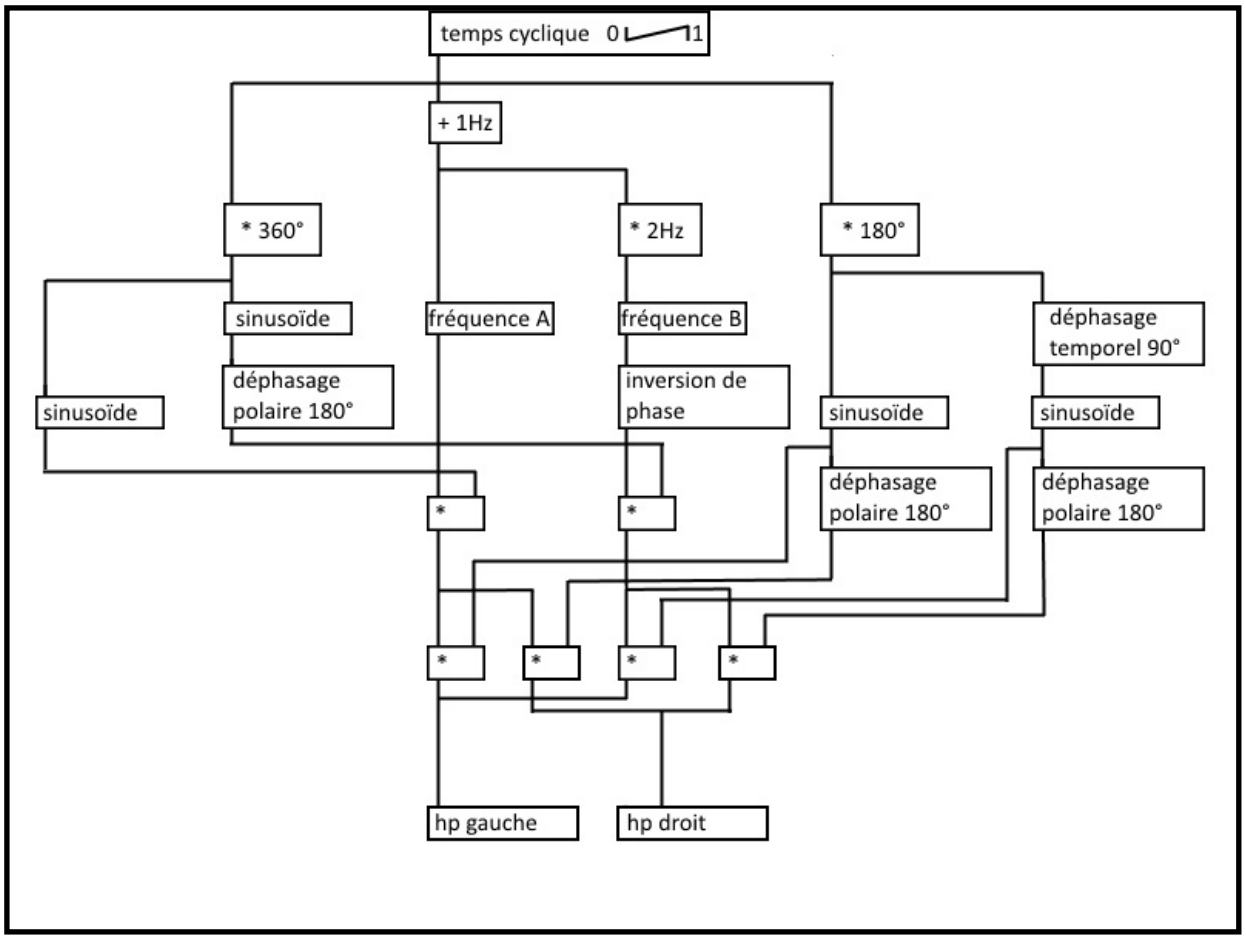


Fig.4.1.1 Spatialisation stéréophonique du paradoxe sur la hauteur. Un patch max peut être téléchargé sous le nom « stereoprdx3.maxpat » sur la page : https://conspiration.me/nextcloud/apps/files/files/12012?dir=/ (nom d'utilisateur : Daniel, mot de passe : danielgrosfichieraudio)

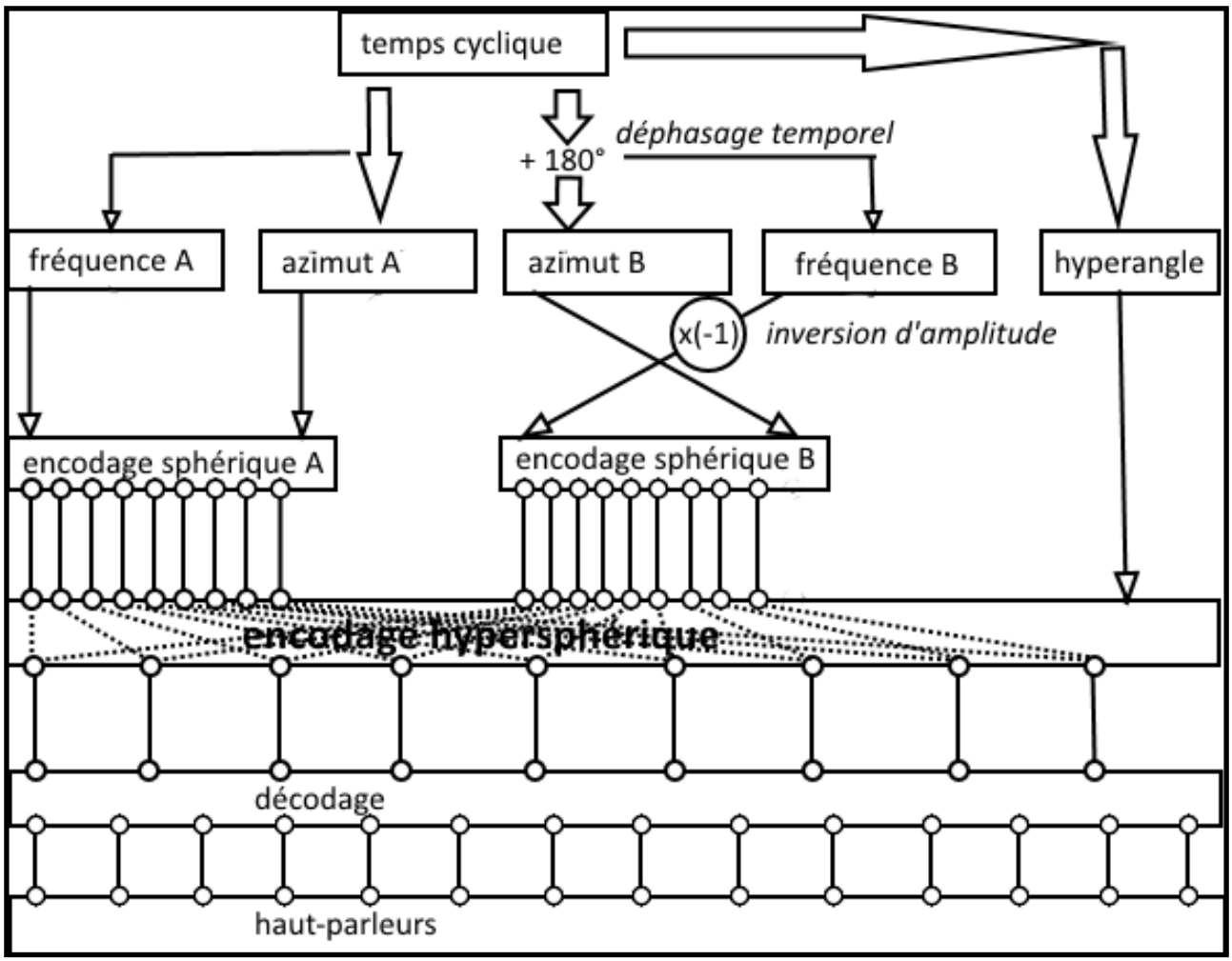


Fig.4.1.2 Principe du son paradoxal en ambisonie d'ordre supérieur.

L'opposition de phase permet d'appliquer des traitements spatiaux paradoxaux sur des formes d'ondes complexes, même si ces formes d'ondes complexes ne sont pas elles-mêmes traitées par un paradoxe sur la hauteur.

4.2 Fusion spectrale et dissociation spatiale

L'opposition de phase à l'oeuvre dans les espaces sonores paradoxaux exploite la notion de dissociation spatiale sur un même objet sonore. La perception de l'espace sonore semble toujours corrélée au mécanisme de regroupement et de dissociation dans les sites pariétaux, dont les réactions peuvent se mesurer avec des E.E.G. Les travaux sur la perception de l'espace sonore consultés et cités dans ce chapitre prennent comme base les recherches de Diana Deutsch. Il est utile de reprendre ses travaux dans lesquels l'étude de J.-C. Risset sur les sons paradoxaux occupe une place centrale, et joue un rôle démonstratif pour établir le principe d'octave spatiale. La prise en compte de ce principe dans la production d'espaces sonores paradoxaux détermine quelles

trajectoires peuvent être suivies par une source ponctuelle pour que l'espace sonore donne l'illusion d'être paradoxal. Des expériences de reconnaissance spatiale de sons diffusés dans un casque mettent ainsi en évidence la perception par regroupement spatial pour des composantes du même timbre diffusées au casque avec différentes panoramiques.

> « Parce que toutes les composantes d'un son ont nécessairement la même provenance, et que les composantes de sons différents ont différentes provenances, on pourrait s'attendre à ce que les origines spatiales des composantes influencent fortement la manière dont elles sont regroupées dans la perception. Le problème survient, cependant, quant à la manière dont l'origine spatiale doit être déduite au préalable. Dans des environnements naturels, les ondes sonores sont sujettes à de nombreuses distorsions quand elles voyagent de leurs sources à nos oreilles. Donc si nous comptions sur les seuls indices de localisation de premier ordre (comme les différences d'amplitude et de phase entre les deux oreilles), nous risquerions de séparer les composantes qui devraient se regrouper dans notre perception[69]. »

Dans les espaces sonores paradoxaux, l'opposition de phase est une somme de ces *nombreuses distorsions auxquelles sont sujettes les ondes sonores qui voyagent des sources à nos oreilles dans un environnement naturel*. Cette opposition de phase est composable dans l'espace acoustique et permet de dissocier à l'oreille plusieurs origines spatiales pour un même son, alors qu'elles se fondent en une seule quand on les entend au casque. Dans ces conditions, l'altération du timbre par la spatialisation apparaît minime, voire négligeable.

La spatialisation d'un objet sonore comme le *kick* prend en compte une possible altération qu'elle peut produire sur le timbre de l'instrument. Le *kick* est un timbre complexe ; même le plus simple *kick* tekno, qui peut être synthétisé à partir d'une simple sinusoïde, contient des transitoires d'attaque modulant la fréquence de cette sinusoïde, de l'aigu vers le grave, en suivant une courbe non-linéaire. L'enveloppe du *kick* transforme la forme d'onde simple en forme complexe. Dans le *live* ambisonique, l'attaque du *kick* provient de l'avant-centre. Cette provenance rappelle les conditions d'écoute sur les *dance-floors* non ambisoniques, où l'on danse face aux haut-parleurs. En même temps, la même attaque est jouée en opposition de phase et s'éloigne vers l'arrière-centre. Le *kick*, même monophonique, peut être considéré comme un objet sonore symbole d'espace : la chute de fréquence peut facilement être associé à un brusque déplacement du haut vers le bas. La composition spatiale du *kick* tente d'orienter cette chute de l'avant vers l'arrière, et peut se heurter

---

[69] Notre traduction de Deutsch, Diana, « Grouping Mechanisms in Music », dans *The Psychology of Music*, éd. Diana Deutsch, 3e édition, Elsevier / Academic Press, 2013 (II. Fusion and separation of spectral components F Effects of spatial separation, p.195). DOI: http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-381460-9.00006-7 © 2013 Elsevier Inc.

par là à une cognition verticale de l'espace du *kick*. L'altération de la perception de l'espace par la complexité du timbre est mise en évidence dans la suite de l'expérience :

> « Une preuve a également été apportée pour le cas où d'autres groupes d'indices, comme le spectre harmonique et le départ asynchrone, peuvent influencer l'origine spatiale perçue pour un son complexe. Par exemple, Hill et Darwin (1993) ont trouvé qu'un harmonique de hauteur altéré dans un son complexe entraîne son apparente localisation à se déterminer séparément du reste de la complexité sonore. Nous verrons (…) que quand deux séquences de timbres sont présentées simultanément, à chaque oreille, un nombre de facteurs interviennent que la panoramique soit utilisée ou non dans l'indice de localisation, et que ces facteurs influencent également l'origine spatiale perçue pour des sonorités singulières dans un timbre complexe[70]. »

D. Deutsch prend comme exemple le paradoxe sur la hauteur de J.-C. Risset (Fig 4.2.1) pour illustrer le système perceptif de regroupement quand deux fréquences différentes d'une octave se superposent, et envisage l'implication ce phénomène cognitif dans la perception des timbres complexes :

> « Afin d'atteindre la circularité de hauteur, le choix des matériaux doit-il être confiné à des timbres hautement artificiels ou à plusieurs timbres instrumentaux jouant simultanément? Si des échelles circulaires peuvent être crées depuis les séquences de timbres seuls, chacun d'entres eux compris dans des séries harmoniques complètes, alors les implications théoriques et pratiques de circularité de hauteur seraient élargies[71]. »

Alors qu'une seule fondamentale et son premier harmonique sont traités quand le son paradoxal est une simple onde sinusoïde, les fréquences d'un spectre complexe peuvent jouer chacune différents paradoxes, de différentes durées, et s'orienter vers le grave ou l'aigu. La somme des différentes durées et orientations de chaque paradoxe permet de moduler infiniment le timbre de manière non cyclique : le phénomène de paradoxe sur le timbre se manifeste à l'écoute d'un son qui monte et descend en même temps, de manière continue et infinie. Il également possible de traiter ce timbre par des paradoxes sur des oscillations de basses fréquences, le son accélère alors tout en ralentissant en même temps, toujours de manière continue et infinie.

---

[70] Deutsch, Diana. *op cit*.

[71] Deutsch, Diana. *op cit*. VII. Grouping of Equal-Interval Tone Complexes. A. Grouping by Pitch Proximity

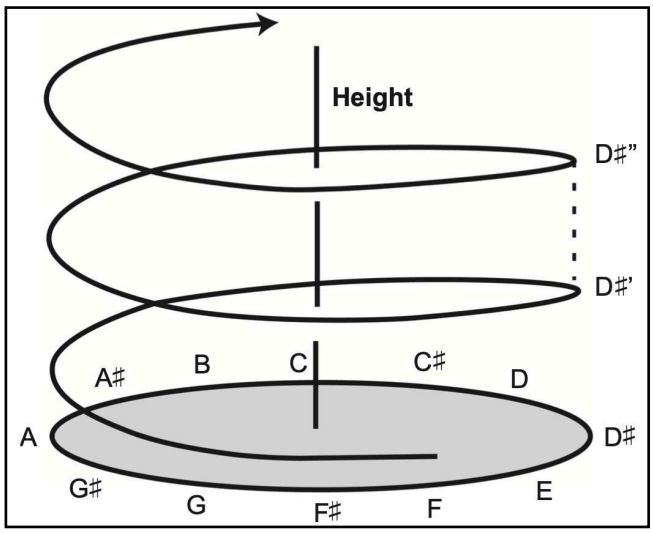


Fig. 4.2.1 Le modèle hélicoïdal de la hauteur. La hauteur musicale est montrée comme variant à la fois dans une dimension linéaire verticale et dans une dimension circulaire de classe de hauteur. L'hélice accomplit un tour complet par octave, avec pour résultat que les notes positionnées par relation d'octave sont proches dans l'espace. La ligne tracée entre et D#' et D#' indique que la hauteur d'une note peut également être faite pour varier à l'intérieur de l'octave sur la dimension verticale sans traverser l'hélice, s'orientant ainsi dans une représentation plus cylindrique qu'hélicoïdale.
Ce schéma et ce commentaire sont fournis par D. Deutsch, *op cit.* ; notre traduction.

La composition de l'espace sonore paradoxal en stéréophonie sur ces deux fréquences semble donc jouer sur le système perceptif de regroupement pour associer les deux fréquences dans un seul timbre, tout en les dissociant dans l'espace : cette mise en évidence du phénomène cognitif d'octave spatiale est décrite dans le quatrième chapitre de la thèse de Robart Ryan, *The Influences of Spatial and Motion Properties on Auditory Grouping*. Dans notre perception de l'espace sonore, la dualité entre les composantes spatiales et spectrales est davantage mise en évidence quand les expériences prennent en compte le libre-champ de l'espace acoustique et complètent les conclusions des expériences au casque : le changement dans la position d'écoute altère le contenu spectral.

> « L'illusion d'octave a également été testée en libre-champ stéréophonique avec le son émis par deux haut-parleurs (Deutsch & Roll, 1976; Deutsch, 1983). Dans ces études, un haut-parleur était placé à 45° (en face, de centre-droit) sur le plan horizontal, pendant que l'autre était placé à 375° (en face, de centre-gauche). Dans ce contexte de libre-champ l'illusion était maintenue aussi longtemps que l'orientation de l'auditeur demeurait constante dans sa relation aux haut-parleurs. Dans cette orientation, les auditeurs entendirent la note grave provenant d'un haut parleur et la note aiguë provenant de l'autre. Cependant, l'illusion retombait brutalement quand l'auditeur était déplacé (circulairement), de manière à ce qu'ils soient positionnés directement en face d'un des haut-parleurs. Fait intéressant : dans cette position, les auditeurs témoignèrent entendre plutôt un timbre complexe que deux séquences pulsées[72]. »

[72] Notre traduction de Robart, Ryan, *The Influences of Spatial and Motion Properties on Auditory Grouping*, UC Riverside Electronic Theses and Dissertations, 2010 (Chapter 4 : Spatial tasks and grouping in the free-field, The spatial octave illusion, p. 17).

La notion d'octave spatiale est ainsi mise en valeur par la position d'écoute qui détermine un type de dualité entre regroupement spectral et dissociation spatiale. Les traitements spatiaux ambisoniques prennent également leur caractère opératoire quand ils sont entendus depuis une position d'écoute idéale, ou *sweet-spot*. C'est depuis ce *sweet-spot* que l'opposition de phase permet de dissocier plusieurs espaces pour un même son. La trajectoire suivie par une source est plus ou moins discernable quand l'octave spatiale est orientée dans un autre sens que la largeur. Des expériences sur la perception de différentes trajectoires sont menées sur un groupe de personnes et permettent d'observer certaines généralités relevées dans le tableau suivant (Fig.4.2.2)[73]..

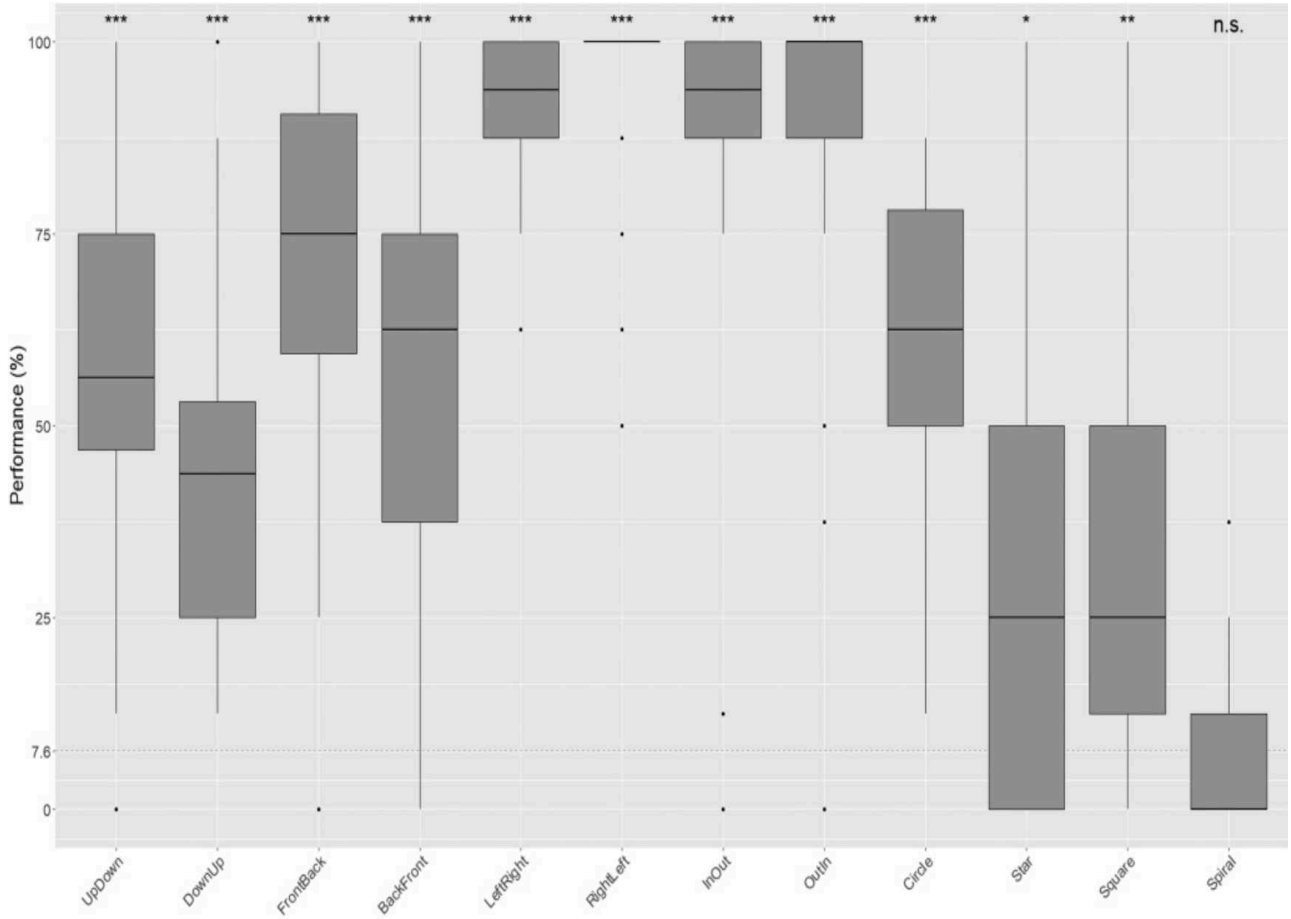


Fig.4.2.2 Généralités observées sur la reconnaissance du déplacement d'une source ponctuelle selon le type de trajectoire. Les 12 colonnes représentent 12 trajectoires (de haut en bas, de bas en haut, d'avant en l'arrière, d'arrière en l'avant, de gauche à droite, de droite à gauche, de l'intérieur à l'extérieur, de l'extérieur à l'intérieur, en cercle, en étoile, en carré, en spirale), dans lesquelles chaque bloc indique un seuil minimum et maximum de réponses correctes de la part des participants. Les figures géométriques complexes (étoile, carrée, spirale) semblent très peu reconaissables. Les trajectoire verticales le sont moyennement. La figure du cercle et les déplacements dans la profondeur sont assez bien reconnus. Les déplacements vers l'intérieur, l'extérieur, la droite et la gauche, sont très facilement identifiables. Certaines asymétries sont observables dans chaque dimension : les déplacements de vers le bas sont mieux reconnus que les vers le haut, les déplacements vers l'arrière s'entendent plus facilement que vers l'avant, et la reconnaissance des déplacements vers la gauche présente une marge d'erreur nulle alors qu'elle semble plus incertaine vers la droite. Figure tirée de l'article cité ci-dessous, p.86.

[73] Schumacher Federico, Espinoza Vicente. Mardones Francisca, Vergara Rodrigo, Alberto Valentina, Aránguiz Aguilera, « Perceptual recognition of trajectories in space, Methods, Statistical analysis, Results », *Computer Music Journal*, 2022, Massachusetts Institute of Technology, p. 47.

> « Nous pouvons observer que certaines capacités ont eu des résultats plus consistants et un pourcentage supérieur de réponses correctes, comme de gauche à droite, de droite à gauche, de l'intérieur à l'extérieur et de l'extérieur à l'intérieur. D'un autre côté, certaines catégories, comme de haut en bas et de bas en haut, ont eu de basses performances dans l'ensemble (…). Dans le cas de haut en bas, 50% des participants ont eu 50 à 75% de réponses correctes (…). De bas en haut a eu une performance encore plus basse, et aucun des participants n'était en mesure de l'identifier à 100% du temps. D'avant en arrière, la performance était supérieure aux deux catégories précédentes, avec la moitié des participants avec des scores de 60 à 80%. Par contraste, d'arrière en avant a eu une performance inférieure au précédent mouvement(…) [74]. »

L'opposition de phase permet de jouer en boucle chacune des 6 premières trajectoires, alors qu'elles se confondent par paires en son absence. D'autres généralités sont d'ailleurs observées dans les probables confusions entre les types de trajectoires quand deux d'entre elles sont symétriquement opposées :

> « (…)nous observons que chaque catégorie de trajectoire sonore tend à se corréler avec son mouvement inverse (quand il existe). Par exemple, haut-bas se corrèle avec bas-haut, avant-arrière avec arrière-avant, et gauche-droite avec droite gauche. (…) Intérieur-extérieur et et extérieur-intérieur (…) ne sont corrélés qu'à eux-mêmes, mais se corrèlent également à avant-arrière et arrière-avant[75]. »

L'orientation de l'octave spatiale dans le sens de la profondeur peut se confondre avec l'élévation alors que le système de diffusion est limité à la 2D. Dans la composition des espaces sonores paradoxaux, cette orientation est privilégiée car elle restitue le confort d'écoute des *dance-floors* monophoniques ou stéréophoniques où les instruments sonnent aux centre de l'espace. Sur un *dance-floor* ambisonique, la possible confusion entre les trajectoires favorise la perception de certains éléments musicaux comme occupant le centre de l'espace, notamment pour le *kick* et la *bassline*.

[74] Notre traduction de *ibidem,* p. 47.

[75] Notre traduction de *ibidem,* p. 48.

4.3 Comportement de l'annulation phase en ambisonie d'ordre supérieur

Le rôle de l'opposition de phase dans l'espace sonore paradoxal stéréophonique est globalement le même en ambisonie d'ordre supérieur, où il implique désormais une condition de symétrie dans la composition des espaces sonores paradoxaux, pour que l'effet de paradoxe obtenu en stéréophonie demeure audible.

En ambisonie d'ordre supérieur, tout espace complexe est élaboré par addition d'espaces simples, représentés par les formes cardioïdes des champs de captation de microphones virtuels. L'orientation des microphones virtuels est indiquée par un angle qui associe le canal de chaque microphone à une dimension spatiale. La source sonore peut ainsi être orientée dans l'espace par des traitements angulaires opérant dans le domaine multicanal des harmoniques sphériques, l'angle azimutal contrôle l'espace 2D, auquel vient s'ajouter l'angle d'élévation pour contrôler l'espace en 3D. En 2D, les canaux dont l'ordre est associé à la profondeur se nomment harmoniques négatifs, ceux où l'ordre est associé à la largeur se nomment harmoniques positifs. Les harmoniques négatifs et positifs sont regroupés par paires dans des degrés d'ambisonie, mesurés de 0 à *n* : plus ce nombre augmente, plus chaque ordre ambisonique se décompose en une somme importante d'harmoniques sphériques. En 3D, les harmoniques orientés dans le sens du zénith sont d'ordre 0 ; plus le degré n augmente, plus le nombre d'ordres s'accroît entre *-n* et *n* (Fig. 4.3.1)[76].

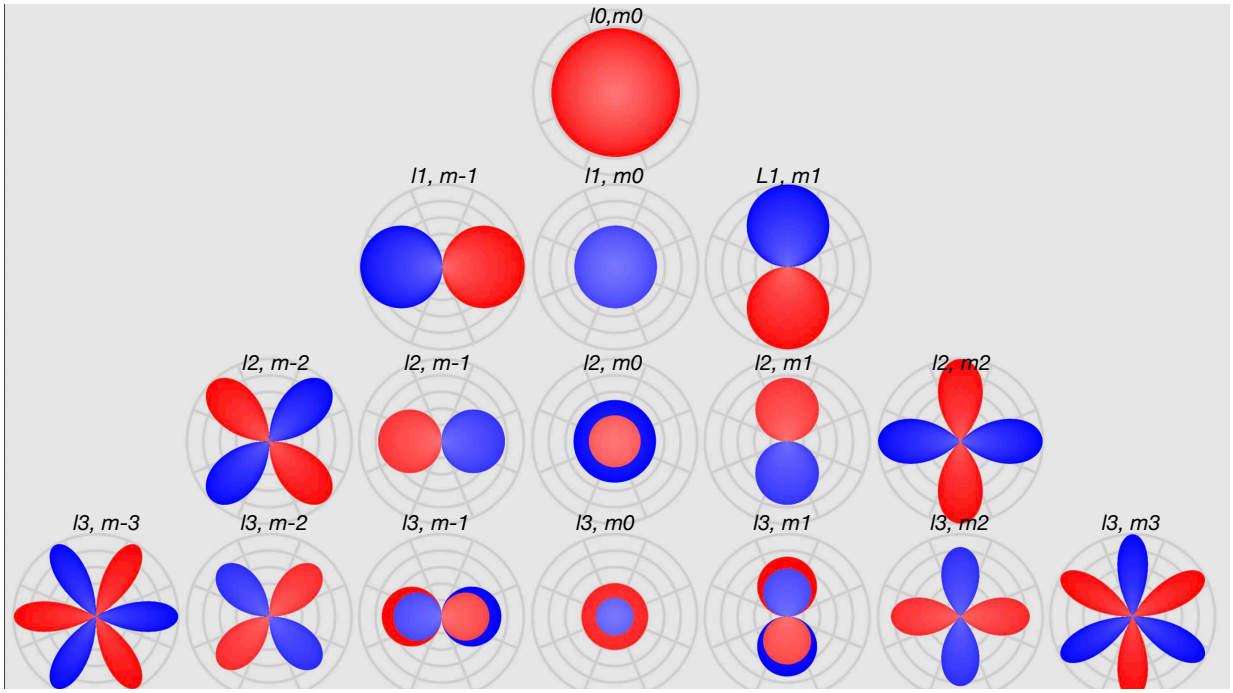


Fig. 4.3.1 Décomposition de l'espace sonore en harmoniques sphériques de degré *l* et d'ordre *m*, au le 3e ordre ambisonique.

[76] Guillot, Pierre. *La représentation intermédiaire et abstraite de l'espace comme outil de spatialisation du son*, Université Paris 8, 2017. 3.Outils logiciels. 3.2 Présentation des outils. Numérotation des canaux, p. 83.

Pour observer le comportement de l'annulation de phase entre deux sources sonores, deux signaux constants de valeurs absolues égales, l'un positif, l'autre négatif, sont traités dans deux domaines sphériques respectifs, où les sources sont diamétralement opposées sur l'azimut. Quand on mixe chaque canal du premier domaine sphérique avec son homologue du second domaine, la somme des signaux est alors nulle dans les degrés pairs (Fig. 4.3.2), car les harmoniques des ordres pairs ne contiennent que des valeurs soit positives, soit négatives, selon le domaine sphérique dont ils sont issus. Les harmoniques des degrés impairs contiennent à la fois des valeurs positives et négatives qui sont, elles, transmises en tant que différences spatiales. Ce résultat vient de l'orientation spatiale de chaque harmonique; dans les degrés pairs, l'espace se décompose en angles de nombre pair : les vecteurs sont traités par des valeurs angulaires entières qui les orientent toujours dans des paires de directions diamétralement opposées. Dans les degrés impairs, l'espace sonore se décompose en angles de nombre impair : les vecteurs sont traités par des valeurs angulaires semi-entières qui les orientent toujours selon un nombre impair de directions qui sont donc déphasées entre elles, mais jamais opposées.

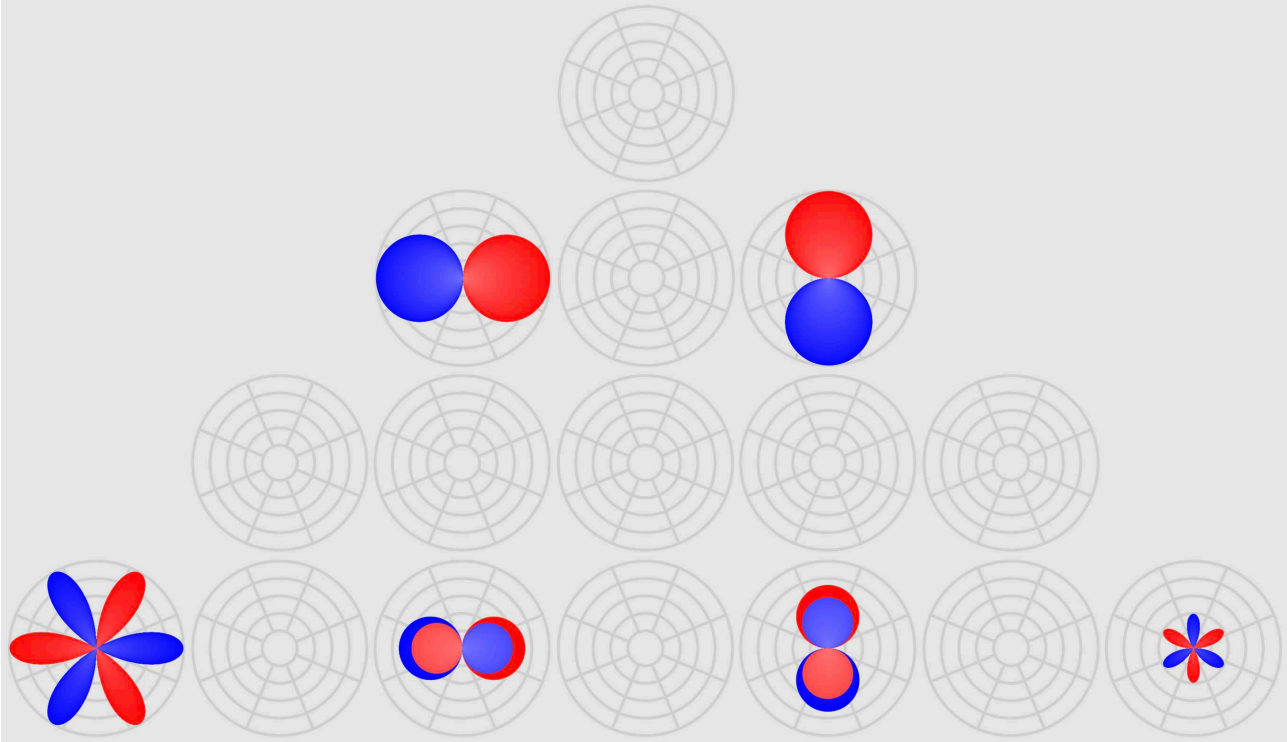


Fig. 4.3.2 Comportement de l'annulation de phase en ambisonie de 3e ordre.

Une variable module l'équilibre sonore entre les deux sources pour traiter les deux espaces sonores par un fondu enchaîné. Cette variable peut être linéaire ou exponentielle, selon le type de fondu enchaîné. Il est possible d'opérer un fondu enchaîné aux courbes exponentielles à partir d'une mesure angulaire supplémentaire à celles de l'azimut et du zénith. Ce nouvel angle commun aux deux sources est transformé en coordonnées cartésiennes : un sinus module le volume de la

première source, un cosinus module le volume de la seconde. Ce nouvel angle est donc une troisième dimension de l'espace sonore 2D, et une quatrième dimension de l'espace sonore 3D.
Ces variations de distance altèrent la constance de la dynamique des sons à laquelle est associée la constance du confort d'écoute du *live*, particulièrement pour le *kick* et la *bassline*. La courbure du fondu enchaîné joue sur ce confort d'écoute : un fondu enchaîné bref privilégié l'écoute de l'espace comme source ponctuelle au détriment de l'illusion de continuité entre les deux espaces sonores; un fondu enchaîné long privilégie la continuité entre deux espaces sonores sous forme d'un champ diffus, au détriment du caractère ponctuel des sources. Dans le domaine sphérique, la courbure du fondu enchaîné peut être déterminée par l'ordre ambisonique et devenir plus ou moins exponentielle dans chaque canal pour établir un autre format de fondu enchaîné. Ce format définit un champ de recherches exploré dans cette thèse pour améliorer le caractère opératoire des espaces sonores paradoxaux.

4.4 La réalisation des espaces sonores paradoxaux au format B

L'exploration de ce champ de recherches du domaine ouvert par l'addition des deux domaines sphériques commence par la question de leur décodage en ondes planes. L'opération de décodage discrétise l'espace du domaine sphérique en un polyèdre régulier dont chaque angle correspond à un haut-parleur : la régularité du polyèdre peut être variée en changeant l'angle correspondant à l'orientation de chaque haut-parleur, afin de coïncider avec la disposition du système de diffusion.
Si les deux domaines sphériques sont décodés en ondes planes, le nombre de haut-parleurs virtuels est dupliqué. Cette duplication est la conséquence de la discrétisation des deux espaces sphériques en deux polyèdres : une valeur angulaire supplémentaire pourrait les différencier ou les faire fusionner, mais l'orientation de cet angle ne correspond à aucune dimension de l'espace 3D du système de diffusion (Fig. 4.4.1).

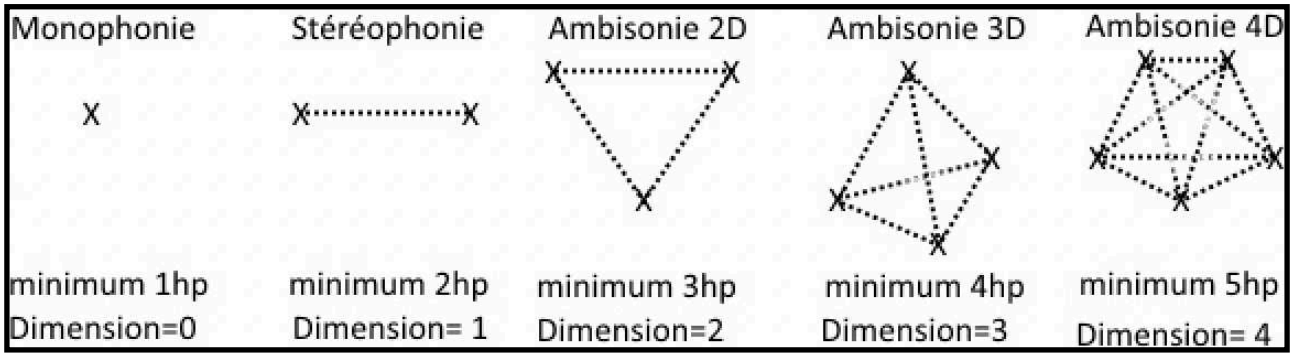


Fig. 4.4.1 Dans un système fictif de diffusion ambisonique 4D, les haut-parleurs sont orientés selon 4 dimensions. Le nombre impair du minimum d'angles illustre l'impossibilité de faire coïncider ce système de diffusion avec notre monde en 3D, mais un nombre pair d'angles aux orientations symétriques permet de regrouper les haut-parleurs virtuels deux par deux pour une diffusion en 2D ou 3D.

Chaque angle des deux polyèdres, s'ils ne devaient constituer qu'une seule figure géométrique, serait relié aux autres angles par quatre dimensions de l'espace : il s'agit d'un hyper-polyèdre, une figure géométrique en 4D (Fig. 4.4.2, 4.4.3).

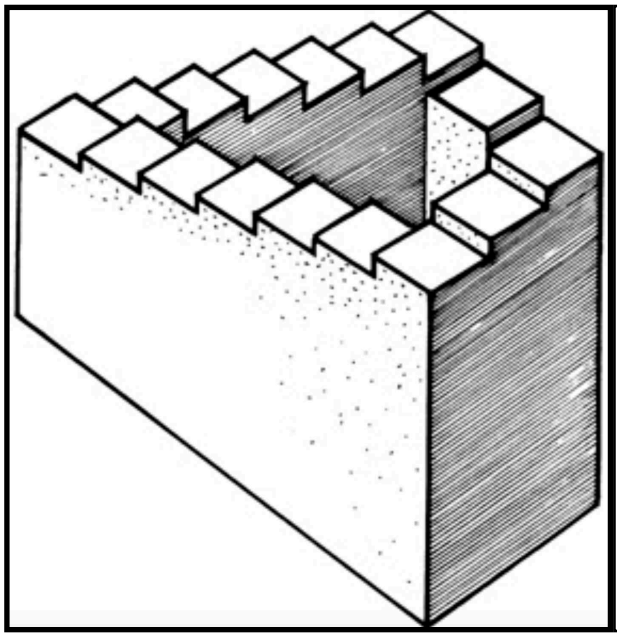


Fig. 4.4.2 L'escalier de Penrose, est une possible représentation spatiale de la discrétisation du paradoxe sur la hauteur : dans cette verticalité paradoxale, il est impossible de dissocier le haut du bas, tout comme dans la disposition des haut-parleurs en ambisonie 4D (2.1.4.1), où le paradoxe s'applique également sur les 3 dimensions. Image issue de l'article de Risset, Jean-Claude, « Hauteur et timbre des sons », *op. cit.* (§ Hauteurs des sons / Paradoxes de hauteur).

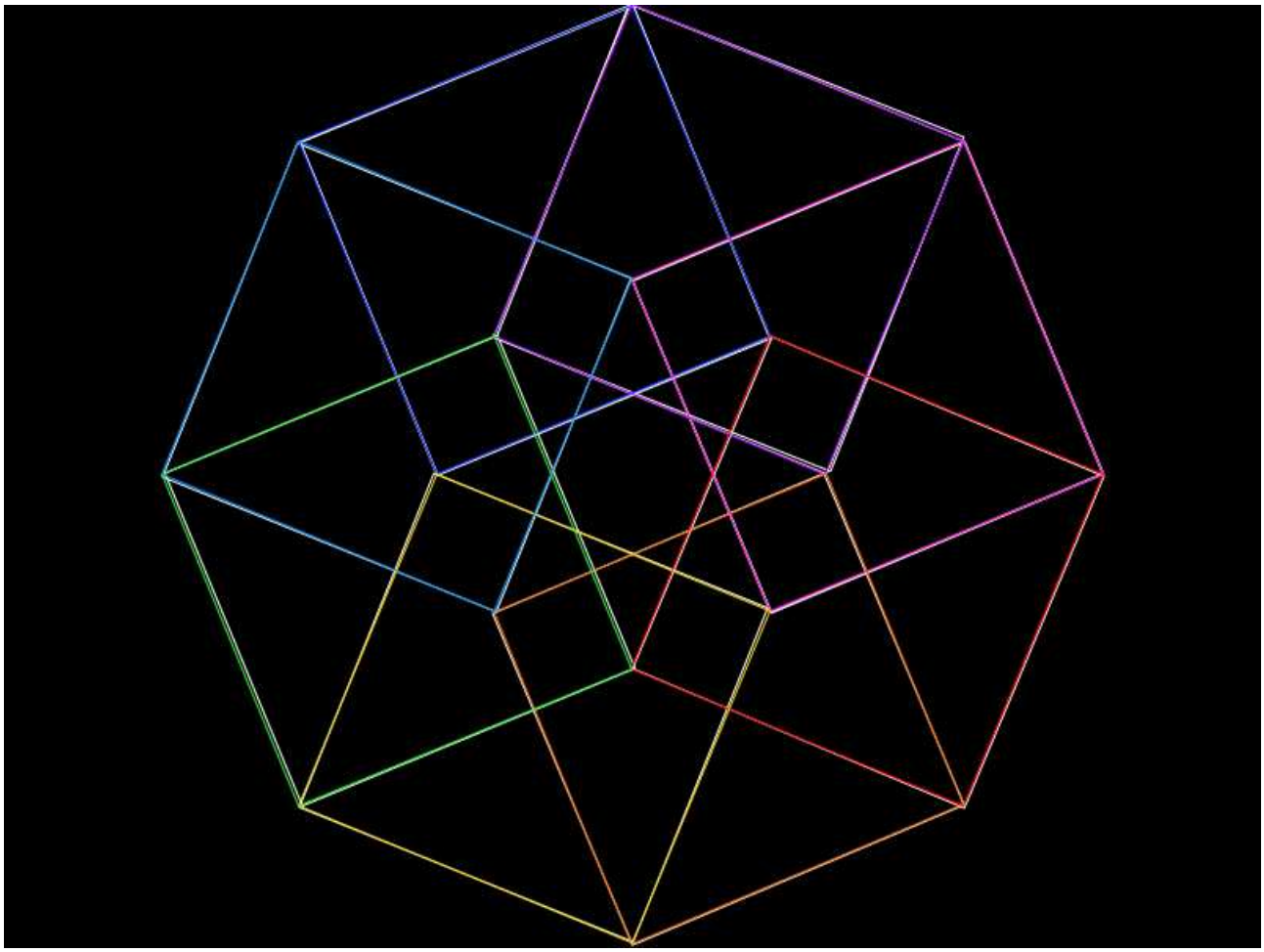


Fig.4.4.3 L'hypercube est constitué par deux cubes, liés par tous les angles : il est ici représenté selon ses six rotations possibles. Voir également les épisodes 2 et 3 du documentaire Dimensions, réalisé par Jos Leys, Étienne Ghys et Aurélien Alvarez, Creative commons, 2008.

Un système de diffusion hypercubique n'est pas envisageable dans notre monde en 3D, mais si un hyper-polyèdre peut être obtenu par duplication de la discrétisation du domaine sphérique lors de la double opération de décodage, il peut également être obtenu en discrétisant un espace hypersphérique par une seule opération de décodage, mais cette fois avec des angles 3D qui permettent sa diffusion dans notre monde en 3D.

Le format B est là la fois une opération d'encodage et de décodage au premier ordre ambisonique, destinée à être diffusée soit en quadriphonie carrée pour la 2D soit en octophonie cubique pour la 3D[77]. Pour composer un espace sonore paradoxal au format B, il faut le dupliquer et appliquer un fondu enchaîné entre les deux formats B : le nombre d'enceintes virtuelles est alors multiplié par 2, chacun des 4 ou 8 canaux du premier format B est donc mixé avec les 4 ou 8 autres du second format B. Avec deux formats B en 3D octophonique, la figure géométrique ressemble donc à un cube, mais c'est un hypercube dont les angles sont orientés de manière symétrique, et qui peut donc facilement être projeté dans un espace 3D : ce qui est en arrière pour une source est en avant pour l'autre, ce qui est à gauche pour l'une est à droite pour l'autre, ce qui est en bas pour l'une est en haut pour l'autre. (Fig.4.4.4, 4.4.5)

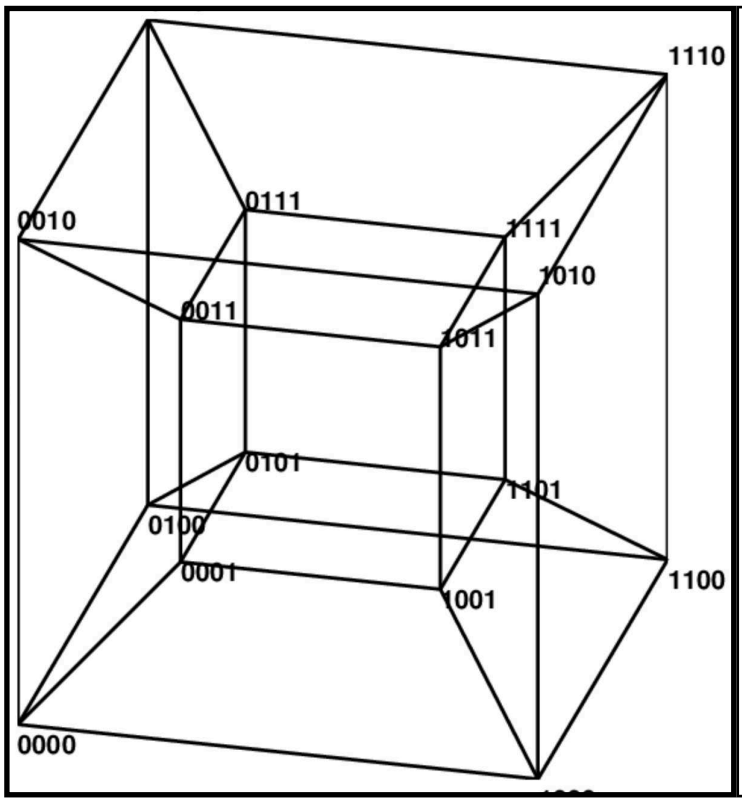


Fig.4.4.4 Un hypercube construit avec deux cubes symétriques de même volume. La différence apparente de volume entre les cubes est la projection 3D d'une orientation angulaire dans la 4e dimension. Les trapèzes qui relient les deux cubes sont des carrés déformés par la 4D : tous les angles sont droits et leurs côtés égaux. L'orientation symétrique des angles 4D est exprimée par une de suite de 0 et de 1 opposée entre les angles symétriques . Cette orientation permet de projeter l'hypercube sur un système de diffusion en octophonie cubique centre de laquelle l'auditeur est placé. (Image prélevée à partir du document de Lobo, José et Macready, William, *Landscape : a natural extension of Search Theory*, p. 9.

[77] Les objets *ambipan~* et *ambicube~* peuvent être téléchargés à l'adresse : https://cicm.univ-paris8.fr/

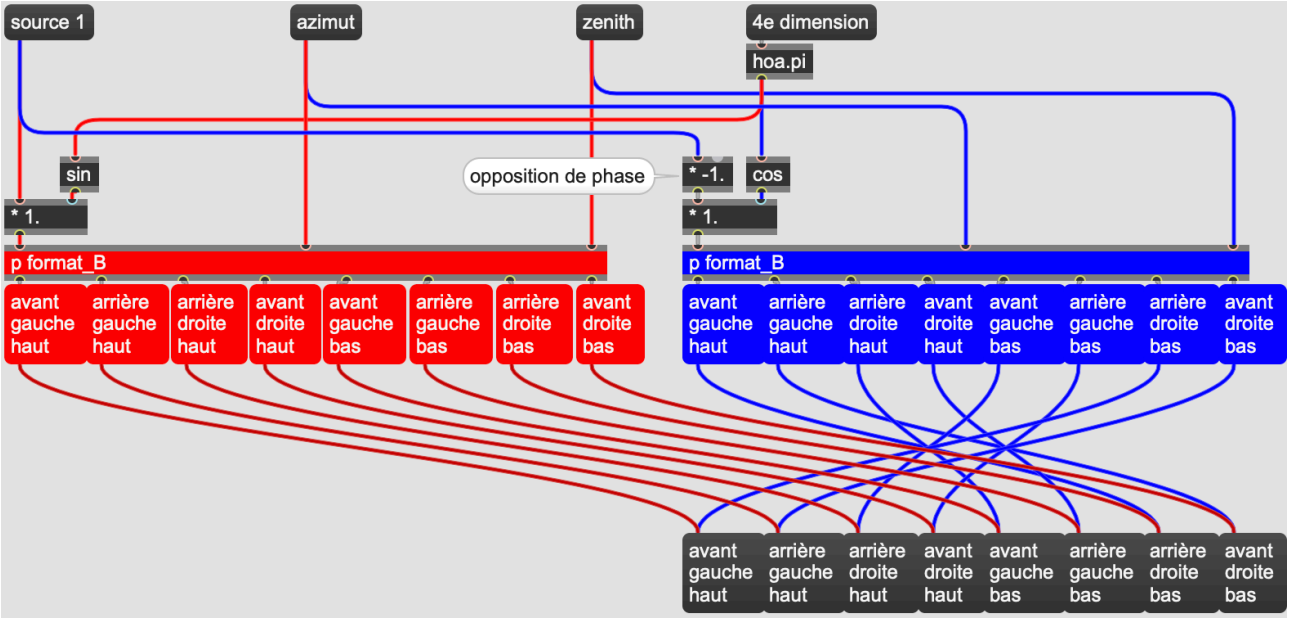


Fig.4.4.5 Projection de deux octophonies cubiques symétriques virtuelles vers un seul système de diffusion octophonique cubique.

La variable qui détermine le fondu enchaîné intervient entre deux espaces symétriquement superposés dans un hyperespace où elle devient un paramètre dimensionnel supplémentaire, une sorte de quatrième dimension. L'expression de cette dimension en coordonnées cartésiennes pose la question du nombre de dimensions supplémentaires contenues dans cette variable. Si j'associe chaque dimension à une coordonnée cartésienne, je peux réaliser le fondu enchaîné avec une seule coordonnée dont la valeur serait inversée entre les deux espaces sonores. Je suis alors limité à un fondu enchaîné linéaire, car toute courbure sur ce traitement entraîne une asymétrie temporelle où il ne joue plus entre un *crescendo* et un *decrescendo* de mêmes durées, ce qui nuit au caractère opératoire de l'espace sonore paradoxal. Si je produis un fondu enchaîné avec, pour un même angle, deux coordonnées cartésiennes déphasées comme celles de l'azimut, je peux obtenir un fondu enchaîné courbé, mais la question du nombre de dimensions supplémentaires se pose si l'on considère ces deux coordonnées cartésiennes comme deux dimensions supplémentaires, ou si elle se regroupent dans une seule dimension déterminée par un angle, tout comme l'azimut.

En ambisonie d'ordre supérieur, les opérations d'encodage et de décodage sont distinctes et les traitements qui peuvent dès lors intervenir entre les deux opérations opèrent dans le domaine des ondes sphériques. Les ondes du domaine sphérique ont la forme cardioïde du champ de captations de microphones virtuels. Les variations sur l'azimut et le zénith interviennent comme variables dans le domaine sphérique. Si les angles de l'azimut et du zénith du premier domaine sphérique sont toujours symétriques aux angles du second, les deux domaines peuvent dès lors être décodés par une seule opération qui permet alors leur diffusion sur un *dance-floor* 3D.

La symétrie entre les deux espaces sphériques peut être décodée en 2D ou 3D, dans une opération qui discrétise les deux espaces en un seul polyèdre régulier. La symétrie entre les deux espaces impose la régularité du polyèdre mais aussi un nombre d'angles pair. Les espaces sonores paradoxaux sont donc composés pour être diffusés selon un nombre pair de haut-parleurs régulièrement répartis dans l'espace. Cette régularité et cette parité dans le système de diffusion déterminent une acoustique du *dance-floor* où l'opposition de phase entre les deux espaces sphériques est projetée entre des haut-parleurs opposés : les ondes s'annulent de manière symétrique par rapport à une droite perpendiculaire aux enceintes, qui jouent en phases opposées. Si le nombre d'enceintes est impair, les ondes diffusées s'opposent de manière asymétrique et se déphasent dans le *sweet-spot* (Fig.4.4.6).

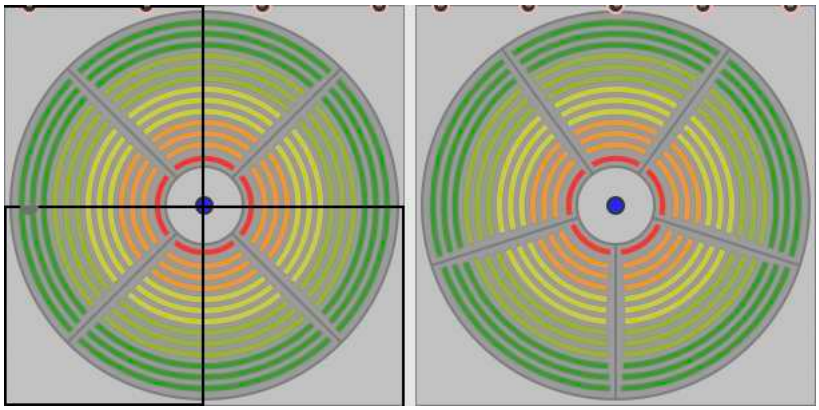


Fig.4.4.6 Sur la gauche, le nombre pair de haut-parleurs permet aux oppositions de phase de conserver leur caractère symétrique quand elles se rencontrent sur le dance-floor. Sur la droite, les oppositions de phases se rencontrent de manière asymétrique.

La qualité du fondu enchaîné entre les deux espaces symétriques est meilleure si l'opposition de phase a lieu entre des enceintes opposées sur le *dance-floor* car le fondu enchaîné traite des sources ponctuelles, dont chacune a une énergie et une vélocité constamment synchrones quand le système de diffusion est une quadriphonie carrée. Un nombre supérieur pair de haut-parleurs met plus en valeur le champs diffus, la synchronisation entre l'énergie et la vélocité n'est alors plus constante, mais périodique.

Le fondu enchaîné interpole deux domaines sphériques comprenant chacun un angle azimutal et un angle d'élévation. Si la variable qui détermine le fondu enchaîné est un paramètre dimensionnel supplémentaire, elle doit intervenir entre les domaines sphériques comme un angle au même titre que l'azimut et le zénith, et donc être différemment traitée selon l'ordre ambisonique. Si les ondes planes conservent l'information contenue dans les ondes sphériques, elles doivent pouvoir conserver l'information contenue dans des ondes hypersphériques.

En géométrie, une sphère définie par plus de quatre coordonnées cartésiennes devient une hypersphère : le nombre de dimensions supplémentaires peut être mathématiquement infini. Ces coordonnées cartésiennes peuvent être exprimées en coordonnées hypersphériques. Dans son article *Hyperspherical harmonics with arbitrary arguments*, A.V. Meremianin part de la géométrie de l'hypersphère de dimension *n* en coordonnées cartésiennes pour aboutir à des formules d'harmoniques hypersphériques de 2D à 6D (notés *HSH* pour « Hyper-Spherical Harmonics »). Ces harmoniques hypersphériques peuvent être paramétrés d'après différents nombres de vecteurs. Selon ce nombre de vecteurs, plusieurs angles exprimables en une ou plusieurs coordonnées cartésiennes peuvent chacun orienter l'hypersphère dans une dimension supplémentaire qui leur est propre. Les coordonnées cartésiennes utilisées pour composer un espace sonore paradoxal au format B correspondent à l'hypersphère de *type sphère S3(ref)*. L'hypersphère de type *sphère S3* est constituée de deux sphères liées entre elles par une infinité d'autres sphères. Cette figure hyper-géométrique peut tourner dans plusieurs sens en même temps, selon un nombre infini d'angles de rotation (Fig.4.4.7).

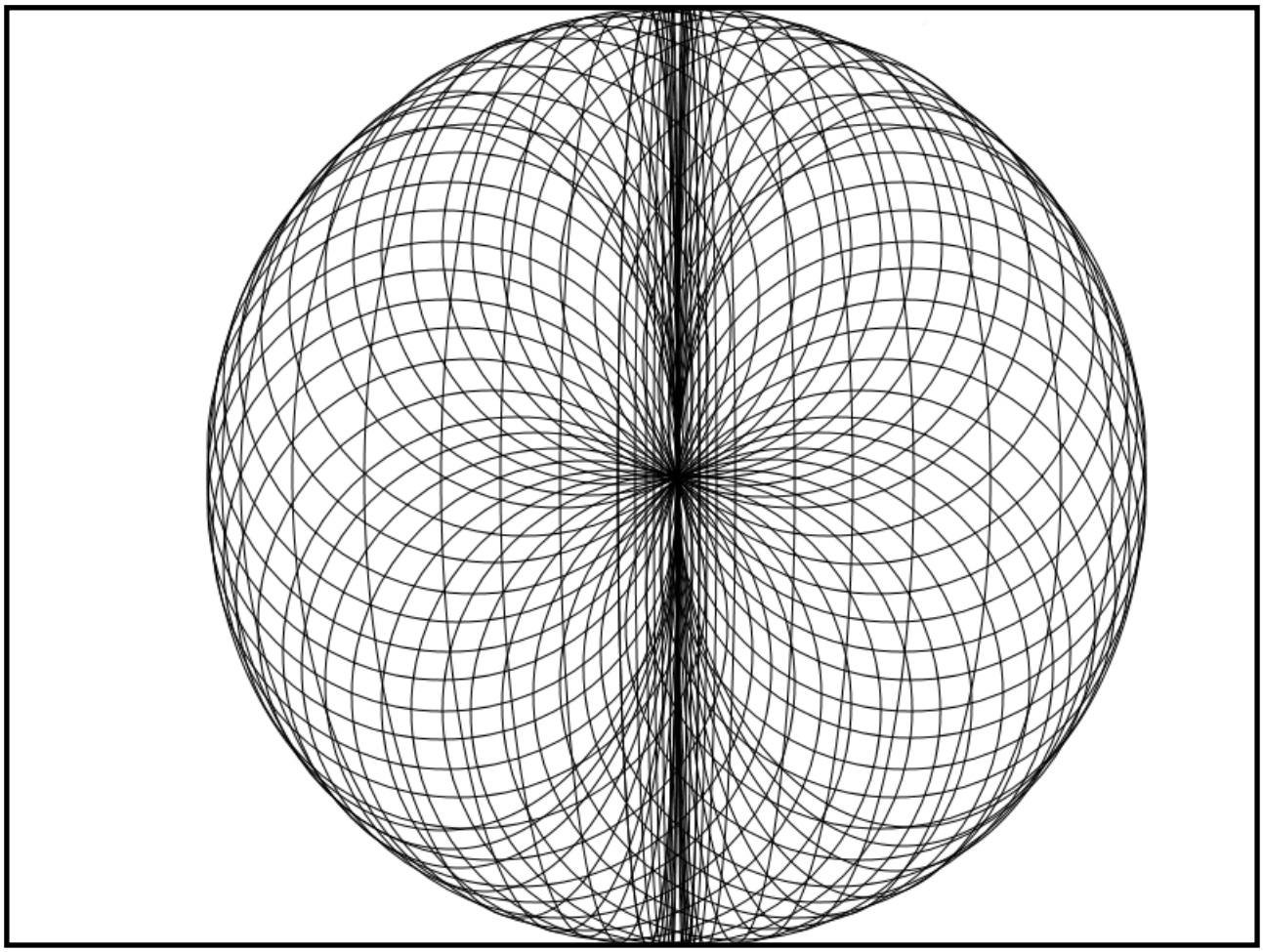


Fig.4.4.7 Ma représentation de l'hypersphère: le rayon devient la circonférence, la circonférence devient la surface, la surface devient le volume, qui devient un volume de l'hyperespace. La courbure du rayon oriente l'approche de la distance comme paramètre angulaire de dimension 4.

En limitant l'hypersphère à deux angles de rotation symétriques, on peut imaginer une source sonore qui se rapproche en suivant une direction tout en s'éloignant dans la direction opposée, comme c'est le cas dans les espaces sonores paradoxaux. A. V. Meremianin considère les harmoniques circulaires et sphériques comme des harmoniques hypersphériques de dimension moindre, tout comme P. Guillot considère les harmoniques circulaires comme des harmoniques sphériques « tronqués ». Le même modèle mathématique 2D et 3D s'applique dans les deux disciplines, il est donc possible d'entendre et d'étudier le résultat sonore quand les modèles 4D et 6D traitent une source en ambisonie d'ordre supérieur. Ce résultat peut être compris en prenant en compte le contexte quantique où sont utilisés les harmoniques hypersphériques.

Les modèles mathématiques des harmoniques sphériques et hypersphériques sont utilisés dans différentes disciplines comme la physique quantique, la cosmologie, la cristallographie, mais aussi en musique. La musique semble isolée à côté de ces disciplines qui se complètent et s'imbriquent souvent. Mais par son caractère « indisciplinaire », elle peut facilement s'approprier ce qui relève d'une discipline étrangère, en y puisant non seulement une inspiration poétique mais également les moyens poïétiques de sa réalisation.

Quand je compose des espaces sonores paradoxaux, je cherche à exprimer une forme de poésie de l'espace sonore des teknivals. La symétrie des sources liée au temps périodique des rythmes constitue une sorte de rime spatiale entre les phrases musicales, donc un moyen poïétique d'exprimer une poésie de l'espace sonore.

5. LES HARMONIQUES HYPERSPHÉRIQUES DANS L'AMBISONIE D'ORDRE SUPÉRIEUR

Les harmoniques hypersphériques fournissent un moyen de simuler les mouvements d'une position d'écoute à l'intersection des champs de diffusion de deux sound-systems distants. Chaque champ de diffusion est une forme d'onde, et la position d'écoute est entouré d'un champ de captation en forme d'onde. L'interaction entre ces trois formes d'ondes constitue un système à 3 corps.

Les harmoniques hypersphériques sont utilisés pour étudier des systèmes quantiques à 3 corps. Les trois particules ont un comportement ondulatoire : j'extrais le modèle des harmoniques hypersphériques du contexte des ondes de probabilités pour m'en servir comme traitement sur des ondes sonores.

La production du paradoxe sur l'espace sonore simule l'interaction entre ces trois ondes, l'une d'elle étant associée à la position d'écoute en mouvement : cette onde est comme le champ de captation d'un microphone. Pour pouvoir être entendus depuis une position d'écoute réelle sur un *dance-floor* ambisonique, les mouvements de la position d'écoute virtuelle sont reportés sur les dynamiques des deux autres formes d'ondes, comme si c'étaient les *sound-systems* qui se

déplaçaient autour de la position d'écoute. Le mouvement reporté depuis la position d'écoute est différent sur chacune des autres ondes : l'une s'éloigne, l'autre s'approche. Chacune des trois formes d'ondes est sphérique : pendant le report du mouvement, les trois dimensions de l'espace d'écoute se superposent alors aux trois dimensions dimensions des deux espaces sonores. Cette superposition dimensionnelle constitue un hyperespace sonore. Le fondu-enchaîné, hérité des sons paradoxaux de J.-C. Risset, s'applique entre les sources dans les espaces sonores paradoxaux, et procure l'illusion de distance. Pour composer ce fondu enchaîné, les harmoniques hypersphériques fournissent un outil qui transforme la notion de distance en orientation dans une dimension hors de l'espace 3D, dans l'hyperespace sonore.

5.1 Contexte des hyper-noyaux

Le modèle des harmoniques hypersphériques est utilisé en recherche nucléaire dans l'étude de la matière exotique, et plus particulièrement des hyper-noyaux[78]. Cette matière n'existe pas sur terre sans intervention humaine, mais est parfois présente dans le reste de l'univers. Elle présente des états de la matière particulièrement rares et singulières, comme par exemple l'eau exotique détectée sur des exoplanètes qui demeure gelée à une température supérieure à 100° Celsius, ou le Condensat de Bose-Enstein qui demeure liquide à une température proche de 0° Kelvin. Ces états de la matière résultent de l'organisation périodique ou apériodique des atomes et des particules dans l'espace, et cette organisation me sert de modèle pour composer l'espace sonore. Les hyper-noyaux, ou hypérons, sont présents dans les atomes de certaines matières exotiques. Un noyau atomique ordinaire est composé de deux type de nucléons, les neutrons et les protons, eux-mêmes composés de *quarks* (Fig.5.1.1).

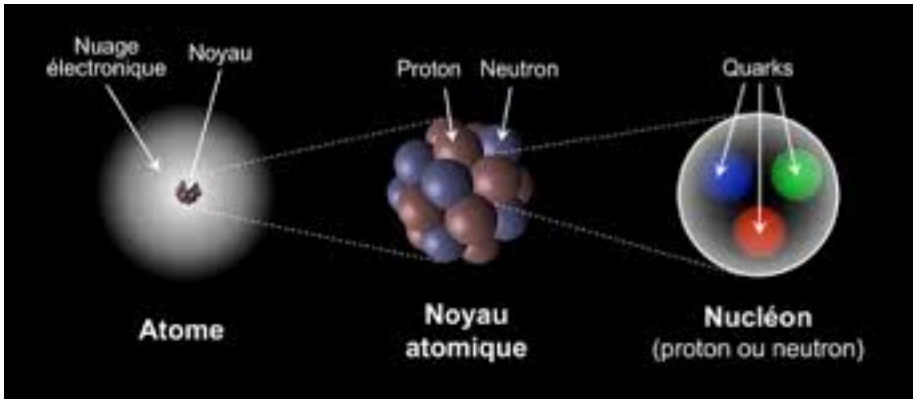


Fig.5.1.1 Décomposition d'un atome de matière ordinaire. Image tirée du document de Valeur, Bernard. « Le confinement de la couleur et la saga des quarks », blog Questions de couleurs, https://questionsdecouleur.wordpress.com/2020/04/30/le-confinement-de-la-couleur-et-la-saga-des-quarks/

[78] Meremianin, Alexei V., « Hyperspherical harmonics with arbitrary arguments », *Journal of Mathematical Physics*, 50, 2009, 013526.

Selon leur masse, les quarks sont classés en différentes paires de *saveurs* : les nucléons sont composés de 3 quarks parmi *haut* et *bas*, les hypérons peuvent contenir eux, 3 quarks parmi *haut* et *bas,* mais aussi *étrange* et *charme,* ou *sommet* et *beauté* (Fig. 5.1.2, p. 91, et Fig.5.2.8, p. 95).

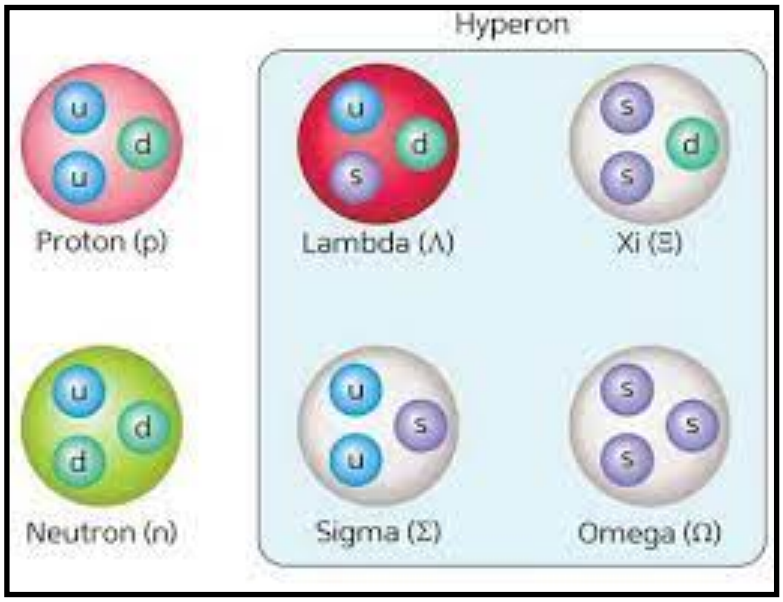


Fig. 5.1.2 Nucléons et hypérons se différencient par la saveur des quarks qui les composent. Image consultée sur le site https://www.ictp-saifr.org/wp-content/uploads/2019/03/Tord-Johansson_compressed.pdf

Le comportement des groupes de 3 quarks fonctionne selon la mécanique de l'interaction nucléaire forte, et détermine la présence d'hyper-noyaux. Plus une particule est massive, plus elle est instable : les quarks de saveurs plus massives contenus dans les hypérons rendent la matière exotique rare et instable. La saveur des quarks est relative à leur quantité de mouvement, mesurée dans l'équation de Schrödinger utilisée par Benjamin Fuks pour décomposer des hyper-noyaux en harmoniques hypersphériques[79]. À l'échelle quantique, les variations de distance ou d'orientation ont lieu dans un espace décomposé en harmoniques sphériques. Les coordonnées sphériques de chaque corps dépendent des coordonnées des deux autres (Fig 5.1.3).

[79] Fuks, Benjamin, *Résolution de l'équation de Schrödinger à 3 corps par la méthode des coordonnées hypersphériques*, Laboratoire de physique subatomique et de cosmologie de Grenoble, dir. Pr. Baye Daniel, Pr. Descouvemont, Pierre, 5 octobre 2004. https://lpsc-indico.in2p3.fr/event/2207/attachments/3483/4746/HHMseminar.pdf

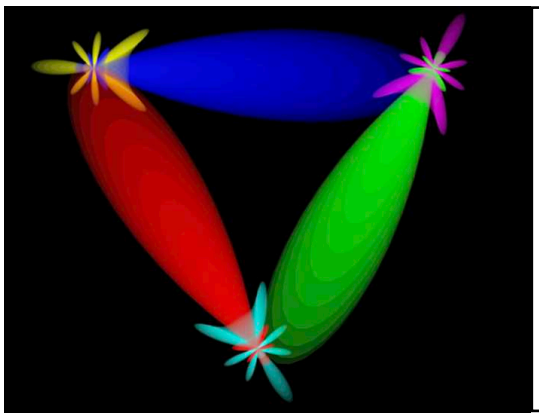


Fig. 5.1.3 La quantité de mouvement des 3 quarks en interaction constitue un système quantique à 3 corps. L'approche de ce système demande de réordonner les coordonnées spatiales de chaque corps dans un hyperespace composé par la somme de leurs coordonnées.

5.2 Le centre de masse dans les systèmes quantiques à 3 corps

Les quarks n'ont pas de charge entière : les quarks *haut, étrange* et *sommet* ont chacun 2/3 de charge positive, les quarks *bas, charme et beauté* ont chacun 1/3 de charge négative. Un groupe de 3 quarks *haut, haut, bas,* définit la charge positive entière du proton, un groupe de 3 quarks *bas, bas, haut,* définit la charge nulle du neutron. La charge incomplète d'un quark est symbolisée par une *couleur* de charge ; cette couleur ne renvoie à aucun phénomène visible mais à une propriété du quark : la somme des couleurs des 3 quarks, un rouge, un vert et un bleu définit une charge entière (Fig. 5.2.1[80]).

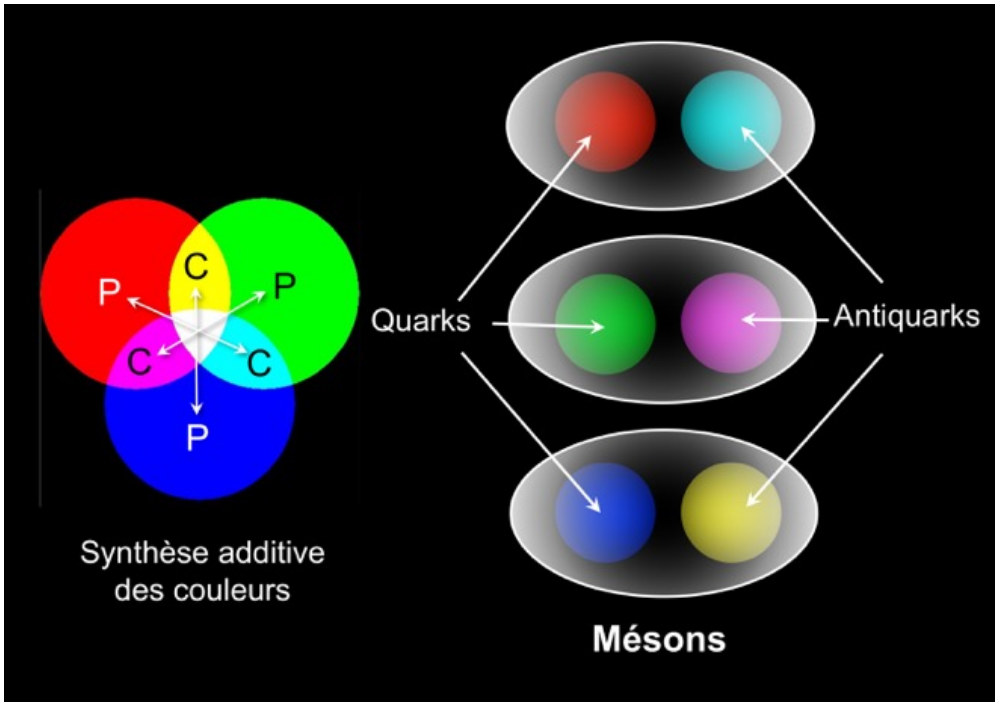


Fig. 5.2.1 Dans un hadron, les gluons transmettent entre les quarks l'information de la couleur de charge. L'information est complétée par une autre, de couleur opposée, pour que toute valeur de charge soit neutralisée dans le gluon. Ces informations de couleurs opposées sont conservées quand le gluon se transforme en paire quark/anti-quark, ou méson. Image issue du document de Bernard Valeur cité dans la figure 5.1.1, p.90.

[80] Valeur, Bernard. *op cit*..

L'échange de la couleur de charge entre les 3 quarks assure l'équilibre de chaque hadron présent dans un noyau, et constitue la *chromodynamique* de l'interaction nucléaire forte. Pour se stabiliser, un premier quark reçoit la couleur de charge d'un second quark, transmise par un un gluon, et transmet par un autre gluon sa couleur de charge destinée au troisième quark : l'opération est simultanée pour les 3 quarks. L'interaction nucléaire forte stabilise la quantité de mouvement des 3 quarks en les reliant par cette mécanique élastique de l'échange de gluons (Fig. 5.2.2).

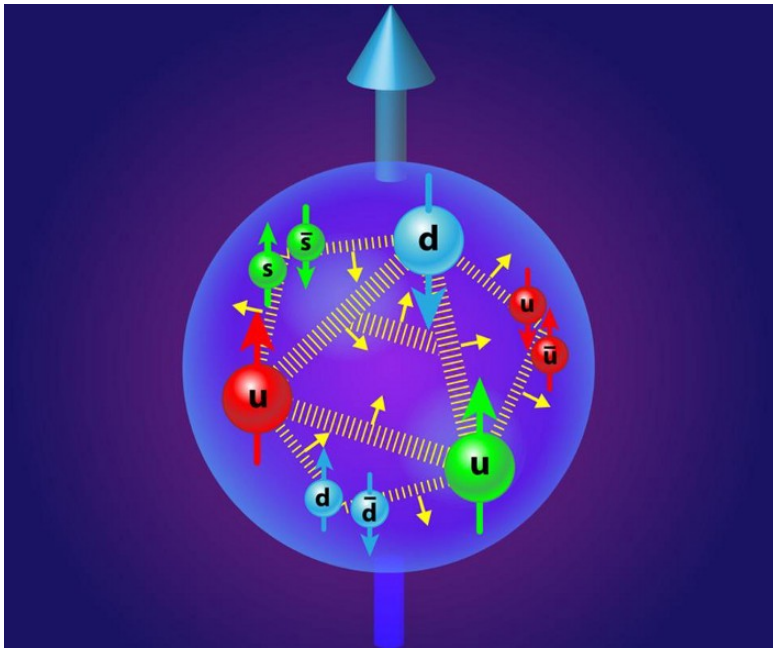


Fig. 5.2.2 Échange de gluons entre quarks dans un proton. Les gluons peuvent se transformer en mésons, des paires de quark/antiquark aux saveurs parfois plus exotiques comme la paire étrange/anti-étrange, représentée en vert. Image consultée sur le site https://bigthink.com/starts-with-a-bang/why-8-types-gluon/

Chacun des 3 quarks est étudié selon son interaction nucléaire forte avec les deux autres. La méthode des harmoniques hypersphériques simplifie l'approche des systèmes quantiques à 3 corps : le quark étudié est considéré comme immobile, mais sa quantité de mouvement est reportée sur celle des deux quarks mobiles. Ce report s'exprime mathématiquement par les vecteurs de Jacobi (Fig.5.2.3, 5.2.4, 5.2.5, 5.2.6).

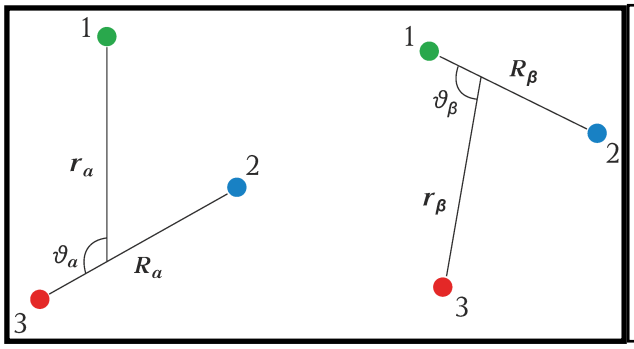


Fig.5.2.3 Deux exemples de vecteurs de Jacobi. Un premier vecteur *r* détermine l'orientation d'un premier corps mobile par rapport au corps immobilisé (en vert à gauche, en rouge à droite). Un second vecteur *R* détermine l'orientation du second corps mobile par rapport au premier vecteur *r*, selon l hyperangle θ. L'origine de l'hyperangle désigne le centre de masse. Image produite à partir de calques réalisés sur un document qui n'est plus disponible

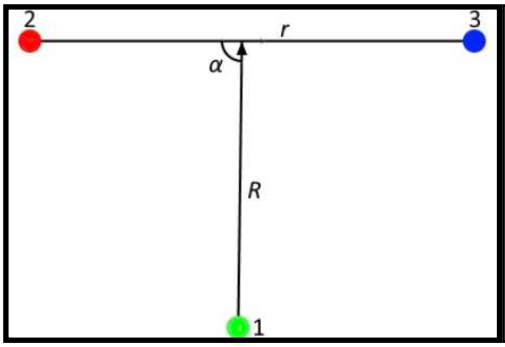


Fig.5.2.4 Les deux corps en mouvement (notés 2 et 3) sont symétriques au vecteur *R*. Les deux vecteurs *R* et *r* sont alors perpendiculaires. Cet état des vecteurs représentent un état du fondu enchaîné où les deux sources sonores en opposition de phase sont symétriques.

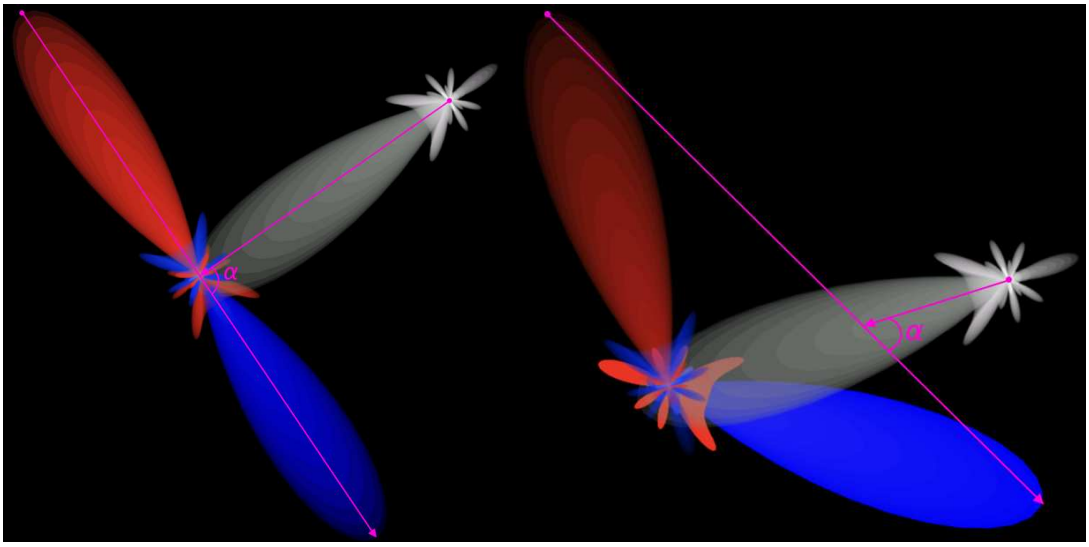


Fig.5.2.5 Représentation en harmoniques hypersphériques de la projection des mouvements du corps retenu en inertie sur les mouvements des deux autres corps.

Fig.5.2.6 Représentation de la projection avec une asymétrie entre les distances et les orientations des 3 corps.

Ces vecteurs sont calculés depuis une coordonnée qui leur est commune et qui prend désormais le nom de *centre de masse*. Le rôle du centre de masse est analogue à un centre de gravité, mais la gravitation est ici remplacée par l'interaction nucléaire forte. L'approche des systèmes à 3 corps est ainsi simplifiée et rend même possible l'étude des hyper-noyaux comprenant des systèmes de plus de 3 corps (Fig. 5.2.7).

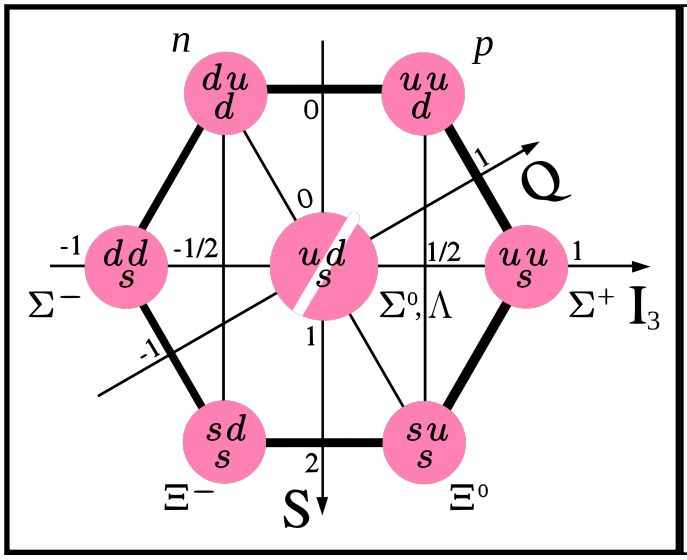


Fig. 5.2.7 Après l'étude des saveurs dans chaque trio de quarks par la méthode des harmoniques hypersphériques, le coeur d'un atome exotique peut être représenté en tant qu'octet, où sont ordonnés par masse et par charge : un hypéron Σ-, un hypéron Ξ-, un neutron *n*, un hypéron Σ°, un hypéron Λ, un hypéron Ξ°, un proton *p*, et un hypéron Σ+.
Image consultée sur le site https://johncarlosbaez.wordpress.com/2021/03/06/hypernuclei/

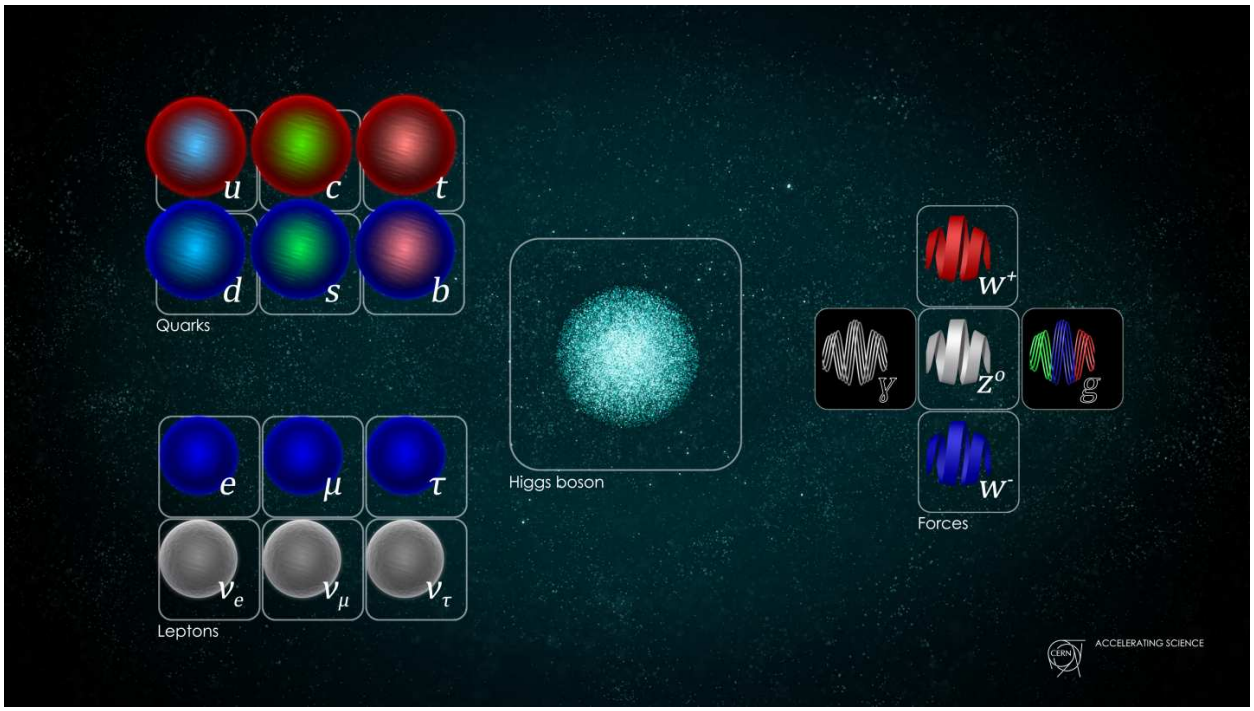


Fig.5.2.8 Dans cette représentation du modèle standard des particules, les antiparticules ne sont pas représentées. Leur présence double le nombre de fermions : chaque quark suppose un anti-quark, et chaque lepton suppose un anti lepton. Les bosons sont, quant à eux, leur propre antiparticule. (Image proposée par le CERN)

Les vecteurs de Jacobi reportent les mouvements du corps désigné comme centre de masse sur les mouvements des autres corps et simplifient l'approche des systèmes quantiques à trois corps. Le report peut être répété encore et encore pour décomposer des systèmes quantiques supérieurs à trois corps (Meremianin) déterminant les propriétés singulières des matières exotiques. Les états de cette matière sont déterminés par l'équilibre entre les organisations périodiques et apériodiques des atomes et particules dans l'espace.

Plus l'organisation est solide, plus la matière se solidifie et tend vers l'état de cristal. Plus l'organisation est apériodique, plus la matière se fluidifie et tend vers l'état de plasma, où une sorte de continuité s'établit entre les mouvements des particules, pourtant discrets. Cette organisation est

liée entre autres au temps et à la température : plus le froid temps vers 0° Kelvin, plus les particules ralentissent et s'organisent de manière périodique ; plus la chaleur augmente, plus les particules accélèrent et s'organisent de manière apériodique. D'autres facteurs, comme la pression exercée sur la matière, peuvent la transformer en matière exotique. La somme de ces facteurs me paraît trop importante et leurs propriétés trop singulières pour que je puisse les transcrire en musique, mais j'imagine que d'autres approches de la composition musicale peuvent amener à s'intéresser à ces facteurs. Seule l'organisation périodique et apériodique des particules dans l'espace et le temps me semble recomposable en musique, à condition de faire abstraction de l'échelle inaudible des événements quantiques pour la substituer par l'échelle audible des événements musicaux.
La métaphore que je peux imaginer entre l'état de l'espace sonore et l'état de la matière me pousse à chercher jusqu'à trouver une matière exotique dans laquelle l'organisation des particules dans l'espace et le temps semble présenter toutes les conditions requises pour constituer un modèle pertinent pour décrire et composer les espaces sonores paradoxaux.

En ambisonie d'ordre supérieur, la position des corps en mouvement définie par les vecteurs de Jacobi est celle des deux sources sonores sur lesquelles les mouvements de la position d'écoute sont reportés. Le centre de masse est le centre de l'espace sonore qui se déplace avec la position d'écoute, mais dont les mouvements sont reportés vers les deux sources sonores.
Dans les vecteurs de Jacobi, la position du centre de masse sur le premier vecteur est variable et peut se confondre soit avec le corps immobilisé, soit avec les corps en mouvement. Plus les corps en mouvement sont éloignés du corps immobilisé, plus le centre de masse peut également s'en éloigner. La mobilité du centre de masse exprime le report des mouvements du corps immobilisé sur les mouvements des deux autres corps. Le centre de masse contient à la fois une distance et une orientation du centre de l'espace sonore par rapport aux sources en mouvement. Plus les corps en mouvement s'éloignent, plus le centre de masse peut accompagner l'éloignement de l'un ou l'autre, selon l'orientation de son vecteur. Le report des mouvements de la position d'écoute vers le centre de masse peut donc s'écouter depuis une position fixe réelle, au centre d'un dispositif ambisonique.

5.3. L'hyperangle

Le report des mouvements de la position d'écoute sur la dynamique des sources a lieu lors du regroupement de toutes leurs coordonnées spatiales dans un *hypervecteur*. Plusieurs harmoniques hypersphériques peuvent être construits selon les coordonnées dimensionnelles regroupées dans l'hypervecteur: 1D+3D ou 2D+2D pour les harmoniques hypersphériques 4D, 2D+3D en 5D,

3D+3D ou 2D+2D+2D en 6D. Les hypervecteurs 2D+2D[81] et 3D+3D[82] semblent donc pouvoir être implémentés pour traiter un hyperespace sonore qui puisse être diffusé dans notre espace 3D (Fig.5.3.1, 5.3.2).

Avec l'ordre du premier domaine sphérique *m1*

l'ordre du second domaine sphérique *m2*

le degré du premier domaine sphérique *l1*

le degré du second domaine sphérique *l2*

le degré du domaine hypersphérique *J*

λ est égale à (*J*-m*1*-*m2*)/2 en 4D et (*J*-*l1*-*l2*)/2 en 6D. Dans les deux cas, seules les valeurs positives entières de λ interviennent dans les degrés ambisoniques pairs, les autres valeurs sont égales de λ sont égales à 0.

$$Y^J_{m_1 m_2}(\hat{\mathbf{R}}) = Y^J_{m_1 m_2}(\beta, \phi_1, \phi_2) = \frac{1}{\pi}\left[\frac{(J+1)\lambda\,!\,(\lambda+m_1+m_2)!}{2(\lambda+m_1)\,!\,(\lambda+m_2)!}\right]^{1/2} e^{i(m_1\phi_1+m_2\phi_2)} \times (\cos\beta)^{m_1}(\sin\beta)^{m_2} P_\lambda^{(m_2,m_1)}(\cos 2\beta),$$

Fig. 5.3.1 Formule des harmoniques hypersphériques 4D avec un hypervecteur 2D+2D. Les exposants des cosinus et sinus de l'hyperangle β indiquent deux degrés ambisoniques *m1* et *m2* possiblement différents, donc deux vecteurs *Φ1* et *Φ2* pour chacune des deux sources sonores. La présence de factorielles dans l'opération de normalisation 4D requiert beaucoup de puissance de calcul : l'ordre ambisonique est limité à 5.

$$Y^J_{l_1 m_1 l_2 m_2}(\alpha, \hat{\mathbf{r}}_1, \hat{\mathbf{r}}_2) = \left[\frac{2^{J+3}(J+2)\lambda\,!\,(\lambda+l_1+l_2+1)!}{\pi(J+l_1-l_2+1)\,!\,!\,(J-l_1+l_2+1)\,!\,!}\right]^{1/2} \times (\cos\alpha)^{l_1}(\sin\alpha)^{l_2} P_\lambda^{(l_2+1/2,l_1+1/2)}(\cos 2\alpha) Y_{l_1 m_1}(\hat{\mathbf{r}}_1) Y_{l_2 m_2}(\hat{\mathbf{r}}_2).$$

Fig. 5.3.2 Formule des harmoniques hypersphériques 6D avec un hypervecteur 3D+3D. Les exposants des cosinus et sinus de l'hyperangle α indiquent deux ordres ambisoniques *l1* et *l2*, donc deux vecteurs **r**1 et **r***2* pour chacune des deux sources sonores. La présence de doubles factorielles dans l'opération de normalisation 6D requiert encore plus de puissance de calcul qu'en 4D : l'ordre ambisonique est limité à 3.

En prenant comme origine le centre de masse, il est possible de construire une variable angulaire entre les deux vecteurs : c'est par cette variable que se compose le fondu enchaîné entre les sources déterminées par ces vecteurs; elle se nomme *hyperangle*.

La valeur de l'hyperangle varie selon l'ordre ambisonique. Dans les harmoniques hypersphériques 4D et 6D, le premier domaine sphérique est traité par le *sinus* de l'hyperangle, l'autre par le *cosinus*

---

[81] Meremianin, Alexei V, « Hyperspherical harmonics with arbitrary arguments », *Journal of Mathematical Physics*, III. HSH in spaces *d*=2, ... , 6. B. Four-dimensional HSH. 2. The parametrization by two 2D-vectors.

[82] Meremianin, Alexei V, *Ibidem,* D. Six-dimensional HSH. 1. The parametrization by two three-dimensional vectors.

de l'hyperangle. Ces coordonnées cartésiennes sont multipliées par elles-mêmes selon une puissance égale à l'ordre ambisonique : plus cet ordre s'accroît, plus la forme d'onde sinusoïdale dessinée par les coordonnées cartésiennes devient discontinue pour tendre vers une forme d'onde en créneau, ce qui a pour effet d'amoindrir l'interpolation du fondu enchaîné : la forme d'onde de l'hyperangle est comme traitée avec de plus en plus d'*overdrive* au fur et à mesure que l'ordre ambisonique augmente.

Les canaux du premier domaine sphérique sont amplifiés selon (cos β)^m_1, et mixés avec les canaux du second domaine sphérique amplifiés selon (sin β)^m_2.
En 4D, la valeur absolue de l'ordre m est l'exposant qui traite l'hyperangle β avec un effet d'*overdrive* qui s'accroît avec l'augmentation de l'ordre ambisonique.

Les canaux du premier domaine sphérique sont amplifiés selon (cos α)^l_1 et mixés avec les canaux du second domaine sphérique amplifiés selon (sin α)^l_2.
En 6D, la valeur du degré l est l'exposant qui traite l'hyperangle α avec un effet d'*overdrive* qui s'accroît avec l'augmentation du degré ambisonique.

L'hyperangle permet de composer l'illusion de distance en ambisonie d'ordre supérieur : dans la composition d'un espace sonore 3D, la variation de distance d'une source est visuellement représentée par une variation de son rayon, dont la taille est inversement proportionnelle au volume sonore. Cette représentation visuelle limite la composition de l'espace : il n'est pas envisageable de faire passer une source au centre de l'espace par un rayon nul car son amplitude serait infinie. Une modération d'amplitude de 0dB correspond à la taille minimum de rayon, comme en physique quantique où la valeur minimum d'un quanta est toujours non-nulle et mesurée à 1,616255(18)*10^-35 m, ou longueur de Planck.
L'hyperangle ne module pas directement le rayon, mais l'hyper-rayon, une distance virtuelle composée de la somme de deux rayons, chacun étant attribué à la distance d'une source. La distance d'une source entendue depuis le *sweet-spot* se mesure selon l'orientation de l'hyperangle vers cette source. L'orientation de l'hyperangle donne l'illusion que la distance des sources varie, alors qu'elle est constante. La constance de la taille des rayons détermine l'échelle de variation de l'hyper-rayon.
L'hyperangle permet de composer la distance comme une orientation dans l'hyperespace sonore, alors que composer directement les distances sous forme de rayons empêche de composer une source qui s'approche jusqu'au centre de l'espace sonore, ou s'éloigne depuis cet espace. C'est pourtant le cas dans les espaces sonores paradoxaux: en appliquant les propriétés du centre masse

au *sweet-spot,* il peut être composé comme *sweet-spot* virtuel dont les mouvements reportés sur les sources peuvent servir à contourner l'impossibilité de composer un rayon nul.

5.4 Choix du polynôme

Le domaine hypersphérique interpole deux domaines sphériques qui peuvent prendre différentes orientations l'un par rapport à l'autre. Dans le cas où les deux domaines sphériques sont asymétriques, la profondeur de l'un peut être, par exemple, orientée dans la largeur de l'autre. Comment orienter ces canaux asymétriques vers un système de diffusion 3D où chaque haut parleur n'est orienté que selon 3 angles?

Cette question reflette comment une erreur dans mon interprétation du polynôme de Jacobi (Fig. 5.4.1) m'a amené à lui substituer le polynôme de Gegenbauer (Fig. 5.4.2) qui ne traite qu'un seul ordre ou degré, alors que celui de Jacobi en traite deux à la fois : or, ce n'est pas parce que le polynôme traite deux domaines sphériques différents que l'ordre et le degré de leurs canaux diffèrent entre les deux domaines. La question d'asymétrie entre l'orientation des canaux ne se pose donc pas.

Cette erreur n'a pas de conséquence en 4D, où la valeur absolue des ordres de chaque domaine circulaire est la même, mais handicape mes recherches en 6D. J'applique par erreur la même attribution des harmoniques locaux en 6D qu'en 4D, l'ordre m est alors calculé à la place du degré l, et le degré l l est calculé à la place de J , qui indique un degré propre au domaine hypersphérique.

$$P_0^{(\alpha,\beta)}(z) = 1,$$
$$P_1^{(\alpha,\beta)}(z) = (\alpha+1) + (\alpha+\beta+2)\frac{z-1}{2},$$
$$P_2^{(\alpha,\beta)}(z) = \frac{(\alpha+1)(\alpha+2)}{2} + (\alpha+2)(\alpha+\beta+3)\frac{z-1}{2} + \frac{(\alpha+\beta+3)(\alpha+\beta+4)}{2}\left(\frac{z-1}{2}\right)^2.$$
$$P_n^{(\alpha,\beta)}(z) = \frac{\Gamma(1+2n+\alpha+\beta)}{\Gamma(1+n)\Gamma(1+n+\alpha+\beta)}\left(\frac{z}{2}\right)^n + \text{lower-degree terms}$$

Fig. 5.4.1 Polynôme de Jacobi *P* avec deux valeurs, α et β, traitant une variable *z*. Le degré *n* semble être une proposition nouvelle qui n'était peut être pas encore assez reconnue quand j'ai intégré cette opération au domaine hypersphérique. J'ai donc orienté mes recherches avec ce polynôme limité au second degré.

$$C_0^{\alpha}(x) = 1$$
$$C_1^{\alpha}(x) = 2\alpha x$$
$$C_n^{\alpha}(x) = \frac{1}{n}[2x(n+\alpha-1)C_{n-1}^{\alpha}(x) - (n+2\alpha-2)C_{n-2}^{\alpha}(x)].$$

Fig. 5.4.2 Polynôme de Gegenbauer *C* avec une seule valeur α, traitant une variable *x*.

Cette erreur est héritée des premières implémentations des harmoniques hypersphériques sous forme de *patches max*. Dans la bibliothèque *hoa v2.2* réalisée en *patches max,* l'objet *process~* attribue à chaque canal ambisonique un ordre *m* et un degré *l* dans le domaine sphérique, mais pas de degré *J* dans le domaine hypersphérique. Comme la valeur de *l* est égale à *J*, il m'a été facile de les confondre. En 4D, remplacer le polynôme de Jacobi par celui de Gegenbauer produit un résultat sonore proche, et m'évite d'intervertir des ordres et des degrés dans le polynôme, mais l'attribution des canaux demeure fausse en 6D.

Le polynôme de Gegenbauer peut également remplacer le polynôme de Legendre pour moduler l'azimut selon le zénith, dans les harmoniques sphériques[83]. Le polynôme de Legendre sert spécifiquement à l'encodage 3D, alors le polynôme de Jacobi sert spécifiquement aux encodages supérieurs à 3D. Le polynôme de Gegenbauer n'a pas d'utilisation spécifique à un espace dimensionnel particulier et a constitué pour moi une piste à explorer en attendant de résoudre le problème causé par mon erreur d'interprétation du polynôme de Jacobi.

5.5 Harmoniques sphériques locaux

Le fonctionnement des harmoniques hypersphériques se distingue entre autres par la présence d'*harmoniques sphériques locaux* qui demeurent insensibles aux opérations du polynôme. Les rangs de ces harmoniques locaux sont déterminés par la valeur λ.

La variable λ est égale à (J-*l1*-*l2*)/2, avec un degré hypersphérique J et deux degrés sphériques *l* en 6D, ou égale à (J-m*1*-*m2*)/2 avec deux ordres *m* pour la 4D. Tous les résultats décimaux ou négatifs sont considérés comme nuls : les harmoniques hypersphériques où λ=0 sont désignés comme les harmoniques sphériques locaux (ZSH pour *Zonal Spherical Harmonics*), et concernent tous les harmoniques impairs (Fig.5.5.1, 5.5.2).

[83] Meremianin, Alexei.V, *ibidem*, 6 A. Two- and three-dimensional HSHs.

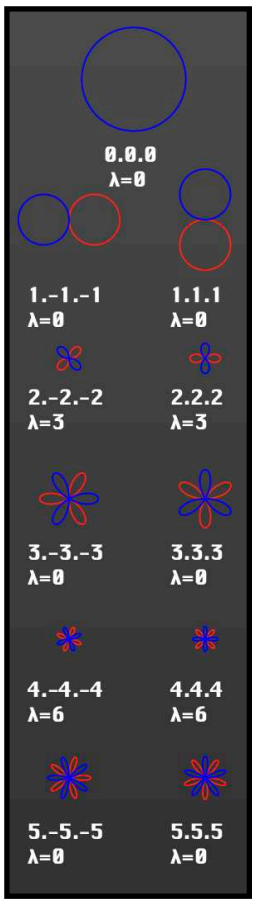


Fig. 5.5.1 Valeurs de λ en 4D.

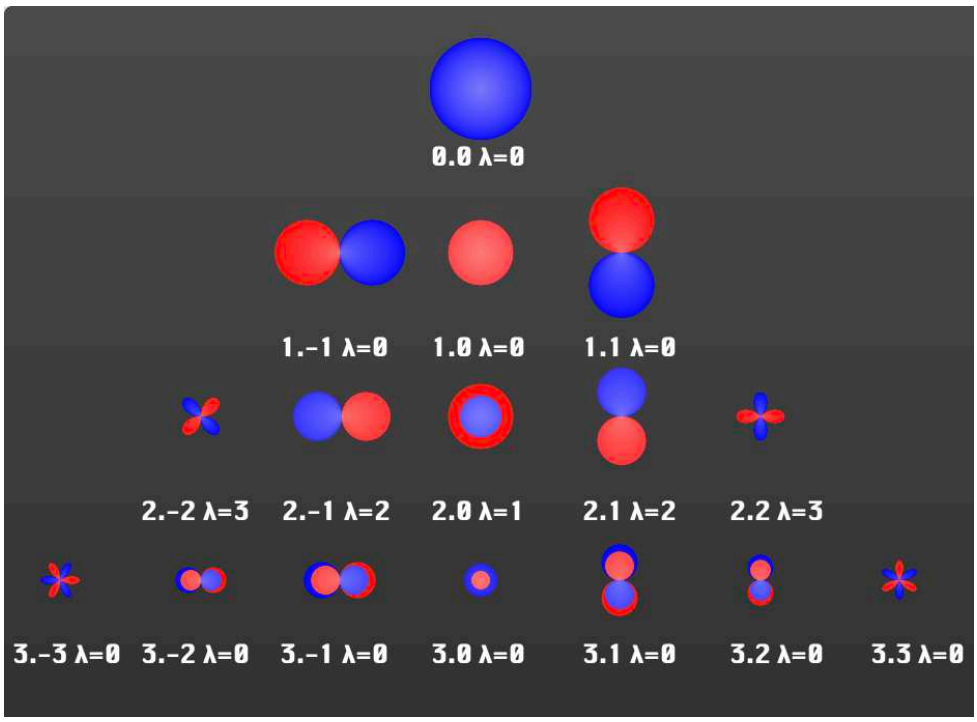


Fig.5.5.2 Valeurs de λ en 6D.

Les harmoniques pairs deviennent, eux, silencieux quand l'annulation de phase s'équilibre entre les deux sources lors du fondu enchaîné; la présence d'une variable λ de valeur nulle dans la normalisation et le polynôme a pour effet de modérer l'amplitude des harmoniques pairs.

Le polynôme traite l'hyperangle et accroît son effet en augmentant la portée de l'hyper-rayon dans tous les harmoniques pairs, allongeant la durée où ils deviennent inaudibles pendant l'annulation de phase. Le polynôme ignore les harmoniques sphériques locaux : cette différence de traitement entre harmoniques pairs et impairs met en valeur plus longtemps les composantes spatiales impaires pendant le fondu enchaîné. Quand le fondu enchaîné donne à entendre simultanément les composantes impaires des deux domaines sphériques, elles se superposent pour constituer un champ diffus de décomposition paire.

Le centre du domaine hypersphérique est constitué par les deux centres des deux domaines sphériques. Ces deux canaux centraux sont traités en parallèle par deux valeurs cartésiennes différentes, répondant aux mêmes coordonnées hyperangulaires que dans le premier ordre ambisonique, et dans tous les harmoniques locaux.

L'attribution des harmoniques sphériques locaux exclut les harmoniques pairs. Calculée selon deux ordres égaux, la valeur λ est non nulle dans les seuls cas où les deux ordres sont négatifs. Avec cette

opération, tous les harmoniques positifs deviennent locaux, l'espace sonne moins fort dans le sens de la profondeur et plus fort dans la largeur, ce traitement déséquilibre le domaine sphérique : plusieurs pistes sont donc explorées pour corriger le calcul de λ.

Si la valeur positive ou négative des deux ordres conservée pour déterminer la valeur λ, tous les ordres supérieurs au second degré deviennent des harmoniques sphériques locaux. Les degrés du polynômes sont alors attribués aux harmoniques hypersphériques non-locaux selon une valeur λ qui ne dépasse jamais le plus haut degré du polynôme. Avec ce calcul de la valeur λ, seul le premier degré du polynôme est utilisé en 4D, dans les harmoniques pairs où les deux ordres sont différents. Le second degré du polynôme n'intervient alors que dans le domaine 6D, également dans les harmoniques pairs où les deux ordres sont différents. Cette façon de distribuer les harmoniques sphériques locaux ne permet pas de modérer le champ diffus dans les harmoniques pairs. La qualité de l'espace composable comme source ponctuelle est meilleure avec cette modération des harmoniques pairs dans les ordres ambisoniques où la valeur de λ est haute.

Afin de rétablir l'équilibre dans l'attribution des harmoniques sphériques locaux, la variable λ est calculée en multipliant par -1 la valeur absolue des deux ordres, comme si tous les ordres étaient négatifs. La valeur λ atteint alors des valeurs hautes dans les harmoniques pairs et réduit leur contribution dans le domaine hypersphérique. Ces valeurs hautes permettent de désigner les harmoniques locaux dans un domaine hypersphérique 4D de cinquième ordre et dans un domaine hypersphérique 6D de troisième ordre, aussi bien avec le polynôme de Jacobi que de celui de Gegenbauer.

5.6 Les normalisations 4D et 6D

Le choix de l'implémentation qui attribue les harmoniques sphériques locaux dans les opérations de normalisation est déterminante dans le mécanisme de modération des canaux d'ordre ambisonique pair. La valeur λ est toujours calculée en considérant tous les ordres comme négatifs, et augmente avec l'ordre ambisonique dans la normalisation.

En 4D, la normalisation est une division opérée sur des produits de factorielles qui traitent l'addition de la valeur λ avec la valeur absolue des ordres ambisoniques. Considérer les ordres selon leur valeur absolue permet d'une part d'éviter les cas de division par zéro, d'autre part d'obtenir de hautes valeurs dans les produits des factorielles. Dans cette division de produits de haute valeur, plus l'ordre ambisonique est élevé, plus le dénominateur est supérieur au numérateur, plus l'amplitude du canal est modérée. La haute valeur de ces produits de factorielles limite la normalisation 4D à un domaine hypersphérique de cinquième ordre pour deux raisons.

Au-delà du cinquième ordre, les amplitudes des canaux sont modérées jusqu'à atteindre une échelle inaudible. Les produits de factorielles sont trop élevés pour être calculées avec exactitude avec les processeurs actuels. La modération des canaux est à la fois inaudible et potentiellement inexacte, voire instable.

Tout comme dans le calcul de la valeur λ, plusieurs pistes sont explorées dans l'implémentation de la normalisation 6D afin d'obtenir un résultat sonore où les ordres supérieurs sont modérés, comme en 4D, avec la même mise en valeur des ordres impairs. Certaines modifications sont donc apportées à la normalisation 6D du domaine hypersphérique. L'opération divise cette fois des produits de doubles factorielles qui augmentent plus que les factorielles quand l'ordre ambisonique s'accroît. La transformation des ordres en valeurs absolues entraîne des résultats différents dans les sommes traitées par les doubles factorielles. Certains résultats obtenus en conservant la valeur négative des ordres semblent plus cohérents dans la modération des amplitudes pour éviter les effets de crêtes. Certaines soustractions qui traitent des ordres négatifs sont remplacées par des additions sur la valeur absolue des ordres. Réciproquement, les additions qui traitent des ordres négatifs peuvent être remplacées par des soustractions opérées sur la valeur absolue des ordres. Ces substitutions ont pour objet de transformer le numérateur et le dénominateur de la division pour que le canal soit davantage modéré quand l'ordre ambisonique augmente. Dans le domaine hypersphérique 6D, ces additions et soustractions s'opèrent avec deux ordres *l1* et *l2* de valeur égale. La somme traitée est alors nulle, l'opération peut donc être supprimée dans la normalisation 6D.

La valeur λ élève la somme traitée par les factorielles et doubles factorielles dans la normalisation qui divise leur produit dans les degrés pairs et modère ainsi davantage l'amplitude des canaux exclus des harmoniques sphériques locaux.

5.7 L'optimisation inPhase en 4D et en 6D

En 6D, les harmoniques hypersphériques traitent deux domaines sphériques qui sont déjà normalisés en 3D : la normalisation 6D apporte un traitement proche de l'optimisation *inPhase(schémas)*. L'optimisation *inPhase* réduit les contributions de phase dans les ordres ambisoniques supérieurs, estompe les oppositions de phase entre les deux domaines, et augmente le volume sonore du premier ordre ambisonique. Ainsi traitée, la source sonore donne l'illusion de se déplacer entre les haut-parleurs. L'optimisation 6D change peu les volumes sonores des canaux ambisoniques, mais intervient pour que le résultat sonore soit le même qu'en l'absence de traitement hypersphérique (Fig.5.7.1, 5.7.2).

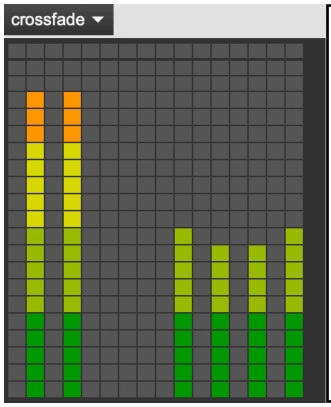


Fig.5.7.1 Addition de rayons sphériques pendant l'opposition de phase sur l'azimut, avec une optimisation *inPhase*.

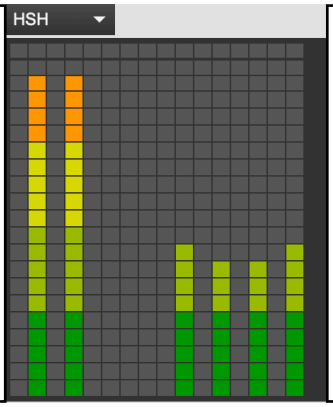


Fig.5.7.2 Hyper-rayons traités par l'optimisation 6D pendant l'opposition de phase sur l'azimut : plus courts (+3dB) dans le 1er ordre ambisonique, plus longs (-3dB) dans les ordres supérieurs, donc plus directionnels dans l'espace sonore.

En 4D les harmoniques hypersphériques traitent deux domaines circulaires qui ne sont pas normalisés : l'optimisation 4D change considérablement les volumes sonores des canaux ambisoniques et intervient également pour que le résultat sonore soit le même qu'en l'absence de traitement hypersphérique. Les constantes d'optimisation 4D et 6D ont été obtenues par simple ajustement de niveau, canal par canal.

Quand l'hyperangle est orienté entre les deux vecteurs de manière à faire entendre les deux sources en opposition de phase, l'hyper-rayon s'étend plus que deux rayons additionnés dans un fondu enchaîné linéaire et uniforme. Le volume sonore s'amoindrit donc plus pendant le fondu enchaîné dans le domaine hypersphérique, assurant ainsi plus de définition directionnelle dans le sens de l'azimut. En revanche, le fondu enchaîné perd cette définition directionnelle quand il est joué dans le sens du zénith : les harmoniques orientés dans le sens du zénith sont des ZSH où l'hyper-rayon n'a pas de traitement particulier pendant le fondu enchaîné. Dans le sens du zénith, l'hyper-rayon est plus court que l'addition de deux rayons sphériques sans traitement hypersphérique : le zénith sonne donc toujours plus proche avec un traitement hypersphérique, ce qui déséquilibre les dynamiques des sources quand leur orientation générale passe de l'azimut au zénith (Fig.5.7.3).

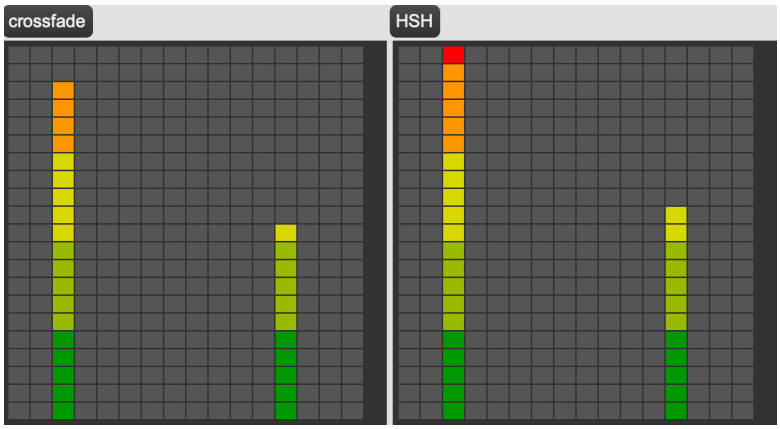


Fig. 5.7.3 Comparaison entre l'addition de rayons sphériques optimisés *inPhase* et l'hyper-rayon optimisé-6D, pendant l'opposition de phase sur le zénith. L'hyper-rayon est plus court de +6dB dans le premier ordre, et de +3dB dans les ordres supérieurs. Pour des raisons relatives au système de diffusion, les fondus enchaînés utilisés dans les espaces sonores paradoxaux n'équilibrent l'opposition de phase entre les sources que lorsque leur angle d'élévation est nul.

L'optimisation 4D reproduit le résultat sonore de l'optimisation 2D *inPhase* après le traitement hypersphérique 4D (Fig.5.7.4), et l'optimisation 6D reproduit le résultat sonore de l'optimisation 3D *inPhase* après le traitement hypersphérique 6D. (Voir Annexes A.1.4 Optimisation 4D, p. 265, et A.3.4 Optimisation 6D, p. 272)

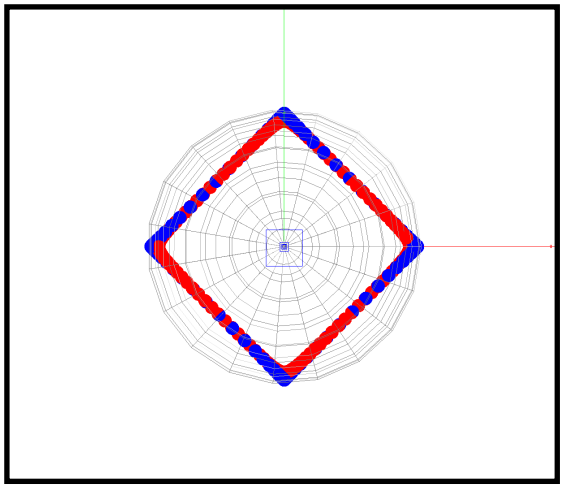


Fig. 5.7.4 La réaction des vecteurs de vélocité (bleu) et d'énergie(rouge) au traitement hypersphérique optimisé 4D avec un hyperangle à 0° ou 180° est la même avec une optimisation 2D inPhase sans traitement hypersphérique. Les vecteurs sont colinéaires et de rayon égal. Leur mouvement rectiligne suit une quadriphonie régulière sans intervention de la VBAP dans le décodage.

L'optimisation *inPhase* constitue un traitement adéquat quand l'espace sonore est composé par sources ponctuelles mais peut profondément détériorer un espace sonore composé par champs diffus[84] : le fondu enchaîné transforme l'espace 2D ou 3D des sources sonores en un hyperespace 4D ou 6D où elles sont audibles sous forme d'un champ sonore d'où le centre est absent. Ce champ sonore conserve un caractère directionnel, son orientation est définie par la position des sources qui le constituent. Les espaces sonores paradoxaux sont une approche hyperspatiale de la composition du champ sonore ; le fondu enchaîné est une interpolation entre l'espace en tant que source ponctuelle et l'espace en tant que champ diffus.

À propos des limites imposées à la composition de l'espace sonore par les traitements d'optimisation, P. Guillot suggère l'idée d'inclure des variables d'optimisation à l'encodage sphérique pour permettre la fidèle restitution des espaces sonores évoluant entre l'état de source et l'état de champ :

> « (…) l'application d'une optimisation du champ sonore, destiné à la restitution de sources directionnelles appauvrit le rendu des synthèses originales de champs diffus. Pour de futurs travaux, il serait alors intéressant de procéder à des recherches permettant de proposer une approche qui optimiserait ce type de champ sonore. Ces résultats amènent aussi à se poser la question de comment optimiser un champ sonore composé à la fois de sources sonores directives et de champs diffus. Cela soulève la question de l'approche à utiliser lors de la

[84] Guillot, Pierre, *op. cit.*, Partie II - Appropriation musicale de l'ambisonie, 5.2 Restitution du champ sonore, 5.2.1 Optimisation des sources directionnelles, p. 183, 5.2.2 Optimisation des champs diffus, p. 188.

mise en oeuvre de traitements originaux, permettant de passer linéairement d'une source directionnelle à un champ diffus ou chaotique[85]. »

Les harmoniques hypersphériques sont un outil pour faire évoluer une source ponctuelle vers un champ diffus composé par opposition de phase entre les sources. Pendant le fondu enchaîné, le champ sonore émergent de l'opposition de phase entre les deux sources est différent si le traitement hypersphérique intervient. L'équivalence des optimisations 4D et 6D avec les optimisations *inPhase* 2D et 3D conserve cette différence : avec le traitement hypersphérique, quand les deux sources sont simultanément audibles, leur traitement ne correspond plus tout à fait à l'optimisation *inPhase,* mais maintient relativement la taille du *sweet-spot* à l'échelle du *dance-floor*.

La restitution fidèle d'une source sonore optimisée *inPhase* peut être exprimée par la colinéarité des vecteurs d'énergie et de vélocité, alors que la restitution fidèle d'un champ sonore peut passer par une optimisation qui déphase ces deux vecteurs. L'analyse des vecteurs d'énergie et de vélocité est une opération qui intervient après le décodage préalable à la diffusion dans notre espace 3D ; les dimensions de l'hyperespace ne sont pas mesurées, et le comportement des deux vecteurs n'est plus colinéaire quand les deux sources se superposent en un champ diffus pendant le fondu enchaîné (Fig.5.7.5 à 5.7.9).

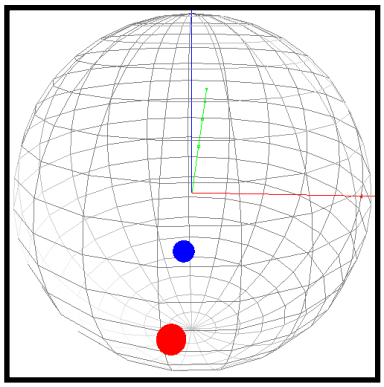


Fig.5.7.5 Avec un hyperangle à 45°, le vecteur de vélocité s'éloigne du vecteur d'énergie qui se rapproche du centre.

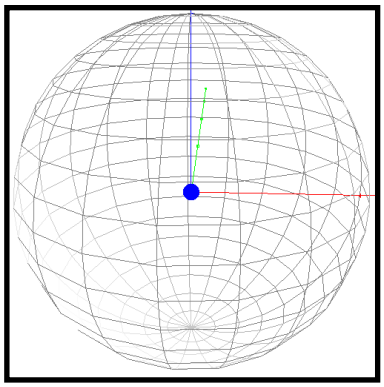


Fig.5.7.6 Avec un hyperangle à 90°, le vecteur de vélocité s'éloigne à l'infini du vecteur d'énergie qui reste au centre.

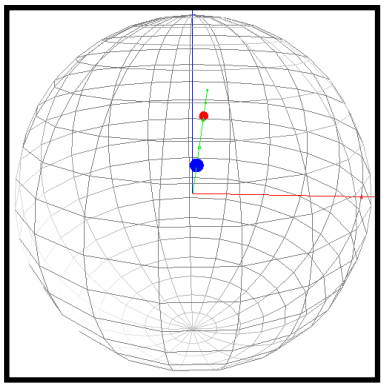


Fig.5.7.7 Avec un hyperangle à 148°, le vecteur de vélocité se rapproche du vecteur d'énergie qui s'éloigne du centre.

[85] Guillot, Pierre, *op. cit.*, 5.2.2 Optimisation des champs diffus, p. 191.

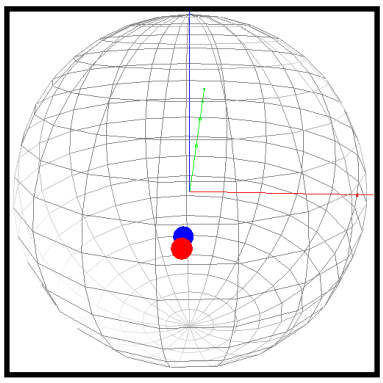


Fig.5.7.8 Avec un décodage régulier, les vecteurs sont colinéaires sur l'azimut: le vecteur de vélocité est plus éloigné que le vecteur d'énergie.

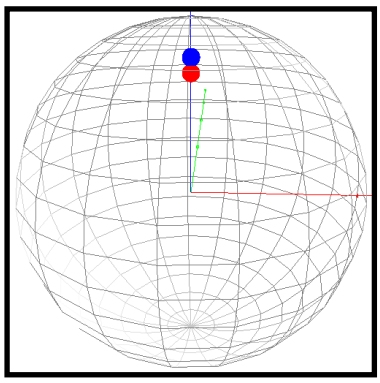


Fig.5.7.9 Avec un décodage irrégulier, les vecteurs sont colinéaires sur le zénith: le vecteur d'énergie est plus éloigné du vecteur de vélocité.

La différence entre le son traité et le son non traité par les harmoniques hypersphériques varie selon le type de décodage. Avec un décodage stéréophonique[86] la différence semble inexistante : la quatrième dimension de l'hyperangle n'interagit pas avec un espace sonore en une seule dimension. Quand le fondu enchaîné est orienté dans le sens de la profondeur qui disparaît en stéréophonie, une baisse d'amplitude dégrade l'équilibre sonore, car le format stéréophonique aplatit l'opposition de phase entre les paires de sources.

Le format binaural de la bibliothèque *hoa 2.2* conserve, lui, l'illusion de profondeur, mais ne restitue pas les espaces sonores paradoxaux. Ce défaut fait toutefois ressortir la différence entre le son traité et le son non-traité par les harmoniques hypersphériques, mais dans les deux cas l'état de champ diffus s'entend de manière trop lointaine pendant le fondu enchaîné. Au format binaural, l'espace sonore est émulé en appliquant par convolution la réponse impulsionelle d'un espace sonore correspondant à la perception de l'oreille humaine. Avec la réponse impulsionelle du décodeur binaural de la bibliothèque *hoa 2.2*, la disparition des harmoniques pairs filtre l'espace sonore au point de dégrader certaines composantes spatiales précieuses pour la qualité du fondu enchainé. Ces composantes précieuses aux espaces sonores paradoxaux sont audibles dans l'acoustique de l'espace où elles sont diffusées en ambisonie, mais semblent absentes quand cette acoustique est simulée par le décodeur binaural *hoa 2.2*. Les recherches peuvent cependant se poursuivre avec d'autres décodeurs binauraux.

[86] J'utilise dans cette expérience le décodeur stéréophonique fourni dans *abc.lib 1.1*

5.8 Optimisations de la source ponctuelle par traitements hyperangulaires en 4D

5.8.1. À l'écoute des décodeurs

Les décodeurs réagissent différemment aux traitements hypersphériques selon leur fonctionnement. Les premiers décodeurs basiques *abc.lib* semblent conserver plus de composantes spatiales que les décodeurs de la bibliothèque *hoa,* réalisés avec l'objet *process~*. La différence de traitement, avec ou sans harmoniques hypersphériques, est donc plus audible avec les décodeurs basiques *abc.lib*. C'est l'absence de traitement hypersphérique qui met particulièrement en valeur une différence dans les résultats sonores entre les décodeurs *abc.lib* et la bibliothèque *hoa*. Dans la bibliothèque *hoa*, les traitements avec ou sans traitements hypersphériques se ressemblent. Puisque la différence de traitement repose principalement sur la différence de traitement des harmoniques pairs, il semble que ces harmoniques soient plus mis en valeur avec les décodeurs basiques *abc.lib*.
La variété des décodeurs *abc.lib* permet d'apprécier la différence de traitement avec ou sans harmoniques hypersphériques.
-*ho.decoder* est un décodeur régulier qui met en valeur les harmoniques pairs en l'absence de traitement hypersphérique.
-*ho.iBasicdecoder* est un décodeur irrégulier qui met en également en valeur les harmoniques pairs en l'absence de traitement hypersphérique. Quand ce décodeur est utilisé avec des angles réguliers, le résultat sonore me semble plus précis et plus puissant qu'avec les autres décodeurs.
-*ho.imlsdecoder* et *ho.idecoder* sont des décodeurs irréguliers qui utilisent la VBAP[87], et qui ne laissent entendre aucune différence entre le traitement avec ou sans harmoniques hypersphériques. Les résultats sonores obtenus par le traitement hypersphérique et le décodage VBAP se ressemblent car ils ont chacun une manière d'optimiser l'espace comme source directionnelle.

[87] Pulkki,Ville. *« VBAP [Vector Based Amplitude Panning] »,* dans General panning for Max msp, Laboratory of acoustic and audio processing, Helsinki University of Technology; CNMAT University of California Berkeley, 04/10/2000, https://www.researchgate.net/publication/2317843_Generic_panning_tools_for_MAXMSP

5.8.2. Réaction des vecteurs d'énergie et de vélocité aux variations de l'hyperangle

Observer le comportement des vecteurs d'énergie et de vélocité en remplaçant les sources sonores par des signaux constant permet de comprendre les différentes contributions de chaque canal avec ou sans traitement hypersphérique, avec ou sans optimisation (Fig.5.8.2.1), avec ou sans équivalence entre les polynômes de Jacobi et Gegenbauer, avec un décodage basique ou un décodage par VBAP (Fig.5.8.2.2). La projection de deux espaces vers une seule opération de décodage requiert un nombre pair de haut-parleurs régulièrement disposés, donc au minimum une quadriphonie en 2D, et une octophonie cubique en 3D. C'est donc avec un nombre minimum de décompositions angulaires de l'espace sonore que sont comparés les traitements spatiaux, afin de déterminer lequel est le plus satisfaisant.

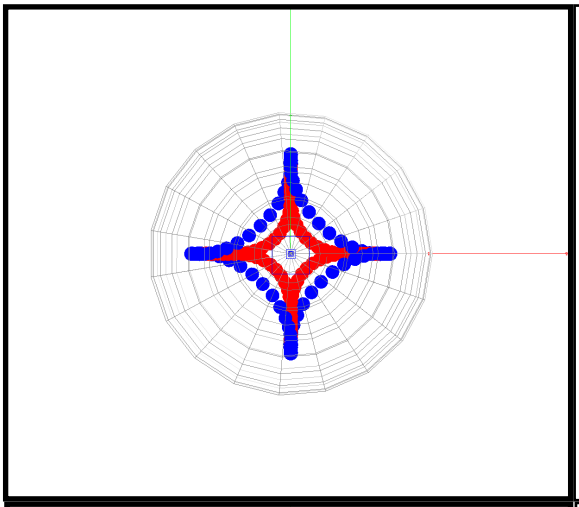


Fig.5.8.2.1 Réaction des vecteurs d'énergie et de vélocité au traitement hypersphérique avec un hyperangle à 0° ou 180°, sans optimisation, sans décodage VBAP. Les vecteurs sont peu colinéaires, leur rayon diffère. Les mouvements des vecteurs deviennent convexes, ce qui indique une perte dans le caractère directionnel quand la source est jouée entre deux haut-parleurs.

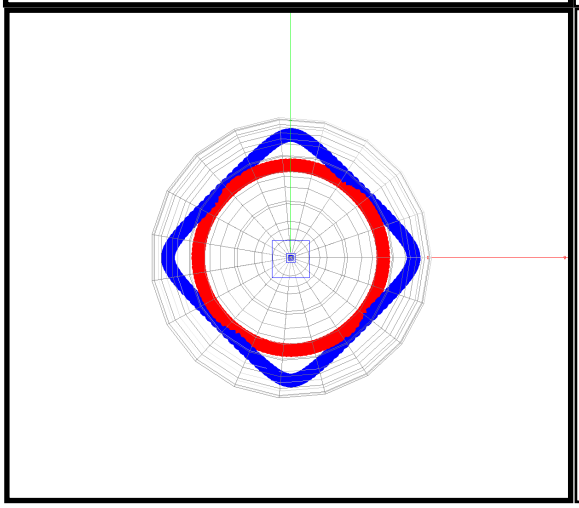


Fig.5.8.2.2 Avec un décodage en VBAP circulaire, les vecteurs réagissent au traitement hypersphérique optimisé 4D comme à l'optimisation 2D inPhase sans harmoniques hypersphériques : le rayon du vecteur d'énergie devient constant, son mouvement circulaire n'est pas colinéaire avec le mouvement plus rectiligne du vecteur de vélocité.

Le comportement du vecteur d'énergie exprime l'intervention du traitement hypersphérique. L'intervention d'une optimisation 4D qui tend vers l'équivalence à l'optimisation 2D inPhase est une étape intermédiaire qui permet de comprendre le rôle précis du polynôme de Jacobi dans les harmoniques hypersphériques : quand le second degré du polynôme de Gegenbauer est traité pour

prendre la même valeur que dans le polynôme de Jacobi, le vecteur d'énergie se déplace de manière plus circulaire (Fig.5.8.2.3, 5.8.2.4).

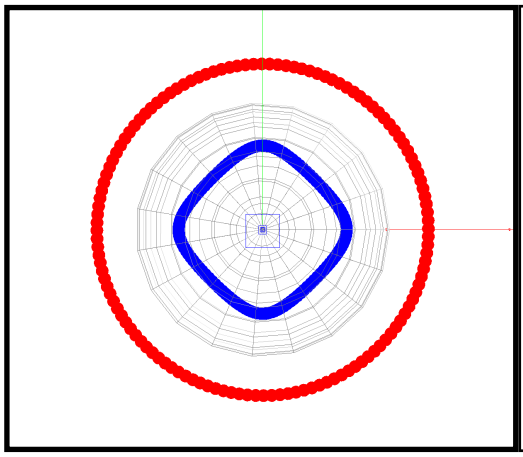


Fig.5.8.2.3 Avec un hyperangle à 45° ou 135° dans le traitement hypersphérique optimisé 4D, le rayon du vecteur d'énergie augmente, la source sonore est plus lointaine au-dessus de 700 Hz. Le rayon de vélocité diminue, la source est plus proche au-dessous de 700 Hz. Le mouvement circulaire du vecteur d'énergie résulte du décodage en VBAP. Les deux vecteurs demeurent non colinéaires.

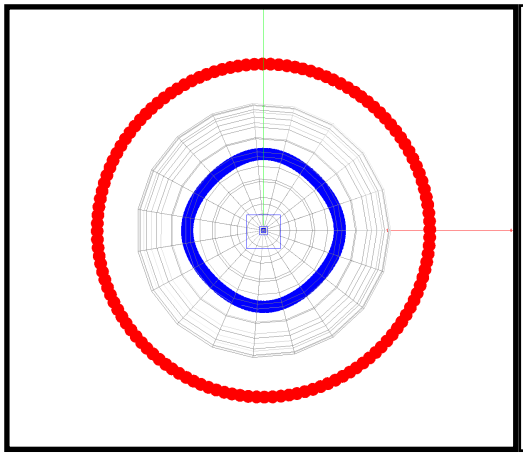


Fig.5.8.2.4 Toujours avec en hyperangle à 45° ou 135° dans le traitement hypersphérique optimisé 4D, mais avec l'opération de transformation des degrés supérieurs du polynôme de Gegenbauer en degrés supérieurs du polynôme de Jacobi. Le vecteur de vélocité tend vers plus de constance de rayon, donc de colinéarité avec le mouvement circulaire du vecteur d'énergie réagissant au décodage VBAP pour une quadriphonie régulière.

La différence de traitement entre les degrés supérieurs des deux polynômes n'est pas audible, quelle que soit l'optimisation. Le polynôme de Gegenbauer peut donc remplacer le polynôme de Jacobi dans l'implémentation des harmoniques hypersphériques.

Les dernières comparaisons décodent directement le traitement hypersphérique 4D en VBAP circulaire, sans aucune optimisation : le traitement hypersphérique semble agir sur le vecteur d'énergie de la même manière que le décodage en VBAP circulaire agit sur le vecteur de vélocité. Dans cette dernière comparaison, les deux vecteurs sont non seulement colinéaires, mais de rayons constants et quasi égaux. Le traitement hypersphérique semble donc pouvoir remplacer l'optimisation 2D *inPhase* pour assurer la colinéarité des vecteurs. L'optimisation du champ diffus est un compromis à l'avantage d'un des deux vecteurs, valorisant soit les composantes spatiales aiguës, soit les composantes spatiales graves. L'optimisation de la source ponctuelle valorise autant les composantes spatiales aiguës, que les composantes spatiales graves : les vecteurs se comportent alors de manière colinéaire. Décodé directement en VBAP, le traitement hypersphérique permet d'obtenir le même comportement pour les deux vecteurs sans recours aux optimisations. Les

vecteurs se comportent avec la même précision que dans un décodage sur une ambisonie de premier ordre, mais en ambisonie d'ordre supérieur.
Un vecteur devient vecteur d'énergie ou de vélocité selon sa fenêtre d'analyse : plus la fenêtre est courte, plus elle permet de déterminer une fréquence, moins elle permet de déterminer la phase; plus la fenêtre est longue, plus elle permet de déterminer la phase au détriment de la fréquence.

> « Plus nous dilatons notre acuité auditive pour percevoir le monde microphonique, plus nous rétrécissons notre acuité temporelle, au point d'avoir besoin de durées assez longues.
> Il s'agit là d'une loi de la perception qui pourrait se formuler ainsi: *l'acuité de la perception auditive est inversement proportionnelle à celle de la perception temporelle (…) »(*Grisey*, Devenir du son)*
> Nous rapprochons ceci des applications du Principe d'incertitude formulé par la physique quantique qui est ici « un principe de limitation de l'information recevable du monde extérieur »(Moles, 1966)[88] ».

Dans l'analyse de l'espace sonore, plus on peut déterminer la vitesse d'une source, moins on peut déterminer sa position, et réciproquement.
Plus une orbitale contient d'harmoniques, plus nombreux sont les états de la particule qui évolue dans cette forme d'onde de probabilité. Comme pour cette particule, la vélocité et la position d'une source ponctuelle sont de plus en plus difficiles à déterminer simultanément au fur et à mesure que l'ordre ambisonique s'accroît.
Plus haut est l'ordre ambisonique, plus la source ponctuelle s'inscrit dans le champ diffus d'un espace de plus en plus décomposé. La modération de l'amplitude dans les canaux d'ordre supérieur facilite la détection de la position de la source et de sa vitesse, tout comme dans l'optimisation *inPhase*.
La réduction au silence des canaux d'ordre supérieur supprime totalement ce principe d'incertitude.
Le traitement hypersphérique diminue également les contributions des canaux d'ordre supérieur, mais dans des proportions plus importantes que l'optimisation inPhase, jusqu'à obtenir un comportement vectoriel presque similaire au décodage VBAP régulier sur une ambisonie de premier ordre (Fig. 5.8.2.5, 5.8.2.6).

[88] Grisey, Gérard. *op cit*, Degré de préaudibilité, p. 81.

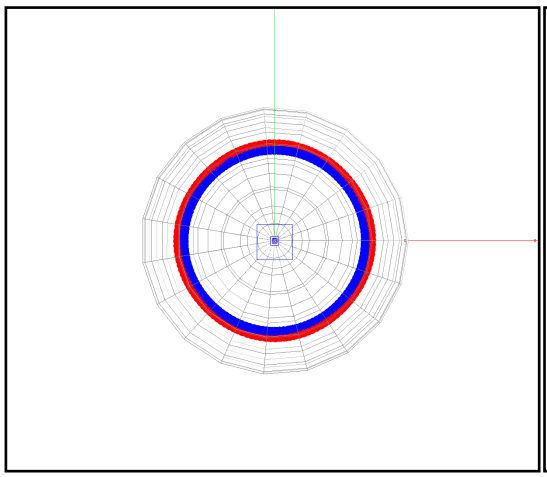


Fig. 5.8.2.5 Réaction des vecteurs au traitement hypersphérique avec l'hyperangle à 45° ou 135°, directement décodé en VBAP sans aucune optimisation. Les vecteurs sont colinéaires, de même vitesse, de rayons constants et presque égaux entre les vecteurs, alors que la résolution angulaire du décodage est toujours une quadriphonie régulière.

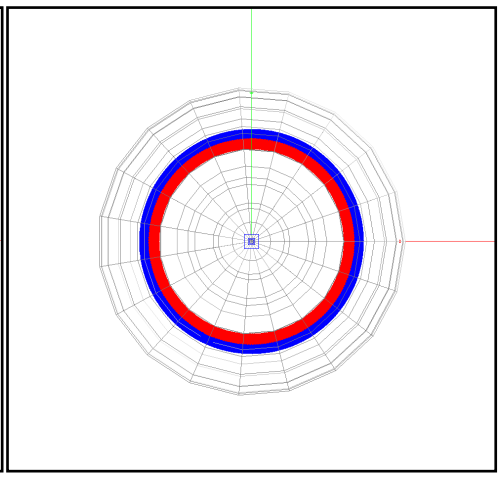


Fig.5.8.2.6 Avec un décodage VBAP sur une ambisonie de premier ordre optimisée 2D inPhase, les vecteurs sont colinéaires, de vitesse égale et de rayon constant. Le vecteur de vélocité indique toutefois plus de proximité dans la vitesse de la source.

Cette réduction drastique dans le volume sonore des ordres supérieurs réduit l'indétermination de la position et la vitesse de la source à une échelle où les vecteurs demeurent colinéaires. Les vecteurs réagissent alors avec précision aux orientations de l'hyperangle qui les fait varier selon cette échelle d'indétermination (Fig 5.8.2.7, 5.8.2.8).

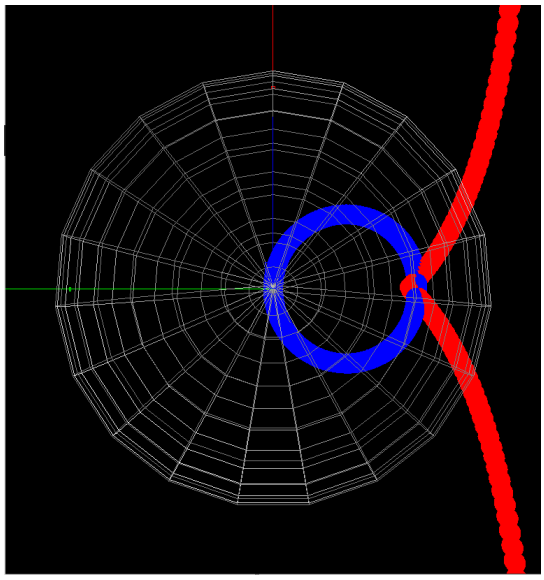


Fig. 5.8.2.7 Comportement des vecteurs pendant un fondu enchaîné, sans traitement 4D, avec une optimisation *inPhase*.

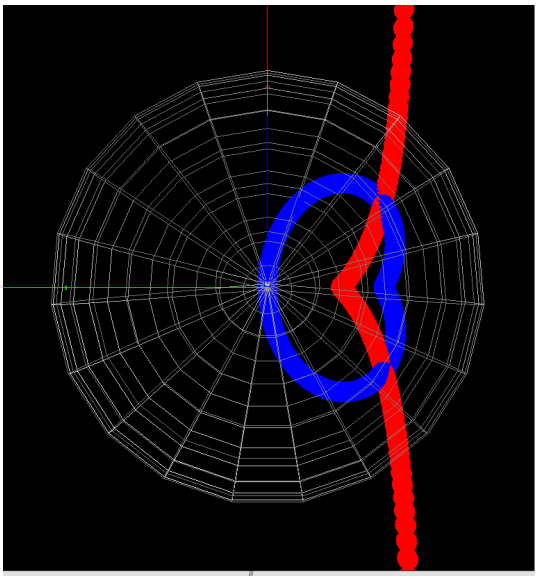


Fig. 5.8.2.8 Comportement des vecteurs pendant un fondu enchaîné, avec un traitement 4D : la modération des ordres supérieurs conserve davantage le caractère directionnel des sources éloignées.

5.8.3. Détermination de la position et de la vitesse des sources par l'hyperangle

Décodé en VBAP, le traitement hypersphérique joue un rôle dans l'optimisation, particulièrement sur le vecteur d'énergie. La différence avec un décodage VBAP sur une ambisonie de premier ordre est ténue autant à l'oreille que dans l'observation du comportement des vecteurs. Le traitement hypersphérique, selon sa valeur hyperangulaire, permet de moduler finement la taille et la vitesse de rayon entre les vecteurs.

Cette valeur hyperangulaire détermine la taille maximum de l'hyper-rayon, sur lequel elle peut osciller entre divers états d'optimisation de la source ponctuelle, tout en passant périodiquement par le stade du champ diffus pendant le fondu enchaîné. Les mesures hyperangulaires dépendent du type d'opération utilisée pour altérer la courbure du fondu enchaîné ; elles sont ici prises d'après une courbure linéaire où l'opposition de phase survient entre deux sources dont l'amplitude est réduite de moitié, alors qu'elle sera par la suite corrigée à la moitié de la racine carrée de 2 : les mesures de l'hyperangle indiquées ne sont donc pas forcément pérennes, mais permettent déjà d'identifier différents seuils de réaction des vecteurs d'énergie et de vélocité.

Avec un hyperangle à 45° ou 135°, les vecteurs sont de rayons presque égaux, et quand on écoute le résultat sonore du décodage VBAP sur l'ambisonie de premier ordre sans traitement hypersphérique, le son semble sonner moins fort d'à peu près 6 dB. Avec hyperangle à 0° ou 180°, le vecteur de vélocité indique plus de proximité dans la position de la source, alors que le vecteur d'énergie demeure de rayon constant. La modération des canaux d'ordre supérieur par le traitement hypersphérique confère au vecteur d'énergie son comportement circulaire, mais il permet aussi de moduler le rayon du vecteur de vélocité pour rapprocher la source sonore, et donc d'équilibrer la place du champ diffus où se déplace la source ponctuelle. En cherchant dans la valeur hyperangulaire le seuil de variabilité où les rayons des vecteurs sont les plus égaux, il est possible d'obtenir une fusion des deux vecteurs en ambisonie de premier ordre. L'ambisonie d'ordre supérieur, atténuée par le traitement hypersphérique, réintroduit finement l'indétermination de la vitesse et de la position de la source ponctuelle, par le champ diffus. Le traitement hypersphérique peut être un outil d'optimisation pour composer des sources ponctuelles dans le contexte d'un champ diffus lointain, par une modération des amplitudes de l'ordre supérieur, quelque part entre le niveau nul de l'ambisonie de premier ordre et l'optimisation inPhase. Les variations de l'hyperangle entre ces optimisations orientées pour la composition de sources ponctuelles tendent vers un champs diffus lointain lorsque la valeur hyperangulaire avoisine les 90°. Comme les composantes spatiales paires de chacun des deux domaines sphériques s'annulent par opposition de phase, seuls les ordres impairs sont mis en valeur dans ce champ diffus qui émerge pendant le fondu enchaîné : en 4D, l'ordre ambisonique est borné au cinquième degré, le champ diffus est alors enrichi par les

troisièmes et cinquièmes ordres. L'infime différence avec une simple ambisonie de premier ordre est à écouter dans la qualité du fondu enchaîné. Il est important que les ordres supérieurs jouent pendant toute la durée du fondu enchaîné afin que la source se transforme en champ de manière progressive: la source proche est jouée dans le champ diffus qui demeure quand elle s'éloigne.

Les comportements les plus singuliers des vecteurs peuvent être considérés comme différentes conditions d'équilibres spatiaux préalables à la composition du *live* ambisonique par sources ponctuelles. Avec un décodeur VBAP quadriphonique[89], il est possible d'obtenir un rayon constamment égal à 0.707107[90] pour les deux vecteurs, soit par l'optimisation *inPhase*, soit par le traitement 4D.

Sans traitement hypersphérique, cette taille précise de rayon peut s'obtenir à un certain degré du fondu enchaîné : à environ 2% ou 98% du fondu enchaîné, la source vers laquelle l'hyperangle est orienté modère les amplitudes de l'autre source, par opposition de phase. La symétrie de cette mécanique semble jouer un rôle dans l'égalité des rayons. L'augmentation du nombre de haut-parleurs met en valeur le rôle du traitement hypersphérique dans cette symétrie.

Grâce au traitement hypersphérique, il est possible d'exploiter ce degré du fondu enchaîné en tant qu'échelle d'indétermination pour la vitesse et la position d'une source ponctuelle en ordre ambisonique supérieur. L'orientation hyperangulaire qui permet d'obtenir cette égalité de rayon varie avec le nombre de haut-parleurs. Plus le nombre de haut-parleurs augmente, plus il est difficile d'obtenir l'égalité des rayons, même si le nombre de haut-parleurs est pair. Quand le nombre pair de haut-parleurs excède l'hexaphonie 2D régulière, seul le traitement hyperangulaire dans le domaine hypersphérique permet de retrouver l'égalité de rayon observée lors du décodage VBAP en quadriphonie régulière du premier ordre ambisonique (Fig.5.8.3.1).

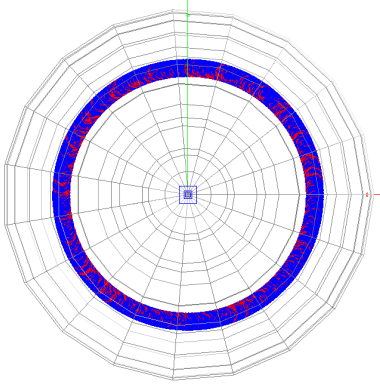


Fig.5.8.3.1 Avec un hyperangle déduit d'après le nombre de haut-parleurs, les deux vecteurs sont colinéaires, de rayons constants, de même vitesse, et égaux. Leur comportement indissociable semble déterminé par le traitement hypersphérique sur le premier ordre ambisonique. Ce traitement sur le premier orde ambisonique est le plus orienté vers la composition de sources ponctuelles sans aucun champ diffus.

[90] Cette valeur s'obtient en divisant par 2 la racine carrée de 2.

Quand il est diffusé sur des dispositifs supérieurs à la quadriphonie, l'espace sonore semble davantage pouvoir être conservé à l'état de source quand il est traité en 4D.

Les différentes valeurs hyperangulaires qui permettent l'égalité des rayons selon le nombre pair de haut-parleurs semblent entraîner une diminution des rayons proportionnelle à l'augmentation du nombre de haut-parleurs, mais la formule de cette proportion reste à définir. Quand la valeur hyperangulaire par laquelle les rayons sont égaux au premier ordre ambisonique est conservée sur les ordres supérieurs, la vitesse et le rayon de chaque vecteur varient très peu et la taille des rayons, d'une moyenne de 0.707107, diminue avec l'augmentation du nombre de haut-parleurs (Fig. 5.8.3.2, 5.8.3.3, 5.8.3.4).

Plus le nombre de haut parleurs augmente, plus il requiert une distance importante entre le *sweet-spot* et la couronne de haut-parleurs, plus la source semble éloignée. Augmenter le volume sonore diminue la taille du rayon des vecteurs : dans les conditions où l'orientation hyperangulaire permet leur égalité dans le premier ordre ambisonique, leur indétermination dans les ordres supérieurs diminue aussi.

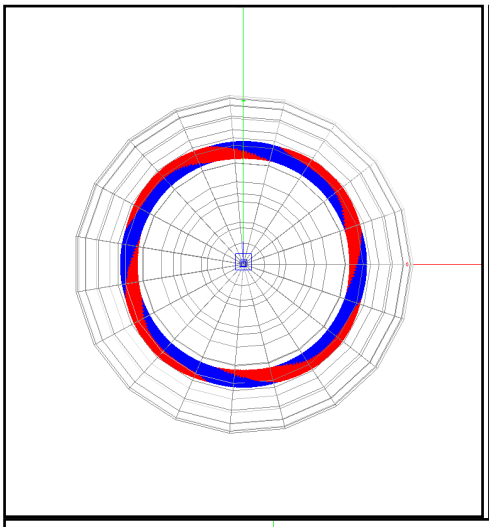


Fig.5.8.3.2 Traitement en 4D symétrique sur une ambisonie de cinquième ordre décodée en VBAP avec un hyperangle calculé pour quadriphonie régulière. La variation périodique de la vitesse et du rayon des vecteurs est un seuil de variabilité propre à l'ordre ambisonique supérieur. Ce seuil définit l'action du champ diffus sur la source ponctuelle.

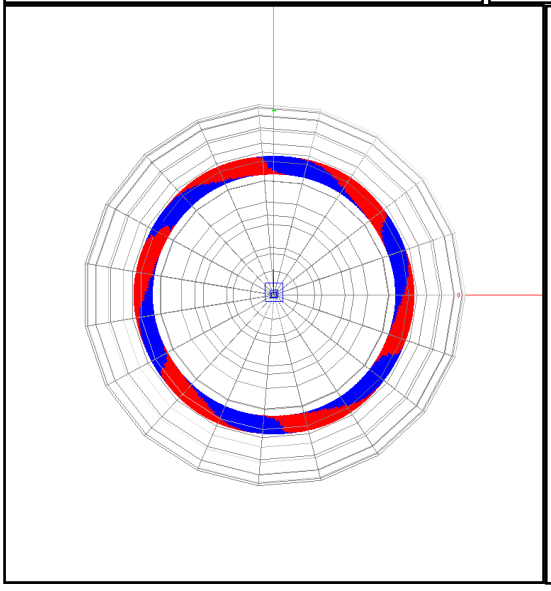


Fig.5.8.3.3 Traitement hypersphérique sur une ambisonie de cinquième ordre décodée en VBAP avec un hyperangle calculé pour hexaphonie régulière. Le nombre de variations périodiques des rayons semble égale au nombre de haut-parleurs, mais c'est à la somme de symétries entre les haut-parleurs que les vecteurs réagissent.

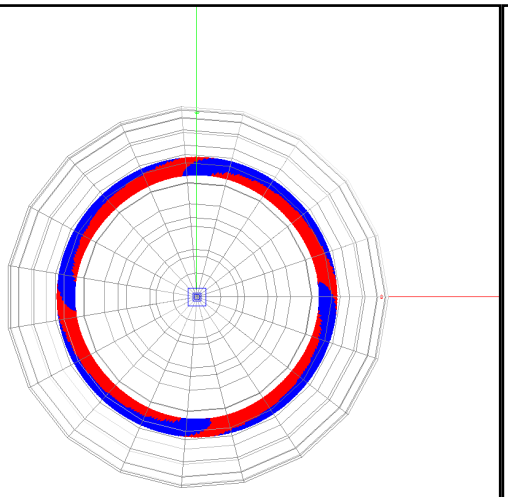


Fig.5.8.3.4 Traitement hypersphérique sur une ambisonie de cinquième ordre décodée en VBAP avec un hyperangle calculé pour octophonie régulière. Le nombre de variations périodiques des rayons n'est pas égal au nombre de haut-parleurs, mais à la somme de symétries. En octophonie, le nombre de haut-parleurs est multiple du nombre de symétries. Le rayon du vecteur d'énergie diminue quand la source s'approche des seuils de symétrie. En quadriphonie, c'est le vecteur de vélocité qui s'éloigne quand la source s'approche des seuils de symétries.

Sur un *kick hardcore* diffusé sur une quadriphonie 2D régulière, l'optimisation par un traitement hyperangulaire de 43,7868° à 136,2132 me semble mettre plus en valeur le champ diffus qu'en le bornant de 45° à 135°. La différence est encore plus audible quand on compare ces orientations décimales de l'hyperangle avec un domaine hypersphérique de premier ordre, où le champ diffus est absent. L'impact du *kick* est joué pendant la fin du fondu enchaîné, quand le champ diffus se concentre en source ponctuelle à l'avant du *dance-floor*. Les différentes composantes spatiales mises en valeur par les orientations de l'hyperangle interagissent avec les transitoires d'attaque du *kick*. Différentes orientations sont prises pour traiter le kick au fur et à mesure des *lives* enregistrés durant cette thèse. Ces choix sont commentés d'après des exemples sonores dans la dernière partie de cette thèse, Lives ambisoniques : analyse et commentaires, p.200.

Le traitement hypersphérique décodé en VBAP régulière permet de contrôler précisément la taille de rayon des vecteurs. Avec un hyperangle à 45°, le résultat sonore est proche du décodage en VBAP du seul premier ordre ambisonique. En le refermant vers 0°, les vecteurs se rapprochent, surtout le vecteur de vélocité. Le champ diffus, quasiment inexistant à 45°, demeure lointain à 0°, mais le vecteur de vélocité, plus proche que le vecteur d'énergie, suggère que les composantes spatiales inférieures à 700 Hz sonnent plus fort. Le résultat sonne de manière légèrement plus brillante avec un hyperangle à 0°, et l'on peut en revanche entendre légèrement plus de basses avec un hyperangle à 45°. Il est difficile d'entendre à quel moment les composantes spatiales graves ou aiguës s'estompent quand on varie l'hyperangle de manière continue entre 0° et 45°. Il semble plus facile de les entendre émerger dans la dizaine de degrés qui précédent la valeur hyperangulaire atteinte, à partir d'environ 10° vers 0°, et à partir de 35° vers 45°.

Le comportement des vecteurs est une donnée visuelle répondant à des calculs qui ne correspondent pas forcément au rendu sonore, surtout si l'on exploite une mince échelle d'indétermination dans le champ diffus avec le traitement hypersphérique. Cette indétermination est propre au traitement

numérique dans l'analyse de la forme d'onde, quel que soit le nombre de dimensions de cette forme d'onde. Les orientations de l'hyperangle établissent, pour chaque volume sonore attribué à un instrument, un équilibre entre la détermination de la source et l'indétermination du champ.

5.9 Compatibilité des domaines hypersphériques avec les opérations de décodage

Dans les harmoniques hypersphériques en 4D, l'exponentielle complexe *e* définit l'orientation du second vecteur par rapport au premier et se substitue donc au second domaine sphérique qui traite la deuxième source. Je choisis d'implémenter les harmoniques hypersphériques 4D sans cette exponentielle complexe afin de traiter 2 domaines circulaires, comme les harmoniques hypersphériques 6D traitent 2 domaines sphériques (Fig.5.9.1, 5.9.2).

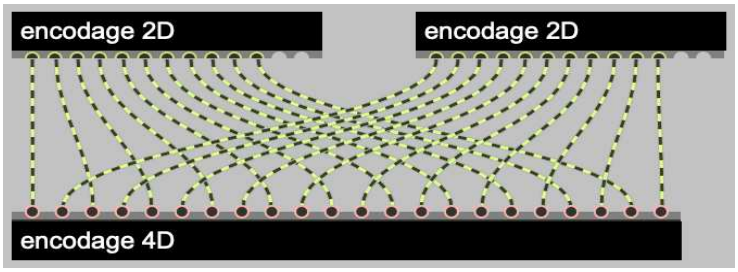


Fig.5.9.1 Encodage hypersphérique en 4D, au 5e ordre ambisonique.

```
x= _,_;
// Ambisonic Order;
encoder4D (N, x, Beta) = par(i, 2*N+1, x: y(order(i), Beta))
with {
        order(index) = ((index)+1) + (((index)+1)*0.5 <: int, int, float : _, ==: _*_ :>_*(-2)+
(int((((index)+1)+1 ) * 0.5) *(-1)));
```

En 4D, « x » double le nombre d'entrées de l'*ACN* (2*N+1), et regroupe par paire les canaux ambisoniques d'ordre égal issus des deux domaines circulaires:

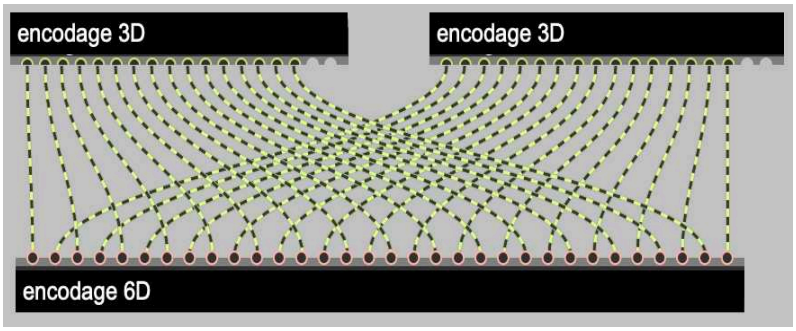


Fig.5.9.2 Encodage hypersphérique 6D d'ordre 3.

```
x=_,_;
encoder6D (N, x, Alpha) = par(i, (N+1) * (N+1), (_, _):y(degree(i), order(i), Alpha))
with {
    degree(index)= int(sqrt(index));
    order(index)= int(index - int(degree(index) * int(degree(index) + 1)));
```

En 6D, « x » double le nombre d'entrées de l'*ACN* 3D (N+1) * (N+1), et regroupe par paire les canaux ambisoniques d'ordre égal issus des deux domaines sphériques. Quand l'hyperangle est pleinement orienté vers un seul des deux vecteurs, le résultat sonore doit être le même qu'en l'absence de traitement hypersphérique, ce qui nécessite une opération d'optimisation, car les harmoniques sphériques locaux sont sur-mixés, et les normalisations altèrent l'équilibre de l'espace sphérique, avec différents résultats en 4D et en 6D.

En 4D le nombre d'ordre de chaque degré du domaine circulaire est dupliqué:

- avec un degré ambisonique N, le nombre de canaux est égal à 4*N+1.

En 6D le nombre d'ordre de chaque degré du domaine circulaire est dupliqué

- avec un degré ambisonique N, le nombre de canaux est égal à (N^2)*8+N+1.

Ces deux traitements offrent plusieurs qualités de d'optimisation et de fondu enchaîné, par les diverses relations qu'ils établissent entre le champ et la source : ces diverses relations s'expriment par la colinéarité des vecteurs d'énergie et de vélocité. Le traitement hyperangulaire qui détermine le fondu enchaîné met en valeur la relation qu'entretient le canal omnidirectionnel, en tant que centre de masse, avec les canaux directionnels: cette relation est exprimée par la taille des vecteurs d'énergie et de vélocité. La colinéarité des vecteurs exprime l'exactitude perçue pour l'orientation de la source, et l'égalité de leur rayon exprime l'exactitude perçue dans la distance de la source. En 4D, la colinéarité des vecteurs diffère selon le nombre de décompositions angulaires qui interviennent dans l'opération de décodage. Les rayons des vecteurs peuvent être modulés en modifiant le volume sonore du canal omnidirectionnel *m*0, avec ou sans traitement hypersphérique. S'il n'est pas toujours possible de les égaliser, une moyenne peut cependant être établie au plus proche de zéro pour mesurer l'asymétrie périodique entre le vecteur qui s'éloigne et celui qui se rapproche. L'hyperangle peut intervenir à la fois sur la colinéarité des vecteurs et leur rayon. Là non plus, il n'est pas toujours possible d'obtenir une parfaite colinéarité, mais l'asymétrie périodique entre le vecteur qui accélère et celui qui ralentit peut se mesurer depuis une moyenne au plus proche de zéro. Différents seuils d'égalité de rayon et de colinéarité apparaissent selon le traitement hypersphérique utilisé.

La recherche de ces seuils commence par réduire la contribution du canal omnidirectionnel m0 jusqu'à ce que l'incertitude de la distance oscille périodiquement autour d'une moyenne la plus proche possible de zéro. L'incertitude de la distance mais aussi de l'orientation peut déjà être ainsi réduite.

Quand l'hyperangle s'oriente de 180° vers 90°, l'incertitude de l'orientation est réduite jusqu'à un seuil où l'hyperangle n'a plus l'effet escompté : non seulement l'incertitude cesse de se réduire, mais elle peut même à nouveau s'amplifier. À 0° ou180°, l'espace sonore est une source ponctuelle accompagnée d'un champ diffus. Avec un hyperangle à 90°, l'espace sonore est un champ diffus où la position et la vitesse ne sont pas déterminées. Alors que le principe d'incertitude devrait logiquement s'accroître pendant que le fondu enchaîné transforme la source ponctuelle en champ diffus, il se réduit : en passant par ce seuil de réduction du principe d'incertitude, le champ diffus émerge par une détermination du comportement des composantes spatiales pendant leur transformation entre l'état de source et l'état de champ.

Maintenant que l'incertitude dans l'orientation est réduite par l'hyperangle, le canal omnidirectionnel *m*0 doit maintenant être amplifié pour retrouver une moyenne proche de zéro dans l'incertitude de la distance. Déjà modérée par la valeur de l'hyperangle proche de 90°, l'incertitude de la distance se réduit encore au fur et à mesure que sa moyenne se rapproche de zéro. Amplifier le canal omnidirectionnel *m*0 après avoir modulé l'hyperangle peut améliorer ou détériorer la stabilisation de l'incertitude de la vitesse autour de la moyenne au plus proche de zéro, l'hyperangle peut alors à nouveau être modulé pour retrouver cette moyenne.

La méthode de recherche des seuils d'incertitude consiste à établir d'abord une première relation entre les canaux directionnels et un canal omnidirectionnel sous-mixé pour observer l'effet de l'hyperangle quand le fondu enchaîné commence à s'éloigner de l'état de source. La méthode consiste ensuite à établir une seconde relation entre les canaux directionnels et un canal omnidirectionnel cette fois sur-mixé, afin d'observer l'effet de l'hyperangle quand le fondu enchaîné s'approche de l'état de champ. Le mixage du canal omnidirectionnel sert de microscope pour observer l'effet de l'hyperangle à différentes étapes du fondu enchaîné. C'est par interaction avec l'hyperangle que le canal omnidirectionnel prend le rôle centre de masse qui détermine comment émergent et se fondent les champs indéterminés.

Observer ces seuils apporte une information sur la qualité du fondu enchaîné offerte par les formats hypersphériques. La modération des canaux d'ordre pair semble se traduire par plus de colinéarité et d'égalité de rayon dans le comportement des vecteurs pendant le fondu enchaîné. Les sources semblent conserver un caractère plus directionnel qu'en l'absence de traitement hypersphérique, alors qu'elles s'éloignent pour se fondre dans le champ diffus ou qu'elles en émergent.

Les traitements hypersphériques 6D sont décodés avec l'objet *3d.decoder~*[91] paramétré en mode *regular* pour ne pas altérer les vecteurs d'énergie et de vélocité. Toutefois, la diffusion sur un *dance-floor* ne peut faire abstraction du sol et nécessite donc un décodage irrégulier, car un

[91] Cet objet est présent dans HOA 2.2

décodage régulier implique la présence de haut-parleurs inférieurs au niveau du sol. Avec ce type de décodage, les traitements hypersphériques 6D semblent pouvoir réduire totalement ce principe d'incertitude. Les décodeurs 3D réguliers réalisés récemment en Faust[92] permettent d'observer le comportement des vecteurs qui analysent le domaine hypersphérique 6D, mais aucun comportement singulier n'est pour l'instant observable.

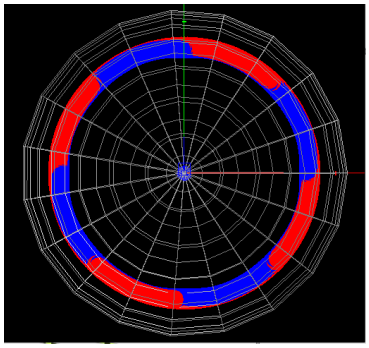


Fig. 5.9.3 Optimisation 3D *basic*.

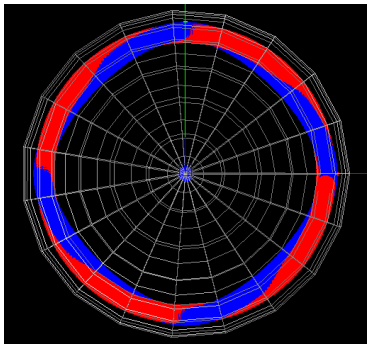


Fig. 5.9.4 Optimisation 3D *maxRe*.

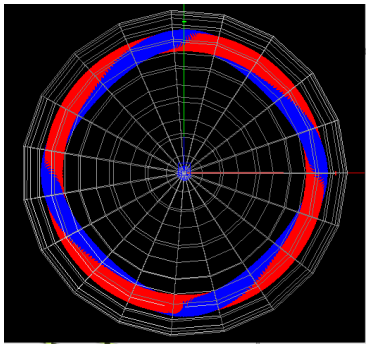


Fig. 5.9.5 Optimisation 3D *inPhase*.

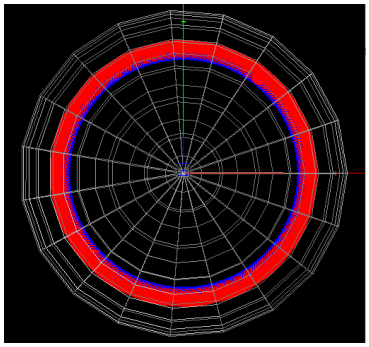


Fig. 5.9.6 Optimisation 6D.

Décodage 3D régulier	optimisation 3D basic	optimisation3D maxRe	optimisation 3D inPhase	optimisation 6D
Incertitude de distance	*m*0*5.25	*m*0*4.19	*m*0*3.485	*m*0*3.707896
Incertitude de vitesse	irréductible	irréductible	irréductible	constant

Avec un décodage quadriphonique, le format hypersphérique 4D semble réduire l'incertitude dans la perception de la vitesse et de la distance. Cette réduction de l'incertitude semble s'appliquer à la phase qui marque l'oscillation des vecteurs, symétrique et discrète, en forme d'onde en créneaux.

[92] La nouvelle bibliothèque abc.lib 1.1.1, intégrée au *package* de Max-msp, est disponible depuis l'été 2025.

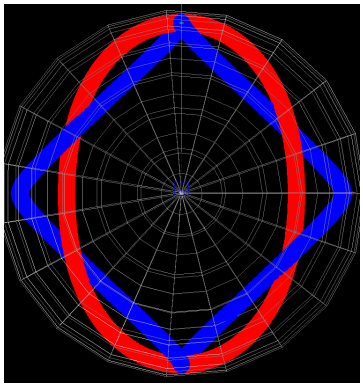


Fig. 5.9.7 Optimisation 2D basic sur 4 hp.

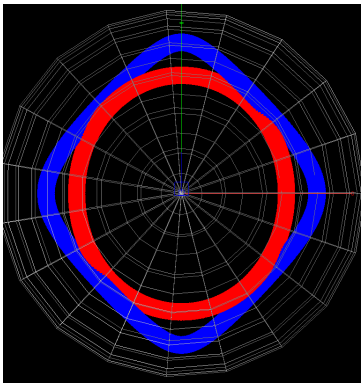


Fig. 5.9.8 Optimisation2D maxRe sur 4 hp.

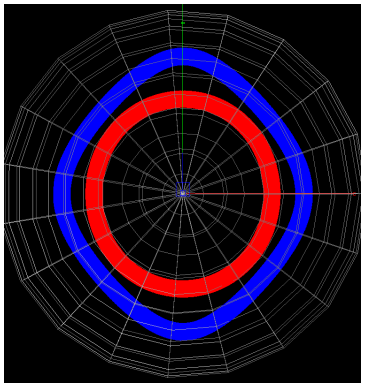


Fig. 5.9.9 Optimisation 2D inPhase sur 4 hp.

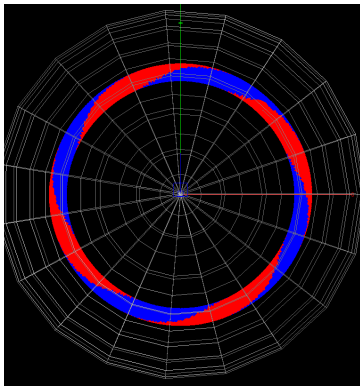


Fig. 5.9.10 Optimisation 4D sur 4 hp.

Décodage 2D VBAP sur 4 HP	optimisation 2D basic	optimisation2D maxRe	optimisation 2D inPhase	optimisation 4D
Incertitude de distance	irréductible	irréductible	irréductible	*m*0*0.5101
Incertitude de vitesse	irréductible	irréductible	irréductible	irréductible

Bien que la relation entre le nombre de haut-parleurs et la fréquence d'oscillations soit observable, elle ne semble pas répondre à un mécanisme linéaire. Le format hypersphérique 4D reproduit dans le comportement des vecteurs la même colinéarité avec un nombre pair de décompositions angulaires supérieur à 4 pour l'opération de décodage qu'en l'absence de traitement hypersphérique : cette constance dans la colinéarité a pour autre origine le traitement en VBAP circulaire utilisé dans l'opération de décodage. Le seuil d'amplitude du canal omnidirectionnel où les rayons sont égaux est aussi le même. Le comportement des vecteurs peut sembler le même alors que les optimisations du domaine sphérique ou hypersphérique décodé sont radicalement différentes : l'expression de la relation entre le champ et la source par les vecteurs d'énergie et de vélocité n'est que partielle.

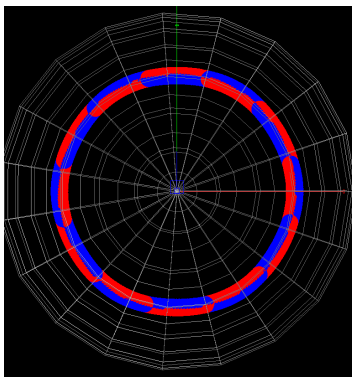


Fig. 5.9.11 Optimisation 4D sur 6 haut-parleurs.

Décodage 2D VBAP sur 6 HP	encodage 2D basic	encodage 2D maxRe	encodage 2D inPhase	encodage 4D
Incertitude de distance	*m*0*1.236068	*m*0*0.954111	*m*0*0.819437	*m*0*18.82601
Incertitude de vitesse	constant	constant	constant	180°*0.52

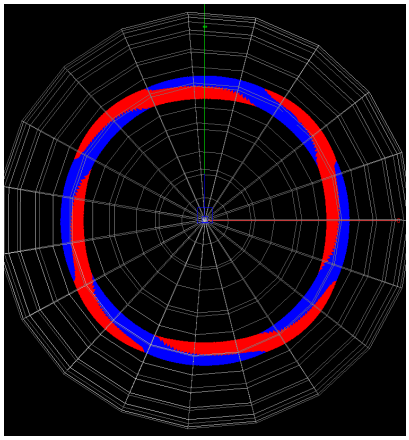


Fig. 5.9.12 Optimisation 4D sur 8 haut-parleurs.

Décodage 2D VBAP sur 8 HP	encodage 2D basic	encodage 2D maxRe	encodage 2D inPhase	encodage 4D
Incertitude de distance	*m*0*1.236068	*m*0*0.954111	*m*0*0.819437	*m*0*13.522945
Seuil de colinéarité	constant	constant	constant	180°*0.529

Le format 4D semble détériorer l'exactitude des vitesses et des distances perçues quand les décompositions angulaires augmentent dans l'opération de décodage. Ce format peut toutefois atteindre des degrés ambisoniques élevés et semble adapté pour jouer en *free-party* quand les *sound-systems* ne peuvent excéder la quadriphonie.

Les ordres négatifs et positifs sont considérés selon leur valeur absolue dans le domaine hypersphérique. La valeur absolue est transformée en valeur négative pour définir par le paramètre λ les harmoniques sphériques locaux avec des valeurs possiblement supérieures à 1, afin d'exploiter les degrés supérieurs du polynôme utilisé.

La présence de la valeur λ différencie le degré ambisonique et le degré du polynôme. En multipliant par -1 la valeur absolue de l'un des deux ordres dans le calcul de λ, il est possible d'obtenir un résultat égal à 1, donc de traiter le second degré ambisonique par le premier degré du polynôme de Jacobi.

Dans le traitement 4D toute valeur de λ inférieure ou égale à 2 est ignorée, le premier degré du polynôme de Gegenbauer n'intervient pas dans les rangs ambisoniques considérés comme harmoniques sphériques locaux. Dans les degrés supérieurs du polynôme, la valeur λ intervient dans une division qui diminue fortement la contribution des canaux d'ordre pair : la valeur de λ est égale à 3 pour le second degré, et 6 pour le quatrième. Cette haute valeur de λ résulte de la distribution des canaux pour un traitement 4D dans un ordre ambisonique débridé par l'absence de limite dans les degrés du polynôme de Gegenbauer.

En 6D, la valeur λ est calculée en ajoutant 1/2 à la valeur des ordres ambisoniques. Avec cette valeur de λ, tous les degrés des polynômes interviennent dans le traitement hypersphérique. En 6D, ce sont cette fois les ordres impairs qui sont traités par le polynôme, et les ordres pairs qui deviennent les harmoniques sphériques locaux. L'observation du comportement des vecteurs avec un décodeur 3D incluant la VBAP permettrait peut-être de mieux comprendre les singularités des traitements en 6D.

5.10 Dualité onde/corpuscule et dualité champ/source

Le caractère indéterminé de l'onde de probabilité semble se retrouver dans la perception que nous avons du champs diffus. Le mécanisme de cette indétermination est énoncé par Werner Heisenberg dans le *principe d'incertitude* :

> « (…) Si l'on prend une masse m définie, il fait tout à fait sens, selon notre intuition habituelle, de parler de position et de vitesse du centre de gravité de cette masse m. En mécanique quantique, en revanche, il doit exister une relation $pq - qp = h/2\pi i$ entre la masse, la position et la vitesse. Nous avons également de bonnes raisons d'avoir des soupçons envers une utilisation sans examen critique de ces derniers termes de « position » et de « vitesse ». Si l'on admet que des discontinuités sont d'une quelque manière typiques des processus à des échelles spatio-temporelles réduites, une contradiction entre les concepts de « position » et de « vitesse » est même tout à fait plausible : si l'on considère par exemple le mouvement unidimensionnel d'une masse ponctuelle, alors on peut, dans le cadre d'une théorie du continu, tracer une courbe représentative x(t) de la trajectoire de cette particule (ou, plus exactement, de son centre de gravité) (…), dont la tangente donnerait à chaque instant sa vitesse dans le cadre d'une théorie du discret, il peut apparaître à la place de cette courbe une série de points à intervalles finis (…). Dans ce cas, il ne fait manifestement pas sens de parler de la vitesse à une position donnée, parce que justement, tout d'abord, une vitesse ne peut être définie qu'entre deux positions, et, réciproquement, parce qu'à tout point sont associées deux vitesses différentes[93]. »

Plus l'espace est décomposé en un nombre important d'harmoniques sphériques, plus il est difficile d'estimer à la fois la vitesse et la position des corps dans les harmoniques de hauts degrés, pour les particules comme pour les sons spatialisés.

Les particules évoluent par paquets discrets alors que les sources sonores peuvent être composées pour obtenir une illusion de déplacement continu dans l'espace sonore. L'expérience de simulation de trous noirs par des trous muets où le son remplace la lumière est un cas où l'onde sonore se déplace par paquets discrets, comme un corpuscule: le son prend alors le nom de phonon[94]. Cette expérience prouve que l'onde sonore peut être utilisée comme onde de probabilité. La différence

---

[93] Traduit de l'allemand par Svenbro, Anna, « Sur le contenu intuitif de la cinématique et de la mécanique quantiques », dans *Werner Heisenberg,* Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik *(1927). Traduction en présentation bilingue suivie d'un commentaire critique*, Mémoire universitaire, Université Paris X-Nanterre, 2007, p. 8-34 (p. 9).

[94] Roads, Curtis, *op cit*.. Chapter 1 Times scales of music, Subsample Time Scale, Atomic Sound: Phonon and Polarons.

d'échelle n'est donc pas un obstacle physiquement infranchissable, mais les conditions dans lesquelles l'onde sonore nous est audible ne permettent pas de lui faire adopter le comportement discret d'une onde de probabilité: la multitude de grains décoréllés qui peut constituer un champ diffus par une somme de déplacements discrets demeure une somme d'ondes sonores.

Même si une place est laissée au hasard dans le *live*, notamment par le choix d'improviser mais aussi d'utiliser des calculs statistiques pour que certains événements s'auto-déterminent, c'est toujours à la personne qui joue en *live* de déterminer comment intervient cette indétermination. Les choix de la personne qui joue en *live* sont eux-mêmes déterminés par des éléments internes et externes au *live,* avant et pendant le *live* :

> « Si nous somme forcés d'admettre que la cognition ne peut être proprement comprise en dehors du sens commun, et que ce sens commun n'est rien d'autre que notre histoire corporelle et sociale, alors l'inévitable conclusion est que le connaissant et le connu, l'esprit et le monde, demeurent en relation l'un à l'autre à travers une spécification mutuelle ou coordination dépendante[95]. »

Composer l'espace sonore par sources ponctuelles ou champs diffus consiste à déterminer leur état, alors que l'état d'une particule est toujours indéterminé: plus l'on mesure sa vitesse, moins on peut estimer sa position; plus on connaît sa position, moins on peut estimer sa vitesse. Cette indétermination dans la forme d'onde se retrouve dans l'analyse du son par fenêtre temporelle glissante : le choix de la taille et de la position de la fenêtre influence le résultat, l'observation interagit avec l'objet observé. Plus la fenêtre est petite, plus elle peut analyser des formes d'ondes courtes au détriment des formes d'ondes plus longues. Plus la fenêtre est large, plus elle peut analyser de longues formes d'ondes au détriment des formes d'ondes plus courtes. Autrement dit, plus nous identifions la fréquence d'un son, moins nous connaissons ses particularités temporelles, et inversement. En ambisonie d'ordre supérieur, les vecteurs d'énergie et de vélocité analysent simultanément par différentes fenêtres la qualité du décodage: leur comportement colinéaire indique que les composantes spatiales graves et aiguës de la source sonore sont détectées dans la même zone de l'espace ambisonique. Le *kick* spatialisé en ambisonie d'ordre supérieur contient dans son attaque des composantes aiguës qui déclinent vers le grave, il est donc important que les deux vecteurs demeurent colinéaires pour que le déclin de son enveloppe soit toujours perçu dans l'espace en tant que source sonore. La longueur d'onde des fréquences basses détermine pour la

---

[95] Notre traduction de Varela, Francisco, J. Thompson, Evan. Rosch, Eleanor, *The embodied mind*, *Cognitive Science and Human Experience*, Cambridge (Massachusetts)-London, The MIT Press, 1991.

source une limite de vitesse au-delà de laquelle le *kick* s'entend comme champ diffus, même si le comportement des vecteurs demeure colinéaire. L'attaque du *kick* intervient pendant le fondu enchaîné, quand la superposition d'état des sources constitue un champ sonore de forme orbitale *p*.

III COMPOSITION DES ESPACES SONORES PARADOXAUX

III COMPOSITION DES ESPACES SONORES PARADOXAUX

L'interaction entre la spatialisation et le langage musical doit permettre de conserver la qualité chronotrope de chaque énergie musicale. Le matériau sonore est pourtant irrémédiablement altéré par la spatialisation, ce qui implique et explique des choix pour la synthèse des instruments et pour leur mixage, principalement en fonction de la résistance à l'entropie.

La forme musicale est également altérée par la spatialisation, ce qui implique encore des choix dans le jeu en *live*, et la programmation des possibilités d'intervention en temps réel.

Les *lives* enregistrés pendant ces années de recherches marquent des étapes dans l'échelle de maturation du projet de spatialisation du *live*, évaluée d'après la qualité avec laquelle la spatialisation du son restitue les énergies musicales, et interagit avec leur qualité chronotrope.

Au fur et à mesure des *lives*, les moyens d'écriture de l'espace sonore s'inspirent de plus en plus des contextes atomiques à partir desquels la méthode des harmoniques hypersphériques peut être utilisée. Plusieurs propriétés étudiées en physique quantique dans les ondes de probabilités peuvent être reprises pour composer des ondes sonores. Certaines de ces propriétés sont communes à la physique des ondes, d'autres sont des correspondances que j'ai constatées en composant des espaces sonores paradoxaux, et dont je me sers comme outils d'écriture : c'est le cas pour les conjugaisons de symétries spatio-temporelles. Ce que je rappelle à propos de ces propriétés quantiques est incomplet, mais suffisant pour expliquer comment elles peuvent devenir des outils fonctionnels afin de composer l'espace sonore. Je ne prétends pas proposer un modèle pouvant s'appliquer en recherche nucléaire : je fais jouer un rôle à ce modèle dans la spatialisation du son orientée pour le *live*.

- Deux sources sonores font le tour de l'azimut, chacune dans le sens contraire de l'autre azimutales. Elles se croisent alors périodiquement en deux coordonnées azimutales diamétralement opposées. Ce comportement symétrique constitue la conséquence d'une première propriété limitée à deux états, attribués aux sources, qui évoluent alors selon une première symétrie, dite de *parité :* les coordonnées spatiales (x, y, z) sont symétriques à (-x, -y, -z)
- Deux autres sources adoptent le même comportement, en suivant la première paire comme un écho : les sources de la seconde paire se croisent en une coordonnée azimutale alors diamétralement opposée à celle où se croisent les sources de la première paire. Cette seconde paire est traitée en opposition de phase avec la première. Cet état opposé entre chaque paire résulte d'une seconde propriété, elle aussi limitée à deux états attribués aux deux paires de sources, qui interagissent alors selon une seconde symétrie, dite de *charge* : une charge positive est symétrique à une charge négative, comme sont symétriques les amplitudes en opposition de phase.

- Quand la première paire de sources accélère pendant une certaine durée, l'autre paire ralentit pendant la même durée. Ce troisième comportement symétrique constitue la conséquence d'une troisième propriété, toujours limitée à deux états attribués aux deux paires de sources qui évoluent selon une troisième symétrie, dite de *temps:* un temps s'écoulant de 0 à 1 est symétrique au temps s'écoulant de 1 à 0.

Les possibles interactions entre ces symétries de charge, de parité, et de temps, sont appelées *conjugaisons*. Elles me servent à composer les espaces sonores paradoxaux sous forme de boucles spatiales musicalement associées au temps périodique des musiques de *free-party*.

Pour composer une boucle spatiale par conjugaison de symétrie, je me sers du système à 3 corps, qui décrivait jusqu'ici l'interaction nucléaire forte entre les 3 quarks présents dans un hadron, afin de décrire maintenant la relation entre un noyau atomique (constitué de deux hadrons) et deux orbitales *S* qui entourent le noyau. Je décris cette relation dans un atome léger, mais elle peut être imaginée dans un atome plus massif pour correspondre au domaine sphérique décodé en ambisonie d'ordre supérieur.

Cet atome plus massif peut être décomposé en une somme de système à trois corps qui regroupent les électrons, mais je fais abstraction de cette complexité : l'onde sphérique qui contient les électrons dans cet atome imaginaire doit correspondre à l'état de la source sonore directionnelle que j'utilise en *live*. Par cet état déterminé, l'onde sonore se distingue particulièrement de l'onde de probabilité où la vitesse et la position des électrons sont indéterminées.

Comme l'onde est directionnelle, les probabilités de mouvement des électrons dans les orbitales supérieurs sont limitées à celles de l'orbitale *S*, qui correspond au canal omnidirectionnel : il n'y aucune variation possible dans la position et la vitesse des sources sonore en monophonie. La direction de l'onde est déterminée à partir du premier ordre ambisonique, qui correspond à l'orbitale *P*. Sa direction peut être exprimée par l'un des vecteurs de Jacobi.

Dans ce nouveau système à 3 corps, le noyau est le centre de masse attribué au *sweet-spot*, et deux groupes d'orbitales sont attribuées aux deux sources sonores : l'un composé d'électrons l'autre de positrons, afin que leur symétrie de charge symbolise l'opposition de phase quand l'onde est sonore. Dans mon atome imaginaire, les variations périodiques de charge déterminent la relation entre la force nucléaire forte, qui retient les quarks dans les hadrons du noyau, et la force électromagnétique qui empêche les orbitales atomiques de s'effondrer sur le noyau[96]. Passer de l'échelle du noyau à l'échelle de l'atome permet d'attribuer l'opposition de phase entre les sources aux charges entières des leptons contenus dans l'orbitale.

---

[96] En cosmologie, une étoile à neutron est un corps stellaire où tous les électrons se sont effondrés sur les protons, il ne reste donc que des neutrons. Cette étoile sert, par ailleurs, de modèle en musique pour la synthèse *pulsar*. On peut lire à ce sujet: Roads, Curtis, *L'audionumérique, Musique et informatique,* traduit de l'anglais par Jean de Reydellet, Paris, Dunod, 2007, chapitre 22, la synthèse Pulsar, p. 435,

Pour composer la boucle des espaces sonores paradoxaux, les harmoniques hypersphériques sont imaginés dans l'étude d'une cristal temporel, une matière exotique particulièrement résistante à l'entropie grâce à sa structure, dans laquelle les symétries de l'espace sont reportées dans une périodicité temporelle[97]. Le cristal temporel produit ainsi sa propre érosion sur le long terme, comme la sérotonine qui détermine la résistance du sentiment musical qu'elle ne cesse d'éroder.
Plus concrètement que dans cette analogie, la conjugaison de symétries est un moyen d'associer l'action psychotrope au traitement de l'espace sonore : la spatialisation en forme de boucle doit épouser les boucles musicales des musiques de *free-party* pour résister aux deux formes d'érosion. La durée des boucles spatiales détermine comment elles interagissent avec les boucles instrumentales dans cette résistance. Les boucles spatiales courtes contiennent moins d'informations sonores que les longues. Quand elles sont de courte durée, elles peuvent résister à l'érosion causée par l'excès d'information ; quand elles sont de longue durée, elles peuvent résister à l'érosion provoquée par le manque d'information.

6 Notation des sources ponctuelles

J'imagine d'abord vaguement comment pourrait sonner un *live* en ambisonie sans savoir exactement comment concrétiser mes idées, donc sans savoir si ce que j'imagine pouvoir entendre est réellement audible. Mettre en oeuvre cette abstraction confronte l'imagination à la faisabilité et dépourvoit l'idée d'espace sonore paradoxal du caractère flou de cette abstraction. Avec les harmoniques hypersphériques, je dispose d'une méthode scientifique pour réaliser une fiction. Certaines caractéristiques propres au contexte quantique des harmoniques hypersphériques, se retrouvent en musique quand le même modèle mathématique est utilisé en ambisonie. S'ouvre alors un domaine d'écriture musicale où le fonctionnement de l'ambisonie d'ordre supérieur ressemble souvent à la mécanique quantique. Ce domaine musical d'écriture suit alors un chemin tracé par le courant littéraire *hard-science*, une forme de science-fiction qui s'inspire des connaissances scientifiques contemporaines pour imaginer des situations à la fois fictives et scientifiquement vraisemblables[98]. Cette équivalence musicale se différencie du courant littéraire par l'appellation *science-core*. Puisque les harmoniques hypersphériques sont utilisés dans l'étude des matières exotiques comme systèmes comportant au moins 3 corps, de nouvelles matières exotiques peuvent être imaginées comme modèles opératoires en ambisonie pour composer des espaces sonores paradoxaux. La composition symétrique des sources dans l'espace et le temps mis en boucle place

[97] Wilczek, Frank, « Quantum Time Crystals », *Physical Review Letters,* 109 (16), Octobre 2012.

[98] *De la Terre à la Lune*, de Jules Vernes, peut rétrospectivement être considérée comme une oeuvre littéraire *hard-science*.

le contexte des hyper-noyaux dans celui des cristaux temporels, une matière exotique où les particules sont périodiquement ordonnées dans l'espace où elles se déplacent selon un temps cyclique.

Afin de restituer avec fidélité les diverses énergies musicales sur un *dance-floor* ambisonique, l'espace sonore est écrit en tant que boucle, tout comme les boucles instrumentales en tekno. Les espaces sonores paradoxaux déterminent le début et la fin de la boucle dans l'espace. La mécanique de fondu enchaîné entre les sources aux phases opposées fonctionne de manière continue entre le moment où la boucle s'achève et celui où elle commence. Ce fondu enchaîné doit faire coïncider la fin et le début de la boucle, de manière à ce qu'elle commence pendant qu'elle s'achève, ce qui est une mécanique paradoxale. L'espace sonore paradoxal est composé par ce fondu enchaîné entre deux boucles spatiales. Ces deux boucles spatiales sont continues car elles commencent et s'achèvent avec la même orientation azimutale. Les deux boucles jumelles sont déphasées de moitié l'une de l'autre pour que le fondu enchaîné détermine le début et la fin de la boucle selon deux orientations angulaires différentes. Cette opération de fondu enchaîné entre les boucles constitue une transposition spatiale du principe selon lequel la mise en boucle d'un son enregistré doit commencer et s'achever selon la même amplitude, pour éviter que la variation discrète de l'amplitude ne crée un son supplémentaire à l'échantillon enregistré. La transposition de ce principe en ambisonie d'ordre supérieur par le fondu enchaîné fait osciller la boucle spatiale entre l'état de source ponctuelle et l'état de champ diffus. Le champ diffus est un état de l'espace sonore où aucune source ponctuelle ne peut être déterminée à l'audition. Le fondu enchaîné fait coïncider le début et la fin de la boucle spatiale dans l'indétermination de ce champ diffus où l'orientation des sources ponctuelles, bien que déterminée, s'entend selon un seuil d'indétermination délimité par la différence angulaire entre les sources.

Ce champ diffus est également construit par l'opposition de phase entre le début et la fin de la boucle spatiale. Pendant cette opposition de phase, le canal omnidirectionnel est silencieux. Durant le fondu enchaîné, la phase de l'amplitude de ce canal épouse la phase de l'amplitude des deux sources. Le canal omnidirectionnel du domaine hypersphérique est lui-même constitué des deux canaux omnidirectionnels des domaines sphériques. Les phases des canaux omnidirectionnels sont les mêmes que dans les canaux directionnels de premier ordre, mais elles s'annulent quand elles sont décodées dans un seul canal, comme les canaux directionnels d'ordre pair. La phase du canal omnidirectionnel décodé correspond donc à la valeur hyperangulaire traitée par le polynôme. Les rangs harmoniques traités par le polynôme ont par conséquent la même courbure de phase que le canal omnidirectionnel avant d'être normalisés. La relation entretenue entre le canal omnidirectionnel et les ordres ambisoniques exclus des harmoniques sphériques locaux illustre le

rôle du canal central comme centre de masse. Sur le *dance-floor* ambisonique, le centre de masse est le *sweet-spot*, optimisé à l'échelle du *dance-floor*. Le *dance-floor* correspond au corps immobilisé comme centre de masse, il est donc virtuellement pensé en mouvement dans sa relation aux deux autres corps correspondant aux sources. Ce rapport entre le *sweet-spot* et les sources sonores peut évoquer une situation où un corps exerce une force d'attraction ou de répulsion sur l'espace-temps, qu'il déplace alors par rapport à lui. L'objet se déplace tout en restant sur place, de manière paradoxale.

Avant de concrétiser les espaces sonores paradoxaux sous forme de boucle spatiales en prenant comme modèle le cristal temporel, je m'inspirais d'un modèle théorique de la cosmologie pour les composer : le trou de vers. Il s'agit d'une hypothèse imaginée par A. Einstein, liée à celle des trous noirs et des fontaines blanches[99]. Le trou de vers est une théorie selon laquelle un court-circuit spatio-temporel peut survenir lors une extrême courbure de l'espace-temps, et demeurer en équilibre en s'alimentant de matière exotique[100] (Fig. 6.1).

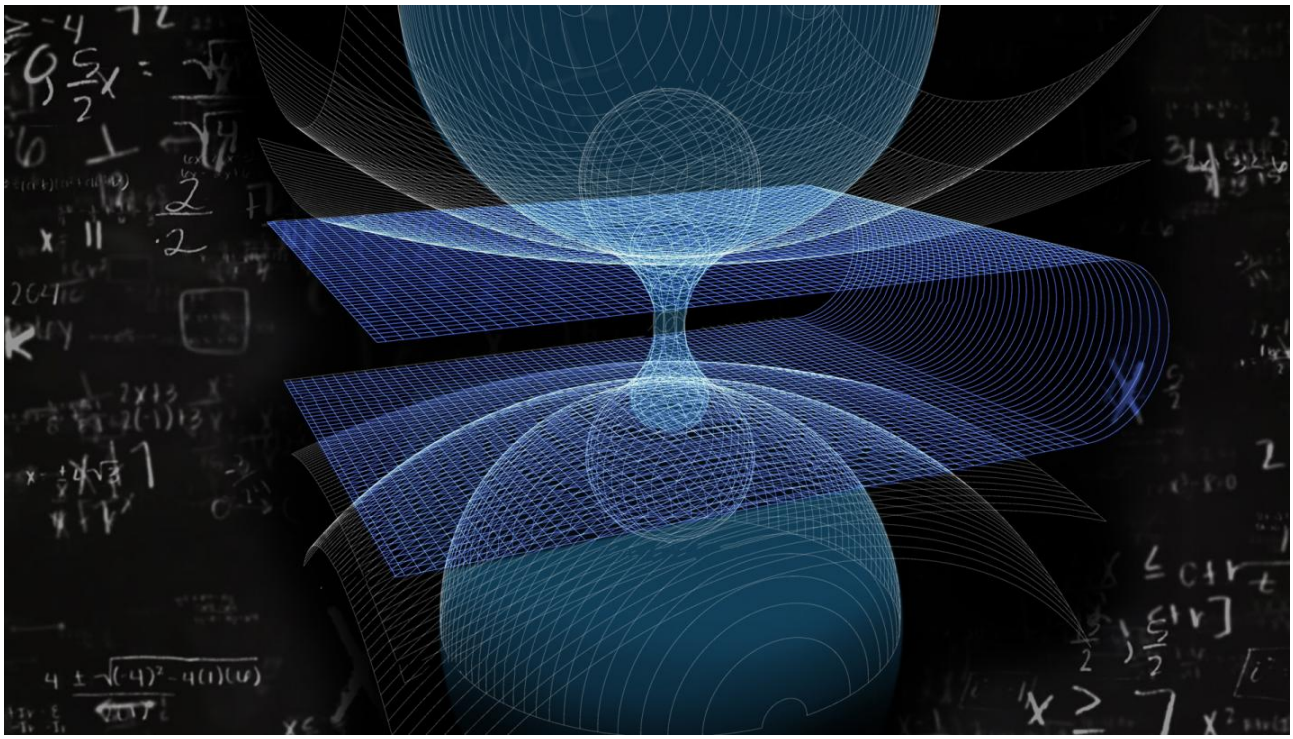


Fig. 6.1 Un trou de vers se forme hypothétiquement pendant une courbure symétrique de l'espace-temps. Le sens unique du trou de vers rappelle l'espace sonore paradoxal, où l'opposition de phase donne l'illusion que la position virtuelle d'écoute se déplace toujours vers l'avant. Image consultée sur le site https://scitechdaily.com/physicist-details-the-shape-of-a-symmetrical-wormhole/

[99] Einstein, Albert & Rosen, Nathan, « The Particle Problem in the General Theory of Relativity », *Physical Review*, 48 (1), juillet 1935, p. 73-77.

[100] Collas, Peter & Klein, David, « Embeddings and time evolution of the Schwarzschild wormhole », *American Journal of Physics* 80 (3), 2012, p. 203-210. https://arxiv.org/pdf/1107.4871.pdf

Je juge avec le recul que les propriétés du trou de vers se révèlent trop complexes à intégrer dans les espaces sonores paradoxaux ; sa symbolique m'a pourtant longtemps servi de modèle pour composer l'illusion selon laquelle les mouvements de la position d'écoute peuvent être simulés en étant reportés sur les dynamiques des sources sonores. Le trou de vers est constitué d'un trou noir et d'une fontaine blanche[101] liés par une *singularité,* les mathématiques s'effondrent dans des infinis ou de l'indétermination. Le trou de vers déplace son environnement plutôt que de s'y déplacer: il semble immobile de son propre point de vue, mais reporte ses mouvements sur l'espace environnant afin de se mouvoir.

Dans l'espace sonore paradoxal, les paires de sources se suivent sur l'azimut à intervalles réguliers. Cet intervalle distingue deux états sur la courbe de l'espace-temps court-circuité par le trou de vers : il s'agit, plus simplement, de l'orientation prise par la boucle spatiale sur l'azimut. Elle peut être définie dans les harmoniques hypersphériques 4D par l'exponentielle complexe que je n'ai pas implémentée, puisqu'elle est remplacée par une constante. La symétrie de la courbure espace-temps doit être constante pour que l'hyperespace sonore puisse être diffusé dans un espace 3D. En l'absence de variable, il est inutile d'utiliser l'exponentielle complexe; cette constante détermine l'angle azimutal qui différencie les deux domaines sphériques 2D ou 3D, avant le traitement hypersphérique.

Exprimé comme système à 3 corps, le trou de vers prend pour centre de masse sa singularité. Le phénomène de singularité est un espace-temps dont la courbure semble infinie, cette courbe exponentielle implique mathématiquement une division par zéro. La même contradiction se rencontre si l'on veut composer une source ponctuelle de rayon nul : son amplitude devient infinie. Sur le *dance-floor*, la singularité est le *sweet-spot,* traversé par l'information musicale entrant dans le trou noir (à l'avant du *dance-floor*) et sortant par la fontaine blanche (à l'arrière du *dance-floor*).

Du point de vue strictement spatial, l'oscillation de l'hyperangle semble transgresser l'irréversibilité du trou de vers, mais l'hyperangle oscille dans un temps qui devient alors cyclique entre le passé et le futur: tout ce qui semble rentrer par la sortie et sortir par l'entrée du trou de vers, le fait en remontant le temps. Donc, dans un temps linéaire, l'oscillation spatio-temporelle de l'hyperangle respecte la mécanique irréversible, causale, du trou de vers. De ce point de vue, la boucle spatiale composée comme un trou de vers symbolise le paradoxe présent dans la cognition du temps : la projection du temps cyclique sur le temps linéaire constitue la mécanique de perception d'un paradoxe temporel.

Composer les espaces sonores paradoxaux comme des boucles spatiales a orienté ma recherche vers le modèle du cristal temporel. L'étude du contexte des hyper-noyaux donne une meilleure idée du

[101] Corps théorique dont les propriétés sont symétriques à celles du trou noir : la lumière y est repoussée au lieu d'être absorbée.

rôle que peuvent jouer les harmoniques hypersphériques et éveille notamment mon intérêt pour certaines propriétés communes aux ondes sphériques sonores et aux ondes sphériques de probabilité. Le modèle du cristal temporel n'a cependant été suivi que tardivement dans ma composition des espaces sonores paradoxaux, et n'a été adopté que progressivement. J'ai longtemps qualifié comme « trous de vers » les espaces paradoxaux que je compose, mais je préfère désormais parler de boucles spatiales pour insister sur leur rôle interactif avec les boucles instrumentales de la tekno. J'utilise parfois l'ancienne appellation afin de différencier les espaces sonores paradoxaux 2D et 3D, mais j'explore encore trop peu les possibilités du *live* ambisonique en 3D pour adopter définitivement cette expression qui n'aurait d'ailleurs qu'une valeur métaphorique.

6.1 Composition des sources ponctuelles dans un hyperespace 4D

La boucle spatiale suit une pulsation ou une phrase musicale du *live*. Il s'agit d'un procédé périodique, facile à mémoriser comme à prévoir, donc d'une stimulation dansante résistant à court terme au manque d'information, et à long terme à l'excès d'information. Le caractère continu du déplacement des sources est cependant une énergie neuro-perturbatrice, résistante sur le long terme au manque d'information, et audible en chaque instant comme remise en question de l'espace sonore statique des *dance-floors* classiques.
La boucle spatiale est une composition de l'espace sonore par sources ponctuelles. L'espace de chaque instrument est composé selon quatre sources, déterminées par quatre vecteurs 2D ou 3D, regroupés en deux hypervecteurs 4D ou 6D. Les deux hypervecteurs sont modulés par la même valeur hyperangulaire. Le regroupement des sources par paires les dote d'une propriété inspirée de la physique quantique, et dont le rôle est déterminant dans le mouvement des particules: le *spin*. La manière dont le *spin* détermine ce comportement ne semble pouvoir s'observer que si la particule est en mouvement. Cette propriété indique dans le système de notation des espaces sonores paradoxaux le sens horaire ou anti-horaire dans la composition des sources sur l'azimut : la notion symbolique d'horaire est remplacée par la notion de *spin,* plus symbolique d'espace.

Le *spin* est le quatrième nombre quantique qui décrit le comportement d'une particule dans une orbitale atomique. Le premier est le *nombre principal*, noté *n*, qui désigne le nombre d'harmoniques qui décomposent l'orbitale où elle évolue : le nombre principal correspond aux nombre de canaux ambisoniques (ACN pour *Ambisonic Channels Number*). Vient ensuite le *nombre secondaire*, noté *l*, qui désigne le degré de l'harmonique dans l'orbitale : le nombre secondaire correspond au degré ambisonique. Le troisième nombre est le *nombre magnétique*, noté *m*, qui indique l'ordre de

l'harmonique dans l'orbitale : le nombre magnétique correspond à l'ordre ambisonique. En ambisonie d'ordre supérieur, puisque le comportement d'une source sonore est décrit par les mêmes trois premiers nombres quantiques qu'une particule dans une orbitale, le quatrième nombre correspondant au *spin* peut également devenir une quatrième propriété pour la source sonore.

Le *spin* d'une particule interagit avec son mouvement dans l'espace selon deux états discrets, *Up* ou *Down,* et désigne deux possibilités pour une particule en mouvement : poursuivre sa route ou rebrousser chemin[102]. Diffusée depuis le seul canal central, monophonique donc omnidirectionnel, la source sonore est comme une particule inerte sans interaction avec son propre *spin*. Cette interaction est, par contre, présente dans les canaux directionnels où la source est en mouvement.

Le *spin* d'une source sonore note le sens d'un temps cyclique qui détermine comment elle se déplace : si un temps cyclique évoluant de 0 à 1 est noté *spin up*, le même temps cyclique évoluant de 1 vers 0 est alors noté *spin down*. Changer le *spin* d'une source en mouvement la fait évoluer en mouvement contraire, quel que soit ce mouvement. Les *spins* des sources de la première paire sont opposés aux *spins* des sources de la deuxième paire. Dans chaque paire, les deux sources se suivent de manière parallèle et sont anti-parallèles par rapport aux sources de l'autre paire.

Dans chaque paire, les deux sources sont traitées en opposition de phase, comme deux particules de charge opposée : la première source est donc notée comme charge positive, l'autre source est notée comme charge négative. Animés par un signal constant, les harmoniques sphériques émettent simultanément des cardioïdes positifs pour la première source, symétriques aux cardioïdes négatifs de la seconde source (Fig. 4.3.2, p. 83). Diffusées simultanément depuis deux angles azimutaux diamétralement opposés, elles entrent en annulation de phase dans le centre de l'espace sonore. C'est par les variations de l'hyperangle que s'opèrent les fondus enchaînés entre les sources positives et négatives des paires *spin up* et *spin down*.

L'hyperangle fait intervenir ces fondus enchaînés en deux zones diamétralement opposées de l'espace sonore. Les paires *spin up* et *spin down* vont donc dessiner deux demi-cercles symétriques où s'alternent sources de charge positive et sources de charge négative. La charge d'une particule interagit avec son mouvement : deux particules aux *spins* parallèles évoluent en mouvement contraire quand leurs charges sont opposées, donc deux particules aux charges opposées suivent le même mouvement quand leurs *spins* sont anti-parallèles[103]. Dans chaque paire, les deux sources ont des *spins* anti-parallèles, mais se comportent de manière parallèle puisque leurs charges s'opposent. Quand je simplifie ce fonctionnement d'après le comportement des sources, je note la première paire *spin up* et la deuxième *spin down* (Fig. 6.1.1 à 6.1.13).

---

[102] Feynman, Richard. *Mécanique quantique*, Paris, Dunod, 2018 (chapitre 3 « Amplitudes de probabilité », 3.4 « Particules identiques », p. 48)

[103] Feynman Richard, *op cit*., chapitre 18, « Le moment cinétique », 18.3, « l'annihilation du positronium », p. 386-393.

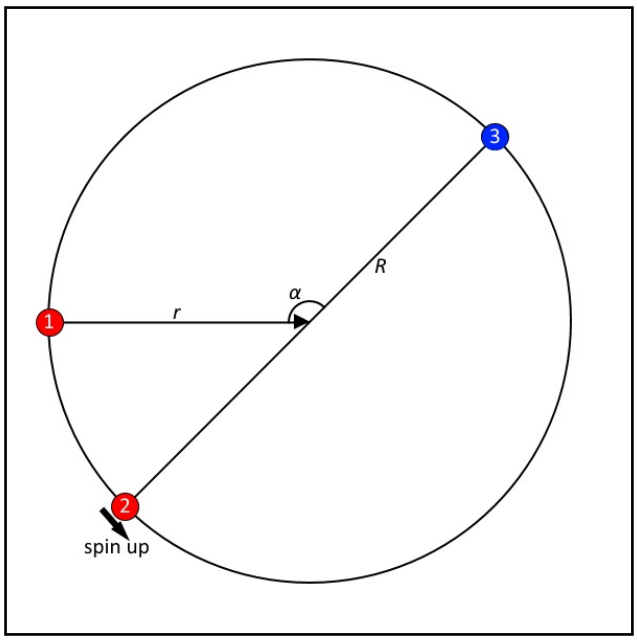


Fig. 6.1.1 Les mouvements du corps 1, immobilisé, sont reportés vers les autres corps par le centre de masse qui entre en phase avec la charge de la source 2, vers laquelle l'hyperangle est le plus orienté et la rend donc audible, contrairement à la source 3 qui est en opposition de phase. Les corps 2 et 3 constituent la paire de sources *spin up*.

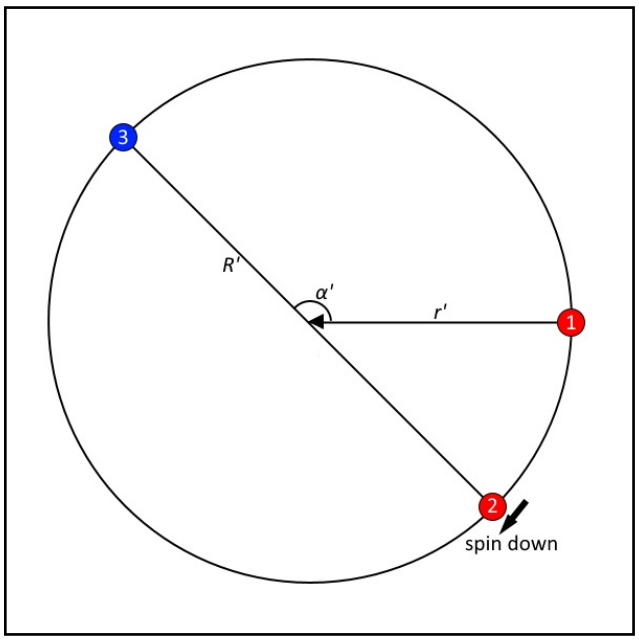


Fig. 6.1.2 Les corps 2 et 3 constituent la paire de sources *spin down*, en symétrie de parité avec la paire *spin*.

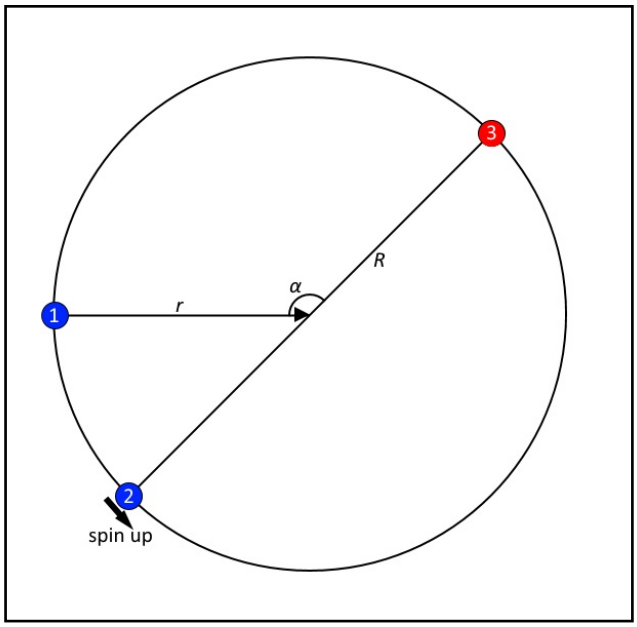


Fig. 6.1.3 Dans cette paire de sources *spin up*, l'hyperangle est orienté vers la source 2, de charge négative, et la rend donc audible, contrairement à la source 3, qui est en opposition de phase.

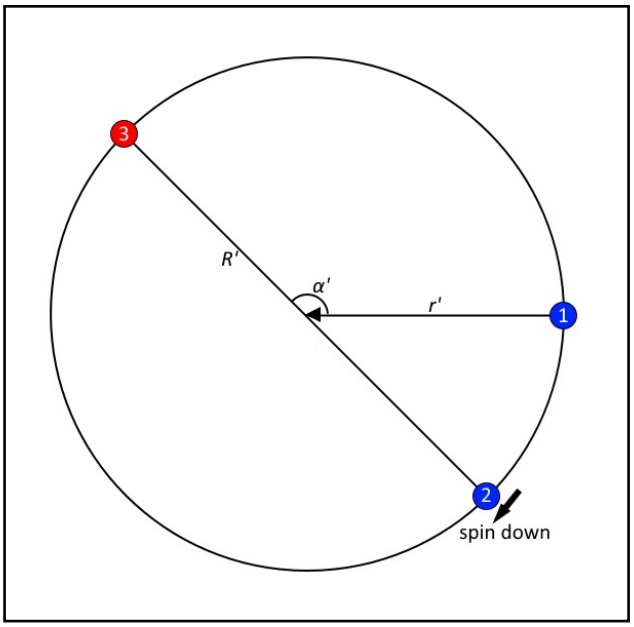


Fig. 6.1.4 Dans cette paire de sources *spin down*, l'hyperangle est orienté vers la source de charge négative. La parité entre les paires de sources est conservée avec le changement de charge

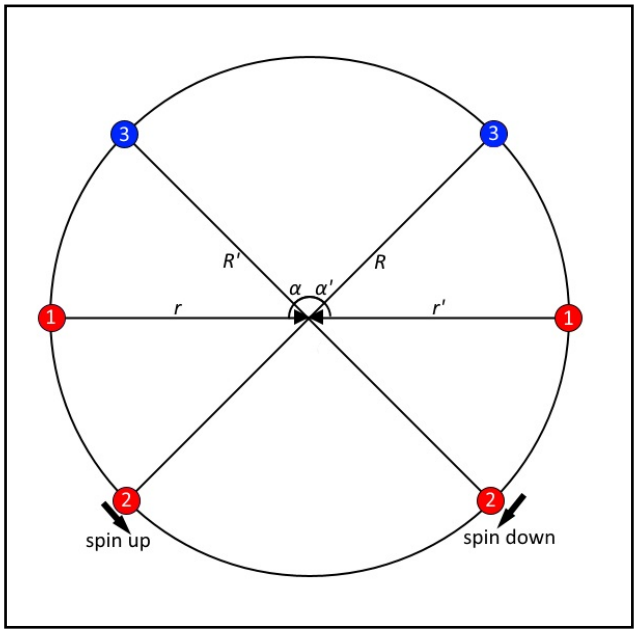


Fig. 6.1.5 Superposition des paires *spin up* et *spin down* avec des hyperangles orientés vers les sources de charge positive.

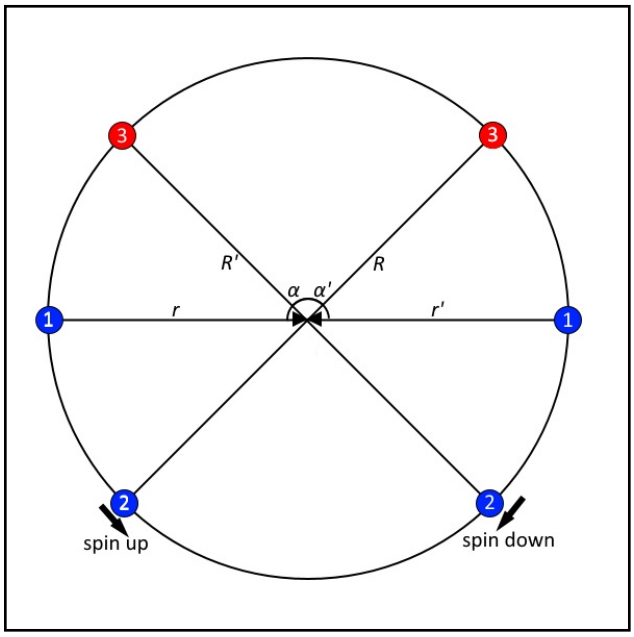


Fig. 6.1.6 Superposition des paires *spin up* et *spin down* avec des hyperangles orientés vers les sources de charge négative.

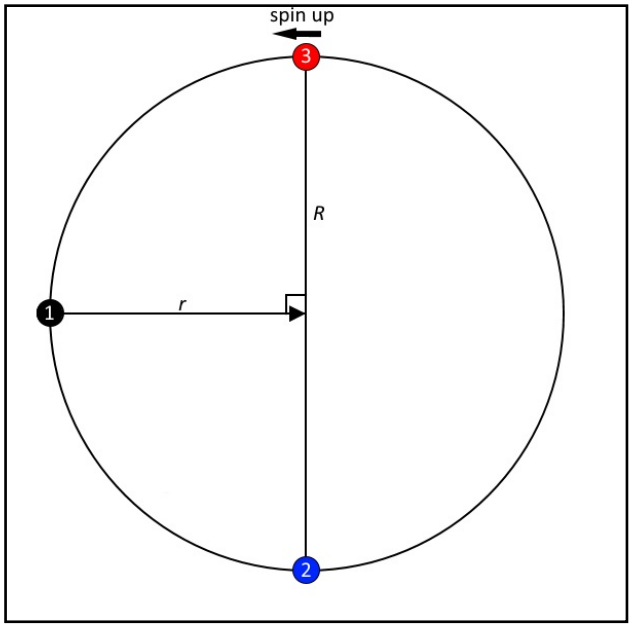


Fig.6.1.7 Avec un hyperangle à 90°, les deux sources en symétrie de charge sont simultanément audibles sous forme de champ diffus. Le centre de masse reporte les mouvements du corps immobilisé : n'étant pas une source sonore, ce corps n'a pas de charge qui lui est propre. Il est donc toujours silencieux : c'est le report de ses mouvements par le centre de masse qui amplifie le canal omnidirectionnel par une amplitude en phase avec les canaux directionnels de l'une ou l'autre des sources.

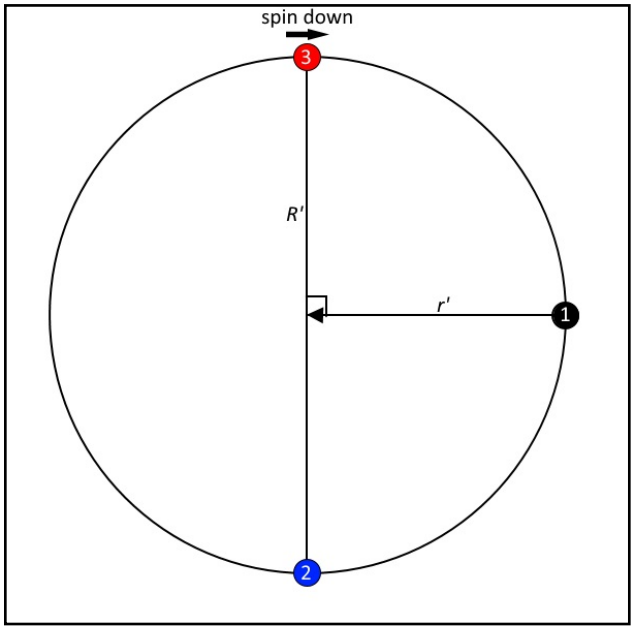


Fig.6.1.8 L'hyperangle à 90° correspond au moment où les phases des sources s'opposent de manière symétrique pendant le fondu enchaîné.

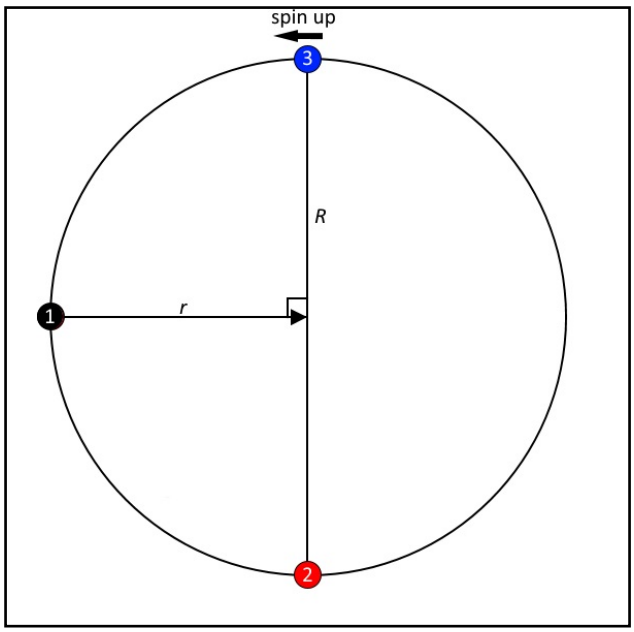


Fig. 6.1.9 Le fondu enchaîné est joué pour que les sources négatives et positives se relaient en suivant le sens horaire déterminé par leur *spin*.

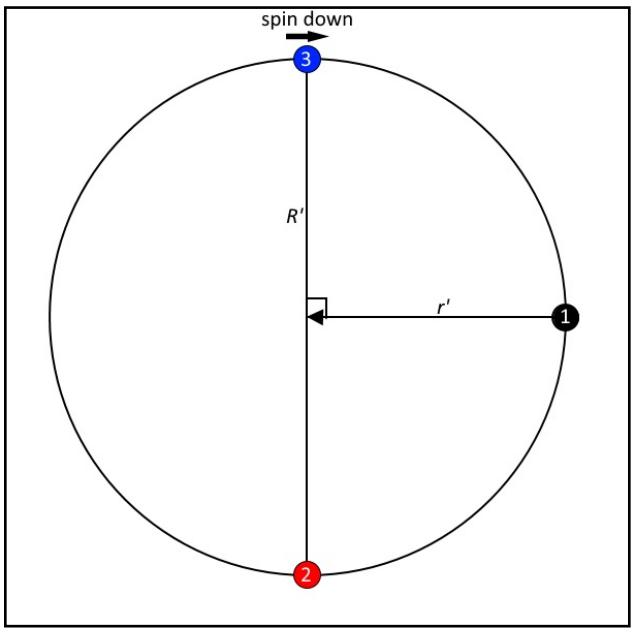


Fig. 6.1.10 Le fondu enchaîné est joué pour que les sources négatives et positives se relaient en suivant le sens horaire déterminé par leur *spin*.

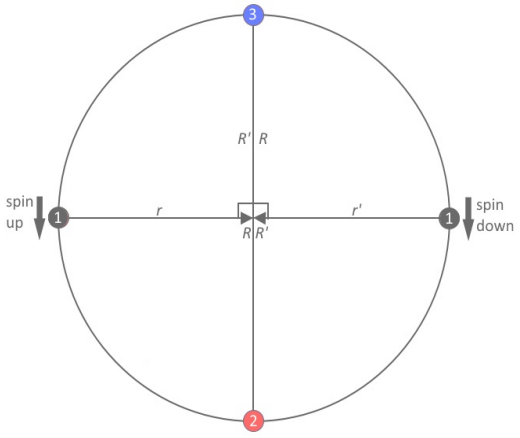


Fig. 6.1.11 Dans la superposition des sources en opposition de phase, les sources positives et négatives sont équidistantes : la source de charge positive va ensuite se rapprocher par l'avant pendant que la source négative s'éloigne par l'arrière.

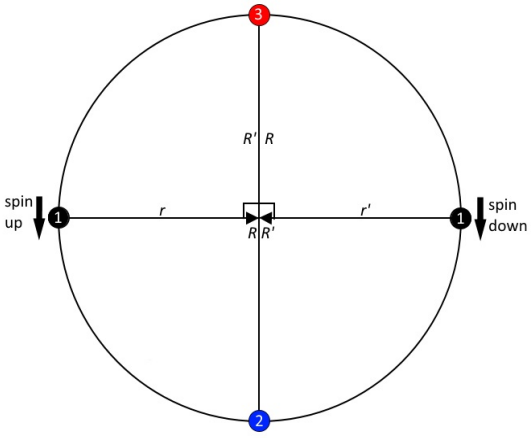


Fig. 6.1.12 Dans ce fondu enchaîné, c'est la source de charge négative qui s'approche par l'avant et la source de charge positive qui s'éloigne par l'arrière.

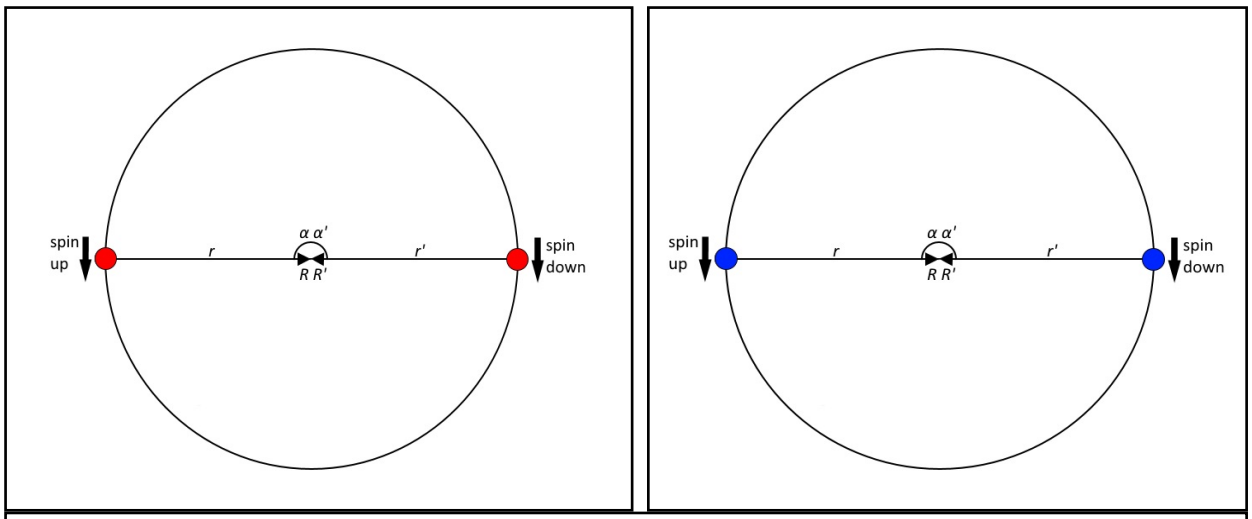


Fig 6.1.13 Quand l'hyperangle est pleinement orienté vers l'une des deux sources, le produit scalaire des vecteurs de Jacob devient nul : le centre de masse reporte les mouvements du corps immobilisé qui se confond avec la source sonore. Le champ diffus est cette fois composé par la superposition de sources de même charge : la moyenne des orientations symétriques des deux sources donne l'illusion que le son s'approche et s'éloigne en passant parle centre de l'espace sonore.

Toutes les propriétés de la charge d'une particule ne sont pas appliquées comme moyen poïétiques. Deux particules de charge opposées qui entrent en collision se désintègrent en faisant émerger de nouvelles particules et des rayonnements. Deux ondes sonores de phases opposées qui entrent symétriquement en collision dans le *sweet-spot* s'annulent sans créer de nouveaux sons, mais une configuration spatiale précise l'annulation est partielle et ne se produit que dans l'espace proche. Cette spatialisation du silence par opposition de phase est l'opération qui rend possible la composition de l'espace sonore comme paradoxe sur la distance. L'opposition de charge comme moyen poïétique se limite donc à ses propriétés mathématiques pour noter l'opposition de phase entre sources.

Toutes les propriétés du *spin* ne sont pas non plus reprises comme outils poïétiques. Une particule peut être identifiée soit comme un boson de *spin* entier, soit comme un fermion au *spin* semi-entier. Cette propriété du spin détermine comment la particule se comporte dans l'espace ; un fermion accomplit une sorte de rotation discrète de 720° pour que son *spin up* ou *down* change de valeur, alors qu'un boson n'a besoin que d'une rotation discrète de 360°. Je ne trouve pas de correspondance entre cette propriété et la composition des sources.

Toutefois, quand plusieurs sources d'un même son le jouent depuis les mêmes coordonnées spatiales, le son sonne plus fort : cet effet d'accumulation se retrouve dans le comportement par lequel les fermions se différencient des bosons, selon le principe d'exclusion de Pauli. Le *spin* attribué à une source sonore peut donc être considéré comme semi-entier, comme c'est le cas pour les quarks, les anti-quarks, les électrons et les positrons, présents dans le cristal temporel que j'imagine. Faute de savoir faire adopter aux sources sonores le comportement des bosons, ou même

d'imaginer les possibilités musicales d'une telle opération, je ne prends pas en compte cette possible différence de valeur du *spin* dans la composition des boucles spatiales.

Déterminer la vitesse et la position des sources ponctuelles consiste à les faire interagir pour créer une illusion d'espace sonore sur le *dance-floor*. La manipulation de l'hyperangle dans le domaine hypersphérique 4D décodé en VBAP semble déterminer la vitesse et la position de la source ponctuelle avec davantage de précision que l'optimisation *inPhase* dans le domaine circulaire. Les sources ponctuelles s'apparentent à des particules, non pas vouées à être désintégrées mais maintenues en équilibre pour demeurer audibles sur le *dance-floor*. Cet équilibre est déterminé par l'orientation de l'hyperangle entre les deux sources. Cette orientation indique un niveau d'interaction entre les deux sources sonores et le *sweet-spot* depuis lequel elles sont entendues. L'amplitude du canal ambisonique central est en phase avec le domaines sphérique vers lequel l'hyperangle est orienté, et en opposition de phase avec l'autre. Le changement d'orientation de l'hyperangle renverse l'amplitude du canal central, en la faisant passer par un état silencieux pendant le fondu enchaîné. La relation entre le canal central silencieux et les canaux impairs sonores produit un champ diffus. Le centre de masse peut donc prendre la même valeur de charge, positive ou négative, que la source ponctuelle vers laquelle l'hyperangle est orienté.

6.2 Composition de l'hyperespace sonore par conjugaisons de symétries

La conjugaison de symétries est utilisée en musique de tradition écrite occidentale bien avant que la physique ne devienne quantique. L'écriture de J.-S. Bach et plus tard l'écriture sérielle sont des exemples connus où la conjugaison de symétrie sur une phrase musicale est présente. L'ordre des notes peut être inversé selon une symétrie de temps, l'intervalle des notes peut être renversé selon une symétrie sur la hauteur, et la phrase musicale originale peut aussi être jouée à la fois en inversant l'ordre des notes et en renversant les intervalles, ce qui constitue une conjugaison des symétries de temps et de hauteur.

D'autres conjugaisons de symétries interviennent dans la composition des boucles spatiales. La structure symétrique du cristal temporel est pensée comme une évolution de la composition symétrique de l'espace stéréophonique en tekno vers la composition pour l'espace ambisonique. Le *kick* et la *bassline*, matériaux primordiaux et formes symboliques de ce style musical, sonnent au centre de cet espace sonore 1D. Les espaces sonores paradoxaux en forme de trou de vers sont un moyen d'établir des points de repères spatio-temporels qui vont permettre au public de retrouver le confort d'écoute du *live* stéréophonique: le comportement des sources ponctuelles est alors noté

d'après les conjugaisons de symétries de temps, de charge, et de parité, qui décrivent certaines mécaniques entre particules[104].

- la spatialisation suit la même périodicité que le langage tekno, par des boucles de mesure binaire, sur une pulsation régulière. Dans chaque paire *spin up* et *spin down*, les sources de charges opposées ont la même durée d'émergence et de disparition pendant le fondu enchaîné, elles sont un cas de symétrie temporelle *T*.
- L'opposition de phase entre sources de charges négatives et positives permet d'opérer des fondus enchaînés entre deux zones diamétralement opposées de l'espace sonore: le son s'éloigne dans une direction tout en se rapprochant par l'espace diamétralement opposé. À cet instant du fondu enchaîné, l'annulation de phase empêche cette fois le son de repasser par le centre de l'espace sonore. Deux particules jumelles aux charges opposées sont dites en symétrie de charge *C*. La variation de la vitesse du fondu enchaîné entre les deux sources en symétrie de charge conjugue la symétrie C et la symétrie T dans une symétrie *CT*. Avec un traitement hypersphérique, moduler la symétrie CT est un procédé qui met en évidence le rôle de filtre joué par l'hyperangle sur l'espace sonore entendu depuis le *sweet-spot*: la trajectoire du son semble plus droite et passer par le centre du *dance-floor* avec le traitement hypersphérique alors qu'elle semble plus courbée autour du centre en l'absence de traitement[105]. Selon la vitesse de la modulation CT, certaines composantes spatiales disparaissent pour immerger l'écoute dans un espace plus étroit qui met en valeur la dimension de la profondeur du fondu enchaîné.
- La symétrie des trajectoires semi-circulaires des sources sont regroupées en paires *spin up* et *spin down*. Deux particules aux *spins* anti-parallèles, sont dites en symétrie de parité *P* . La somme de deux sources en symétrie de parité est perçue lors de sa diffusion comme une moyenne des deux sources. Elle donne l'impression que le son se rapproche du centre de l'espace sonore. Il est possible de conserver ainsi la qualité centrale dans l'espace pour des éléments primordiaux comme le *kick* ou la *bassline*. Ce procédé est une alternative au problème de la taille du rayon en ambisonie d'ordre supérieur: le rayon désigne l'amplitude du son, il ne peut donc être nul, car il impliquerait alors une amplitude infinie.
- L'opposition de phase entre en interaction avec la symétrie des trajectoires des sources pendant le fondu enchaîné: la conjugaison de la symétrie C avec la symétrie P constitue une symétrie CP (Fig.6.2.1, 6.2.2).
- Toute variation de la vitesse d'une source sur sa trajectoire implique une variation symétrique de la vitesse de la source de charge opposée: quand l'une accélère, l'autre ralentit. L'égale durée des

---

[104] Schune Marie-Hélène, « Mais où est donc passée l'antimatière?», conférence annuelle de la SAF, du 14 Octobre 2015, Laboratoire de l'accélérateur linéaire, https://www.planetastronomy.com

[105] Cette appréciation dépend toutefois du type de décodeur utilisé, il s'agit ici d'un résultat sonore obtenu avec une opération de décodage basique.

deux variations de vitesse est indispensable à leur symétrie temporelle. Il s'agit d'une conjugaison Parité-Temps (*PT*). J'utilise toujours deux possibilités de conjugaison Charge-Parité-Temps dans la composition des espaces sonores paradoxaux: je peux reporter les symétries C et T vers la conjugaison CT , et je peux reporter les symétries P et T par la conjugaison PT (Fig.6.2.3, 6.2.4) Le report des symétries et C et P vers la conjugaison CP est constant, mais la symétrie de cette conjugaison peut être reportée vers la conjugaison *CPT* dans certains cas :

- La synchronisation symétrique des sources suit la mécanique d'intrication quantique, où deux particules intriquées adoptent un comportement jumeau et intervertissent leur *spin* alors qu'elles évoluent chacune dans un espace-temps qui leur est propre. L'intrication ne repose pas sur un échange d'informations entre les particules, elle n'est donc limitée par aucune vitesse/latence de communication: les deux particules ont une origine commune qui détermine leur comportement[106] (par exemple, la désintégration d'un photon émet deux particules intriquées, aux charges opposées, pouvant demeurer en équilibre et constituer un atome de positronium[107]).
- Quand une particule est intriquée à une anti-particule, l'opposition de charge établit un rapport au temps où l'origine de l'une est la destination de l'autre. La symétrie *CPT* qui anime une paire de sources présente dans les espaces sonores paradoxaux une situation analogue, mise en évidence par le changement de vitesse des sources : quand l'une accélère pendant une certaine durée, l'autre ralentit sur la même durée.

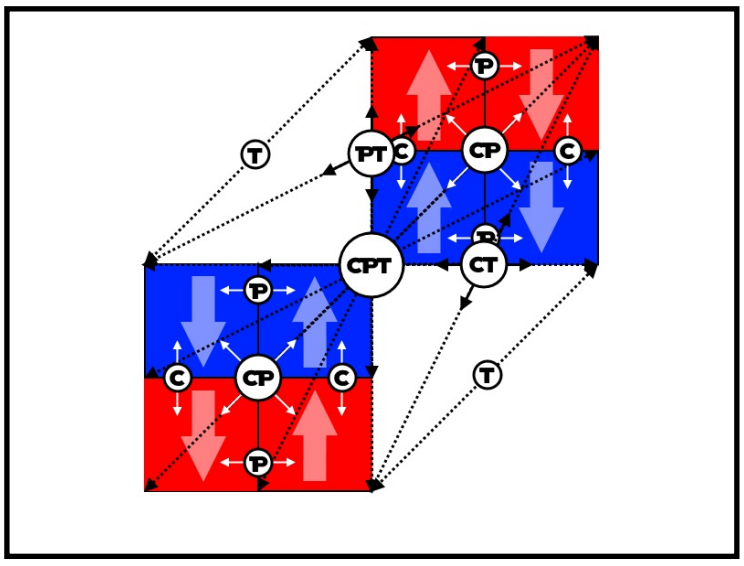


Fig.6.2.1 Report des symétries de charge C (négative en bleu, positive en rouge) de parité P (sens du *spin* indiquée par les flèches colorées) et de temps T, vers les conjugaisons CP, CT, et PT. Ces conjugaisons peuvent également être reportées vers la conjugaison CPT.

[106] Aspect Alain, Grangier Philippe, Roger Gérard, « Experimental Realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm *Gedankenexperiment:* A New Violation of Bell's Inequalities », *Physical Review Letters,* 12 Juillet 1982

[107] Feynman, Richard, *op cit*..

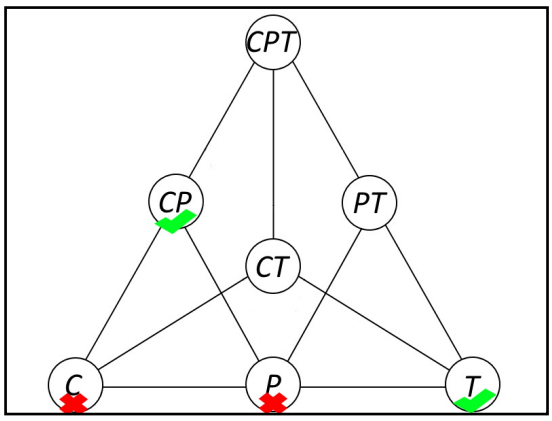


Fig. 6.2.2 Report des symétries C et T vers la conjugaison CP. La symétrie temporelle est conservée. (Image réalisée d'après la vidéo « violations de symétries », consultable sur la chaîne *Passe-Science* : https://www.youtube.com/@PasseScience/videos

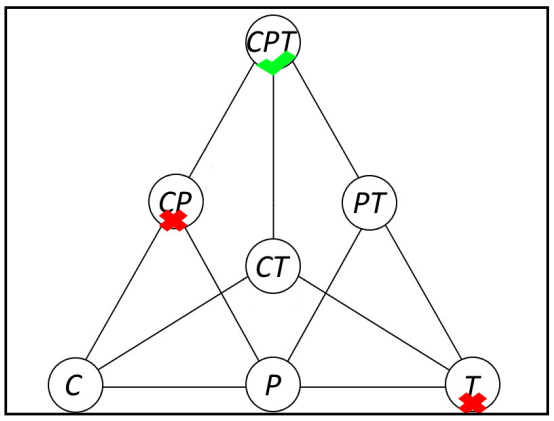


Fig. 6.2.3 report des symétries *T* et CP vers la conjugaison *CPT*.

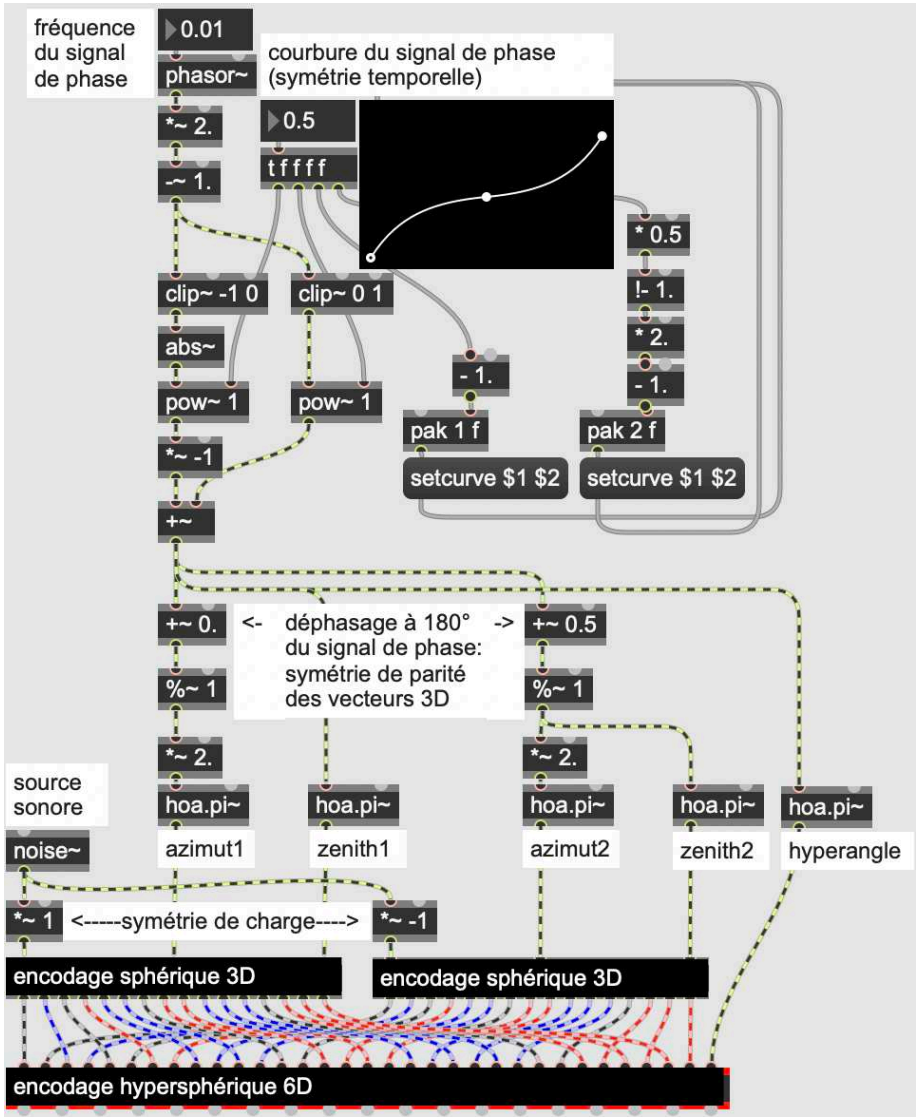


Fig. 6.2.4 Programmation des symétries de charge, de parité et de temps sur les deux vecteurs 3D. Contrairement au modèle quantique, le comportement parallèle des sources ne requiert pas d'opposition *spin up* /*spin down* mais un déphasage constant à 180°.

Les conjugaisons de symétries CP, PT et CT interviennent en physique quantique pour combler une asymétrie C, P ou T, en reportant la symétrie transgressée vers son interaction avec une autre symétrie. La conjugaison *CPT* intervient pour combler une asymétrie CP, PT ou CT.
Dans les espaces sonores paradoxaux, la symétrie CP établit un produit scalaire constamment nul entre les vecteurs des 2 sources: avec cette constante, un hyperangle à 180° est toujours plat. Les deux sources sont audibles en tant que symétrie CP quand la valeur de l'hyperangle est égale à 90°.
Cette valeur hyperangulaire est temporaire, elle correspond au moment où les deux sources en symétrie de charge sont diffusées au même volume sonore depuis deux coordonnées azimutales diamétralement opposées.
La variation de l'équilibre entre les charges négatives et positives crée provisoirement des états d'asymétrie de charge dont la symétrie est reportée dans le temps dans le cadre de la conjugaison CT. Les variations de vitesse des sources créent des asymétries entre elles : pendant le fondu enchaîné l'une s'éloigne à une autre vitesse que celle qui s'approche. Cette asymétrie de la distance sur la durée est reportée dans le temps par la parité dans le cadre de la conjugaison PT, par laquelle une source ralentit sur une durée égale à l'accélération de l'autre.
Ces symétries se conjuguent en modulant la forme d'onde qui anime l'orientation dans l'hyperespace: les angles 2D ou 3D, et l'hyperangle. Il est possible de moduler la courbe de la conjugaison PT en traitant la forme d'onde par une valeur d'exposant qui peut la faire tendre vers l'onde en créneau. Appliquer cette méthode à la conjugaison CP pose un problème propre au traitement hypersphérique : dans le canal omnidirectionnel, les phases s'annulent à la moitié de leur amplitude, ce qui amoindrit l'amplitude dans les ordres supérieurs, puisque l'oscillation hyperangulaire est traitée par des valeurs d'exposant qui la font tendre vers une forme carrée dans les ordres supérieurs. Afin de conserver une opposition de phase entre deux amplitudes dont la valeur absolue est égale à la moitié de la racine de 2 dans le canal omnidirectionnel pendant la conjugaison CT, la phase de l'oscillation ralentit et accélère périodiquement.

6.3 Contexte du cristal temporel.

L'objet atomique dont la décomposition en harmoniques hypersphériques correspond à la symétrie des boucles spatiales existe sous le nom de cristal temporel. Cette matière exotique se caractérise par le report des brisures de symétries d'espace vers une symétrie temporelle. Comme dans les espaces paradoxaux, le mouvement des corps y suit une boucle spatiale. Pour correspondre aux boucles spatiales que je veux composer, ce cristal prend, par contre, une forme imaginaire, où il évolue périodiquement entre l'état de matière et d'anti-matière.

Dans ce modèle de cristal temporel imaginaire, le système à 3 corps met en relation un noyau atomique avec deux orbitales qui l'entourent périodiquement l'une après l'autre. Ce noyau se décompose en deux hadrons, dont l'état oscille périodiquement entre l'état de proton et d'anti-proton.

- Quand elles sont à l'état de proton, le noyau est entouré par une orbitale composée d'électrons.
- Quand elles sont à l'état d'anti-proton, le noyau est entouré par une orbitale de positrons.
- Quand l'une est à l'état de proton et l'autre à l'état d'antiproton, le noyau est entouré par deux orbitales sans harmoniques pairs, l'une composée d'électrons, l'autre de positrons.

La périodicité d'alternance entre ces deux états symétriques constitue la boucle spatiale du cristal temporel, par conjugaison CPT (Fig. 6.3.1 et 6.3.2).

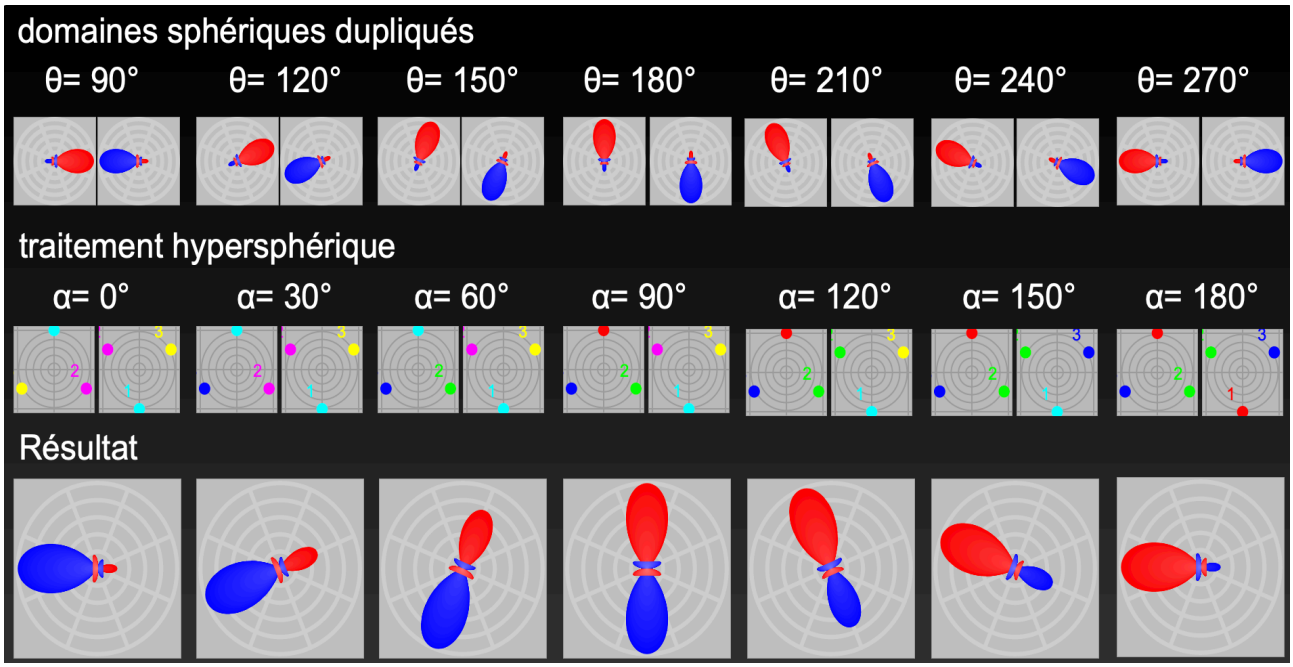


Fig. 6.3.1 Décomposition du fondu enchaîné en sept étapes. La variation hyperangulaire est symbolisée par la transformation chromodynamique entre protons et antiprotons. Le domaine hypersphérique exprime l'interaction nucléaire forte à l'oeuvre dans le noyau atomique, dont les quarks et anti-quarks peuvent être représentés comme des sources dans l'objet *hoa.map~* (de la bibliothèque hoa v1.1). L'ordre supérieur du domaine sphérique implique plus de hadrons que ceux qui sont représentés dans le domaine hypersphérique, mais leur chromodynamique est la même.

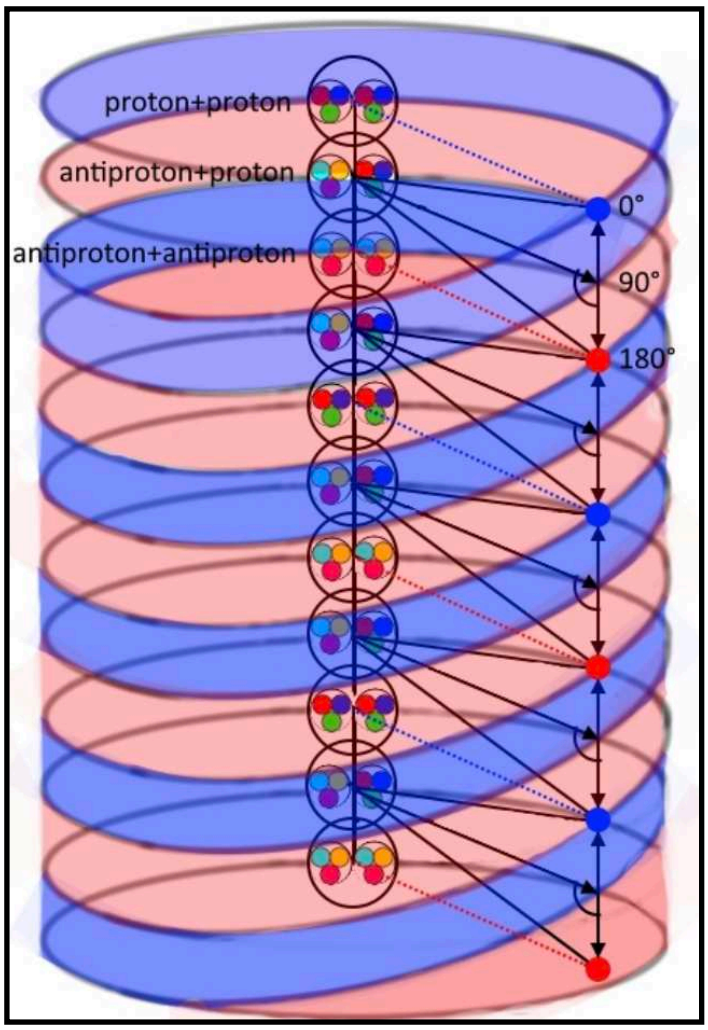


Fig. 6.3.2 Représentation hélicoïdale des espaces sonores paradoxaux, selon la boucle spatiale symbolisée par un cristal temporel. Les variations d'état du noyau atomique symbolisent les mouvements de la position virtuelle d'écoute : 2 protons symbolisent les dynamiques entendues sur un premier *dance-floor* imaginaire, 2 antiprotons symbolisent les dynamiques entendues sur un second *dance-floor* imaginaire, une paire proton/ antiproton symbolise la position d'écoute virtuelle à mi-chemin des 2 *dance-floors*.
Les variations de la position d'écoute virtuelle sont reportées par les vecteurs de Jacobi vers le centre de masse, c'est-à-dire le *sweet-spot* depuis lequel sont réellement entendues les 2 sources, symbolisées par un électron et un position.

Je me sers donc du système à 3 corps dans trois domaines : le domaine hypersphérique, le domaine sphérique, et enfin l'espace de diffusion du *dance-floor*.

- Le premier système à 3 corps est celui d'un hyper-noyau, où les harmoniques hypersphériques décomposent l'interaction nucléaire forte entre des quarks et des anti-quarks.
- Le second domaine est celui des orbitales atomiques, où des paires d'ondes sphériques de charge opposées interagissent avec les changements de charge de l'hyper-noyau.
- Le troisième domaine est celui du *dance-floor*, où les paires de sources en opposition phase sont entendues depuis le *sweet-spot*.

Ce modèle de cristal temporel que j'imagine permet aussi de comprendre l'interaction entre les domaines sphériques et hypersphériques dans l'encodage dédié à la production d'espaces sonores paradoxaux.

- Dans le domaine sphérique, les variations angulaires 3D répondent à la symétrie PT qui détermine la vitesse des sources.
- Dans le domaine hypersphérique, les variations hyperangulaires répondent à la symétrie CT qui détermine la vitesse du fondu enchaîné.

Dans l'atome de positronium (Fig.6.3.3), un électron et un positron en symétrie CP évoluent autour d'un centre de masse, comme les deux sources d'un boucle spatiale. Le positronium peut servir de représentation pour chaque paire de sources. Son orbitale S peut être remplacée par une orbitale de rang supérieur pour correspondre à un ordre ambisonique où la source évolue dans le contexte d'un champ diffus. À propos de son oeuvre « Electron-positron », composée pour l'inauguration du LEP[108], J.-C. Risset écrit :

> « *Electron-Positron* (1989) est une brève composition sonore pour bande 8 pistes, réalisée au LMA, CNRS Marseille, pour l'acte inaugural du LEP, le grand « collisioneur électron-positron » du CERN, près de Genève. La composition évoque de façon métaphorique l'activité de recherche effectuée au CERN, en particulier la mise en route et l'accélération des faisceaux d'électrons et de positrons qui tournent en sens inverse. Cette illustration numérique, réalisée à Marseille avec l'aide de Daniel Arfib et de Pierre Dutilleux, fait appel à des techniques de pointe : synthèse par ordinateur de sons paradoxaux — montant sans fin, accélérant sans fin, montant et descendant à la fois ; illusions de mouvement du son dans l'espace, utilisant les méthodes de Chowning mises en œuvre aussi bien en temps différé qu'en temps réel ; ralentissement considérable de la parole sans transposition en la décomposant en « grains » de son (en « paquets d'onde » de Gabor[109]). »

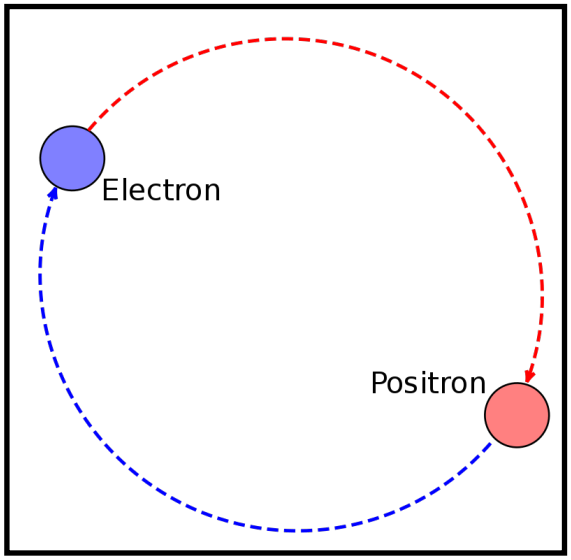


Fig. 6.3.3 Représentation simplifiée d'un atome de positronium.

[108] Il s'agit du grand collisionneur électron-positron du CERN où les particules circulaient dans un tunnel de 27 km de circonférence 100 m sous terre, à l'époque de l'inauguration. Le tunnel est aujourd'hui utilisé pour le LHC avec des collisions de protons (je remercie Marie-Hélène Schune de m'avoir personnellement transmis cette information).

[109] Risset, Jean-Claude, « Composer le son : expériences avec l'ordinateur, 1964-1989 », dans *Musiques électroniques*, édité par Philippe Albèra, Éditions Contrechamps, 1990. https://doi.org/10.4000/books.contrechamps.1582.

Le cristal temporel que j'imagine semble constitué d'une forme de positronium : un grand nombre d'électrons et de positrons évoluent donc dans une orbitale atomique de rang supérieur à *S*, périodiquement déterminés et indéterminés par la charge du noyau, lui-même périodiquement décomposé et recomposé en quarks (Fig. 6.3.4) ou en anti-quarks (Fig. 6.3.5). La chromodynamique de ce noyau implique des substitutions entre les couleurs apportées par les gluons pour que quarks et anti-quarks intervertissent leur charge. Cette interversion périodique des couleurs produit des états où la charge du noyau n'est pas toujours entière (Fig. 6.3.6). L'entièreté de sa charge par l'addition des couleurs est reportée dans la périodicité du cristal temporel où électrons, positrons, quarks et anti-quarks sont symétriquement ordonnés par les conjugaisons entre charge, parité et temps.

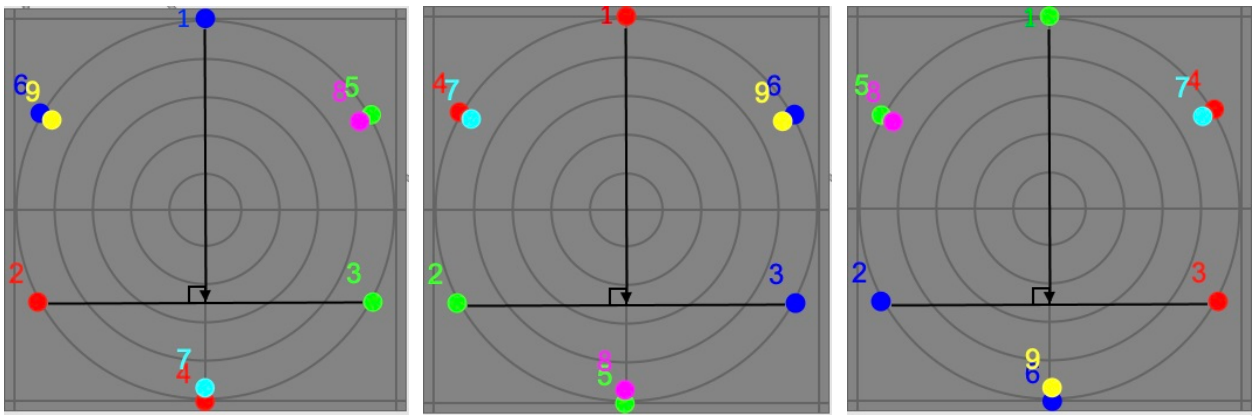


Fig. 6.3.4 Dans la chromodynamique du proton, les gluons transmettent les couleurs de la charge des quarks. Les vecteurs de Jacobi représentent le report des mouvements du quark 1 sur les mouvements des quarks 2 et 3.

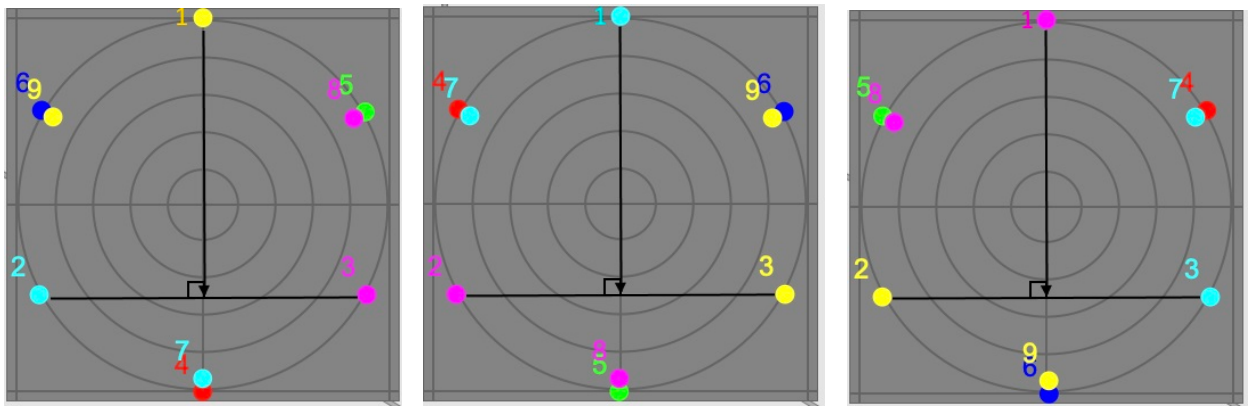


Fig. 6.3.5 Dans la chromodynamique de l'antiproton, les gluons transmettent les couleurs de la charge des anti-quarks. Les vecteurs de Jacobi représentent le report des mouvements de l'antiquark 1 sur les mouvements des anti-quarks 2 et 3.

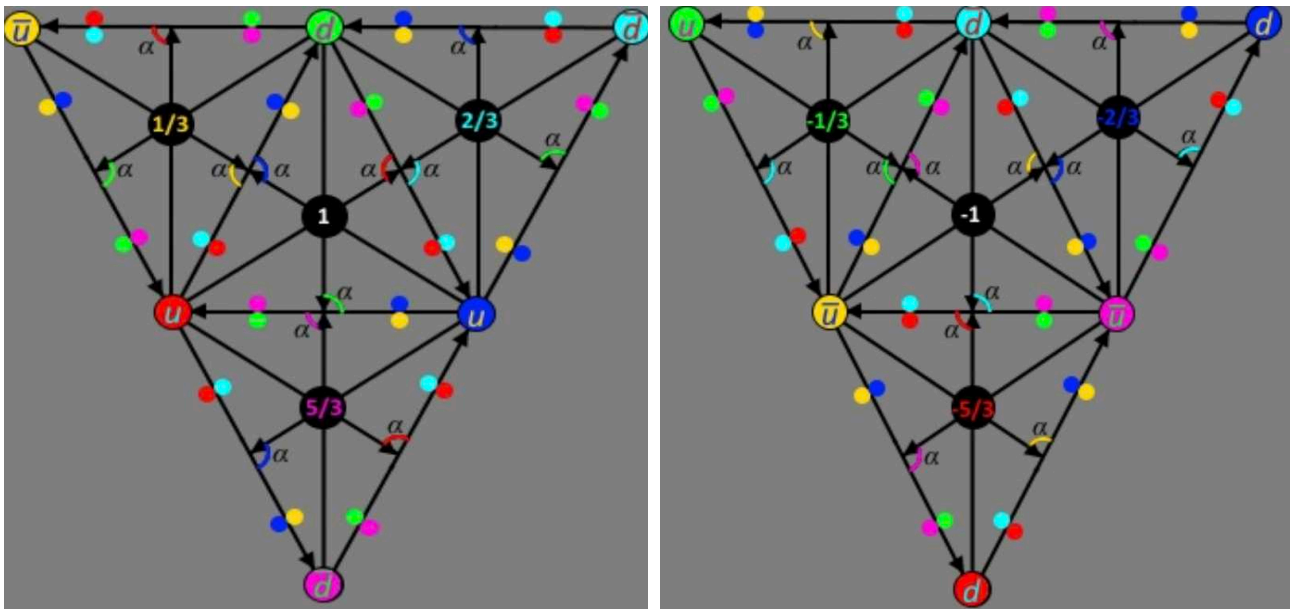


Fig. 6.3.6 Possibilités de regroupement des quarks et des anti-quarks en hypérons, en tant que systèmes à 3 corps exprimés par des vecteurs de Jacobi : les couleurs de charge s'intervertissent dans les hypérons *down*/*up*/*anti-up*, *up*/*down*/*anti-down*, *anti-down*/*up*/*up*, et *down*/*anti-up*/*anti-up*. Les hypérons de charge 1/3 et -1/3 correspondent aux transformations entre protons et antiprotons, donc à des stades intermédiaires d'inversion de l'amplitude dans le canal ambisonique central et les harmoniques sphériques locaux.

6.4 Composition des sources ponctuelles dans un hyperespace 6D

La source sonore d'une boucle spatiale 3D peut s'élever vers le zénith à condition de repasser toujours par l'azimut lorsque l'hyperangle fait entendre à volume égal la source diamétralement opposée. Plus l'angle est élevé, plus les orbites circulaires dessinées par les paires *spin up* et *spin down* convergent et semblent désormais suivre la même direction, mais leur symétrie de parité est pourtant conservée au sein de chaque paire où leurs espaces 3D s'opposent toujours symétriquement. Quand elle passe pleinement par le zénith, la convergence des sources fait sonner le son de manière plus centrale, plus forte, plus proche, donc moins directionnelle. Pour conserver l'équilibre sonore de la boucle spatiale 2D en 3D, le rayon de la source augmente au fur et à mesure qu'elle s'élève.

Quand les sources se déplacent de manière parallèle dans le sens vertical, l'une est traitée par un angle d'élévation, l'autre par un angle de dépression. Cette symétrie verticale n'est audible qu'avec un système de diffusion avec de haut-parleurs en dessous qu'au-dessus du public, ce qui est plus difficilement imaginable à l'échelle d'un *dance-floor*. La diffusion par une disposition hémisphérique des haut-parleurs est plus facilement réalisable pour un *dance-floor*, mais la source traitée par l'angle de dépression devient inaudible au fur et à mesure qu'elle descend au-dessous du plan azimutal. La source semble trop s'éloigner quand elle passe par le zénith : pour conserver l'équilibre sonore de la boucle spatiale azimutale dans le sens vertical, le rayon de la source diminue au fur et à mesure qu'elle s'élève.

Ces boucles spatiales orientables vers la verticalité traitent le *kick* et la caisse claire, et sont de courte durée. Pour les autres instruments, les boucles spatiales 3D plus longues peuvent s'enrichir d'autres variations plus complexes, où les sources se déplacent de manière parallèle dans le sens vertical, sans moduler le rayon. La spirale est un espace sonore paradoxal pensé pour la diffusion en 3D ; elle utilise deux paires de vecteurs 3D comme variables sur l'azimut et le zénith, une variable hyperangulaire, et requiert un traitement hypersphérique 6D en 3D+3D.

La vitesse des boucles spatiales 3D est déterminée par une fréquence fondamentale qui peut moduler une autre fréquence. Dans la boucle spatiale en spirale, une même oscillation de basse fréquence traite l'azimut par une valeur cartésienne *sinus*, et le zénith par une valeur cartésienne *cosinus,* ce qui fait osciller les sources de manière polaire. Cette modulante varie à une fréquence multiple de la fréquence fondamentale, et son amplitude module selon cette fréquence fondamentale. La boucle spatiale est alors décomposée en une spirale se déroulant depuis un point sur l'azimut et s'enroulant vers le point diamétralement opposé. Le nombre de tours de la spirale est multiple de la fréquence fondamentale. Les paires *spin up* et *spin down* se suivent de manière parallèle : quand la spirale *spin up* disparaît sous l'azimut, la spirale *spin down* apparaît au point azimutal symétrique par rapport à l'axe déterminé entre l'origine et la destination de la spirale. Un autre fondu enchaîné survient entre les deux spirales parallèles sur le plan azimutal à la fréquence de la modulante : en l'absence d'enceintes situées au-dessous du *dance-floor*, les spirales sont aplaties par ces fondus enchaînés sans traitement hyperangulaire. L'hyperangle varie selon cette la fréquence fondamentale : durant le fondu enchaîné, une double spirale de charge positive s'approche pendant qu'une autre double spirale de charge négative s'éloigne.

À ce stade, les deux paires en opposition de *spin* suivent deux spirales, symétriques sur l'azimut mais convergentes vers le zénith, et les sources en opposition de charge suivent deux spirales symétriques sur l'angle du zénith mais suivant le même azimut. Pour que le mouvement rotatif de la spirale soit pleinement audible, les spirales doivent se relayer en suivant le même sens giratoire : pour obtenir ce résultat il faut inverser un *spin* sur deux dans chaque paire de sources. Dans la mécanique de l'intrication quantique, deux particules de *spin* opposés peuvent être intriquées : quand le *spin* de la première passe de *up* à *down* l'autre passe de *down* à *up* de manière parfaitement synchrone, leur symétrie de parité est ainsi conservée même si des années-lumière les séparent. Deux particules intriquées se comportent ainsi car elles ont une cause commune qui détermine leur intrication : elles peuvent par exemple avoir été émise lors d'une collision entre d'autres particules[110]. Dans la boucle spatiale de type 2D, chaque source est intriquée à sa source de charge

[110] Aspect Alain, Grangier Philippe, Roger Gérard. *op cit*.

opposée dans la même paire de sources : dans la spirale, l'interversion des intrications permet d'intriquer chaque source avec la source de même charge dans l'autre paire de sources (Fig. 6.4.1).

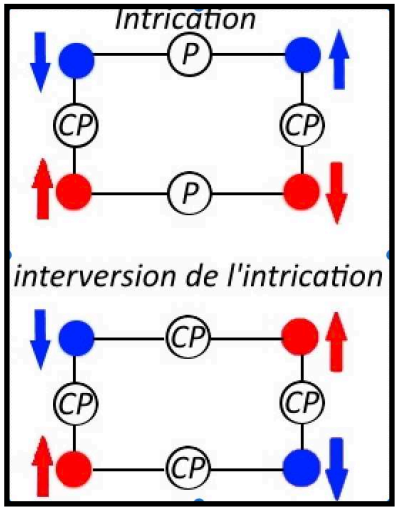


Fig. 6.4.1 L'intrication transforme les symétries P en symétries CP, par interversion des *spins* pour composer les espaces paradoxaux de types « spirale ».

La double spirale est composée spécialement pour un système de diffusion hémisphérique. Sur un système de diffusion totalement sphérique, ou avec un format binaural pensé pour le décodage hypersphérique, les deux spirales entendues simultanément détérioraient vraisemblablement la qualité directionnelle de la source : une seule spirale semblerait donc plus audible et pourrait déterminer une destination et une provenance plus haute ou plus basse que l'azimut pendant le fondu enchaîné.

La composition des espaces sonores paradoxaux en 3D pour une diffusion sur un système hémisphérique limite les points d'apparition et de disparition des sources à un angle d'élévation nul, et peuvent donc être décodées en 3D. Une source pourrait toutefois apparaître au zénith pendant que l'autre disparaît sur l'azimut.

> « Sur le plan azimutal, la localisation pour les sources venant de l'avant a une erreur moyenne de l'ordre de 3-4°, alors qu'elle est de 5-6° pour les sources venant de l'arrière. Pour les sources latérales, l'erreur est plus imprécise avec une erreur moyenne de localisation de l'ordre de 8-10°. La moindre performance pour les sources latérales venant du fait que le filtrage de la tête est maximal pour cette position. Le son arrive avec un niveau plus faible à la seconde oreille, ce qui ajoute de l'imprécision au niveau des indices binauraux.

> Pour l'élévation, la localisation est moins précise que pour l'azimut avec une erreur moyenne de l'ordre de 10-15°. Il est à noter que le type de stimulus semble jouer un rôle plus important dans l'estimation de l'élévation, ce qui semble renforcer l'hypothèse que l'estimation de l'élévation est déterminée par un filtrage fréquentiel [Daniel, 2011][111]. »

Les espaces sonores paradoxaux 3D sont encore au stade de l'étude : aucun résultat sonore ne me satisfait pour l'instant, et je dois reprendre mes travaux en corrigeant ma confusion entre l'ordre et le degré dans les harmoniques hypersphériques 6D. La notion d'un degré ambisonique propre au domaine hypersphérique prend plus d'importance en 6D : alors qu'en 3D les canaux se comptent par ordre et par degré, ils doivent se compter selon le degré hypersphérique et les degrés sphériques en 6D. L'hyperangle traite la distance entre les deux domaines sphériques, qui sont simultanément audibles quand ils sonnent loin, joués uniquement depuis les degrés impairs, sans la proximité du canal omnidirectionnel. La valeur de l'ordre ambisonique détermine un angle et est absente des traitements hypersphériques. L'ordre est traité en 4D mais sa valeur absolue est toujours égale au degré donc le résultat est le même. L'erreur n'aurait eu aucune conséquence si j'avais attribué les canaux 4D selon la configuration 6D, mais elle s'est au contraire produite en attribuant à la 6D la configuration des canaux 4D. En 6D, si l'hyperangle traite les canaux d'élévation selon leur ordre, les contributions des degrés supérieurs sont trop fortes et le son sonne au centre au lieu de s'éloigner verticalement, comme si la 3D était aplatie.

6.5 L'espace sonore paradoxal dans le contexte du paradoxe rythmique

Les espaces sonores paradoxaux s'inspirent du paradoxe de J.-C. Risset sur la hauteur du son. Quand ce son est synthétisé par une forme d'onde en dent-de-scie, les fréquences qui composent le paradoxe sur la hauteur peuvent demeurer audibles en dessous de 20 Hz : elles composent alors un paradoxe rythmique synchronisé à la boucle de l'espace sonore paradoxal. L'espace sonore paradoxal peut aussi être composé dans le contexte d'un paradoxe rythmique d'une durée multiple de la boucle spatiale.

Le paradoxe rythmique exploite une remise en cause propre à la *free-party* dans la forme symbolique de la tekno : l'échelle de régularité de sa pulsation. Contrairement à la tekno des *night-clubs*, celle des *free-parties* est ouverte à un public plus diversifié en terme de culture musicale (et

---

[111] Mahé, Pierre, *Codage ambisonique pour une communication immersive*, Laboratoire informatique image et interaction, Université de La Rochelle, thèse soutenue le 3/2/2022. https://univ-rochelle.hal.science/tel-03612363v1. Perception du son et évaluation de la qualité audio, 2.1 Perception du son, 2.1.4 Perception du son, 2.1.4.2 Erreur de localisation, p. 26. P. Mahé mentionne ici les travaux de Daniel, Jérome, « Représentation de champs acoustiques, application à la la transmission et à la reproduction de scènes sonores complexes dans un contexte multimédia », thèse de Doctorat, Université Paris 6, 2001.

aussi de classe sociale), d'où le foisonnement des styles que l'on peut entendre au cours d'une même soirée : *hardtek, tribe, acidcore, hardcore, gabber, speedcore, psytrance, hi-tek trance,…* ; autant de styles différents par leurs orchestrations et leur *tempi*. Plusieurs de ces styles peuvent coexister au sein d'un même *live* ou d'un même *mix*. Il arrive qu'un *dj* accélère pendant son *mix*, non seulement faisant tourner plus vite les platines mais aussi en calant ses disques toujours plus sur le temps[112], ce qui induit une durée d'accélération tellement longue qu'elle est difficilement perceptible, mais profondément stimulante. Il est plus rare que le *tempo* ralentisse sur le *dance-floor* pendant un *mix* car cet apaisement n'est pas forcément souhaité par le public, qui peut cependant adhérer au coté surprenant de la transition ; il est donc utile de pouvoir et de savoir ralentir en *live*. Composer l'espace sonore paradoxal dans le contexte d'un paradoxe rythmique est un procédé singulier et expérimental dans l'exploration de la portée chronotrope des espaces sonores paradoxaux.

Dans le cas d'un paradoxe rythmique vers le *tempo* supérieur, un *kick* pulsé accélère jusqu'au double de son *tempo* d'origine. La durée de l'accélération est multiple du nombre de pulsations par phrase pour toujours aboutir en début de phrase. En chemin entre le *tempo* d'origine et son double, une pulsation sur deux commence à s'estomper, jusqu'à disparaître quand le *tempo* atteint le double du *tempo* d'origine : comptée à la blanche, la pulsation au double du *tempo* est donc égale à celle du *tempo* original compté à la noire et peut être mise en boucle dans un rythme paradoxal.

Dans le cas d'un paradoxe rythmique vers le *tempo* inférieur, un *kick* pulsé ralentit jusqu'à la moitié de son *tempo* d'origine. La durée de la décélération est multiple du nombre de pulsations par phrase pour toujours aboutir en début de phrase. En chemin entre le *tempo* d'origine et sa moitié, une seconde pulsation silencieuse, déphasée d'une croche de la première, va *crescendo* jusqu'à ce que le volume sonore des deux pulsations soit égal quand le *tempo* atteint la moitié du *tempo* d'origine : comptée à la croche, la pulsation à moitié du *tempo* est donc égale à celle du *tempo* original composé à la noire, et peut être mise en boucle dans un rythme paradoxal.

Grâce à ce procédé de J.-C. Risset, il est possible jouer sur une pulsation qui donne l'illusion d'accélérer à l'infini, ce qui produit une stimulation dansante. Ces *crescendi* et *decrescendi,* appliqués une pulsation sur deux, peuvent intervenir sans que le *tempo* accélère ou ralentisse, afin d'altérer l'énergie dansante de tout élément musical pulsé.

À *tempo* régulier, les espaces sonores paradoxaux sont en symétrie *CPT*, et modulent par les conjugaisons CT (vitesse du fondu enchaîné controlée par l'hyperangle) et PT (vitesse des sources controlée par l'azimut et le zénith). La symétrie *CPT* est conservée tant que les sources de charges

[112] Je pense à *All night long*, un *mix* de Manu le Malin, qu'on peut écouter sur sa page Soundcloud: https://soundcloud.com/terugnaardebasis/intro

opposées ont la même durée et couvrent la même distance pendant le fondu enchaîné. Mais si le *tempo* accélère ou ralentit progressivement, les durées des fondus enchaînés entre les sources en symétrie de charge deviennent de plus en plus courtes ou de plus en plus longues, ce qui entraîne une asymétrie de charge entre les sources. Entre les sources en symétrie de parité, la vitesse n'est plus la même, ce qui entraîne une asymétrie de parité entre les sources. L'asymétrie temporelle se répercute sur la symétrie de charge et de parité. La transgression des symétries CT et PT se répercute sur la symétrie CP. Pour compenser l'asymétrie CP, les conjugaisons CT et PT sont automatisées suivant la variation du *tempo*: c'est dans la durée que les symétries de charge, de parité, et de temps sont transgressées puis réhabilitées par la conjugaison *CPT* : la corrélation du paradoxe sur la pulsation et de l'espace sonore paradoxal est une modulation de la conjugaison *CPT*. Sa mécanique applique une mise en abîme du fondu enchaîné entre deux espaces dans un fondu enchaîné entre deux temporalités.

Quand il accélère jusqu'à 240 bpm, le *kick* qui joue sur le temps faible avance peu à peu sur le *dance-floor* jusqu'à ce que ses transitoires d'attaque interviennent depuis l'arrière. Le vecteur azimutal de ces sources se déphase progressivement de 90 ° du vecteur des sources de charge opposée, sur une durée égale à l'accélération de la pulsation, jusqu'à atteindre 240 bpm.

Passé ce seuil, le *tempo* se réduit discrètement de moitié sur la première pulsation de la phrase, grâce à un système qui retient l'accélération jusqu'à ce que la phrase musicale séquencée se répète, pour jouer cette fois deux moins vite. L'accélération reprend dès la répétition de la séquence, sur laquelle le *kick* régulier joue maintenant à la croche. Les deux croches qui remplissent le temps fort sont jouées par les sources de charge positives, celles qui remplissent le temps faible sont joués par les sources de charges négatives. Quand le *kick* jouait à la noire avant la division du *tempo*, les temps faibles étaient joués à l'arrière du *dance-floor*; ils sont maintenant joués à l'avant du *dance-floor*, comme les temps forts. C'est désormais le contretemps qui est joué à l'arrière du *dance-floor*. Les vecteurs des sources en symétrie de charge reprennent leur orientation diamétralement opposée initiale de manière discrète à l'instant où le *tempo* se réduit de moitié. Le déphasage du vecteur des sources aux charges opposées à celles du vecteur d'orientation constante entraîne une transgression de la symétrie CP. Cette symétrie est reportée dans le temps au moment où le *tempo* est divisé par deux : il s'agit d'une conjugaison CPT. L'amplitude du contretemps s'estompe au fur et à mesure que la pulsation accélère vers le *tempo* initial. Ce *decrescendo* donne l'illusion que le contretemps s'éloigne derrière nous. La pulsation jouée sur tous les temps persiste à l'avant du *dance-floor*.

Opérer le *decrescendo* depuis les vélocités de la partition du *kick* interrompt l'enveloppe du *kick* qui joue sur le temps, car cet instrument est monophonique. Sur l'enveloppe d'amplitude d'un *kick hardcore*, la valeur finale de la fin de l'enveloppe est généralement non nulle pour interagir avec l'attaque suivante. La disparition totale de vélocité rétablit la fin de l'enveloppe de manière discrète

quand la pulsation retrouve son *tempo* initial. Cette altération de la fin de l'enveloppe nuit à la restitution de l'énergie *speedcore* par l'interaction entre le paradoxe sur la pulsation et l'espace sonore paradoxal. Le dédoublement à la croche est donc obtenu en traitant le signal audionumérique du *kick* par une ligne à retard sur laquelle se joue le *decrescendo*, et qui laisse la fin de l'enveloppe du *kick* intact. Un exemple sonore en quadriphonie, orientée selon les angles 0°, 90°, 180°, 270°, peut être téléchargé sous le nom « CPTprdx.aif. » à cette adresse: https://conspiration.me/nextcloud/apps/files/files/12012?dir=/ (nom d'utilisateur « Daniel », mot le mot de passe « danielgrosfichieraudio »).

La possible mise en boucle de la corrélation du paradoxe rythmique et de l'espace sonore paradoxal implique la possible symétrie temporelle entre la durée d'un paradoxe rythmique en accélération et la durée pendant laquelle il ralentit. Dans le premier cas, une source *spin up* de charge positive doit devenir une source *spin down* de charge négative, dans l'autre cas une source *spin down* de charge négative doit devenir une source *spin up* de charge positive. Dans les deux cas, la symétrie CP est transgressée par l'asymétrie temporelle et compensée par la conjugaison *CPT*.

L'énergie du paradoxe rythmique et spatial est dansante et peut être variée en suivant une rampe d'accélération, selon des valeurs métronomiques soit entières, par sauts discrets, soit décimales, dans la continuité. La continuité des valeurs métronomiques dans la rampe d'accélération peut rendre imperceptible l'évolution du *tempo*; elle n'est pas prévisible mais l'auditeur peut prendre conscience qu'elle a évolué sans se souvenir comment ni à quel moment : la continuité des valeurs métronomiques dans la rampe d'accélération du paradoxe rythmique est donc un procédé neuro-perturbateur.

En revanche, la discrétisation de cette rampe altère la perception du temps avec un effet qui serait un analogue sonore du facteur *G,* comme quand le poids d'un corps s'accroît brusquement sous une vive accélération, comme dans les manèges à sensation. C'est toute la discrétisation par le rythme qui est altérée, et avec elle l'anticipation même des énergies musicales jusqu'ici mémorisées. Les sources sonores se déplacent plus vite et instantanément avec chaque saut métronomique, modulant légèrement l'hyperespace du *kick*. La discrétisation de la rampe est donc une stimulation dansante.

Chaque saut entre les valeurs métronomiques survient sur une période de plus en plus courte entre des *tempi* qui sonnent de plus en plus continus. Chaque saut métronomique intervient quel que soit le moment de la phrase, par surprise : ce caractère relativement imprévisible fait de la discrétisation de la rampe d'accélération un procédé également neuro-perturbateur. Un exemple sonore en quadriphonie, orientée selon les angles 0°(avant-centre), 90°(gauche), 180°(arrière-centre), 270° (droite), peut être téléchargé sous le nom CPTprdxG.aif à cette adresse: https://conspiration.me/nextcloud/apps/files/files/12012?dir=/ (nom d'utilisateur « Daniel », mot le mot de passe « danielgrosfichieraudio »).

7 Synthèse et écriture instrumentale dans la boucle spatiale

Dans les boucles spatiales, les sources peuvent se déplacer à différentes vitesses, selon l'instrument traité. Chacune de ces vitesses est modulable et calculée selon le *bpm*. Les boucles spatiales sont classées en deux catégories : les boucles spatiales de longue durée sont utilisées pour spatialiser la *bassline*, le *lead*, les cymbales et les nappes ; les boucles spatiales de courte durée sont utilisées pour spatialiser le *kick* et la caisse claire.

7.1 Boucles spatiales de coute durée

- Quand le rythme joué par le *kick* est une pulsation régulière, les boucles spatiales du *kick* ont une durée égale à deux pulsations. Si la première pulsation est jouée par les sources de charge positive, la seconde est jouée par les sources de charges négatives. Sur le *dance-floor,* nous avons l'illusion de traverser des boucles spatiales d'une pulsation, ou l'illusion qu'elles nous traversent.
- Quand la caisse claire joue sur les temps faibles (ce procédé dansant se retrouve en *reggae* où il se nomme *skank*), les boucles spatiales de la caisse claire ont une durée égale à quatre pulsations. Si les deux premières pulsations sont jouées par les sources de charge positive, la troisième et quatrième sont jouées par les sources de charges négatives. Sur le *dance-floor,* nous avons l'illusion de traverser des boucles spatiales égales à deux pulsations, ou l'illusion qu'elles nous traversent.
- La position des sources de la caisse claire est décalée d'une pulsation par rapport à aux sources du du *kick*, mais cette fois-ci ce décalage a pour fonction de synchroniser les boucles spatiales, de manière à ce que la boucle de la caisse claire commence avec celle du *kick* du premier temps et s'achève avec celle du *kick* sur le deuxième temps.
- La symétrie PT du *kick* module de manière à ce que le *kick* ralentisse quand il approche et accélère quand il s'éloigne. Son impact est valorisé en un point de l'espace où les sources anti-parallèles se confondent quand elles se rapprochent et ralentissent.
- La rapidité des déplacements des sources du *kick* atteint un seuil dans la perception de la continuité entre la source qui s'approche et celle qui s'éloigne. Cette continuité est fondamentale dans le caractère opératoire des espaces sonores paradoxaux : la forme d'onde qui anime l'hyperangle dans la conjugaison CT est parfaitement sinusoïdale pour le *kick,* alors qu'elle tend vers le carré dans les boucles spatiales de longue durée.
- La symétrie PT de la caisse claire module de manière à ce que la caisse claire accélère quand elle approche et ralentisse quand elle s'éloigne, contrairement au *kick*. La caisse claire est traitée par une réverbération ambisonique qui est mise en valeur par le ralentissement de la source.

- La symétrie CT de la caisse claire est modulée de manière à obtenir le même seuil critique dans la perception de la continuité des espaces sonores paradoxaux de la caisse claire et du *kick*.

7.1.1 Variations sur les vecteurs et l'hypervecteur

L'hyperespace des sons peut être modulé en variant la phase des vecteurs et de l'hypervecteur. Les vecteurs indiquant la position des sources peuvent se déphaser l'un par rapport à l'autre au sein de l'hypervecteur dont les variations de phase modulent, elles, simultanément, la position des deux sources et la phase de l'hyperangle, donc le fondu enchaîné entre les deux sources. Ces changements de phase font varier la position des sources par rapport au moment où survient l'événement sonore. Sur le *kick* l'attaque provient de l'avant et la fin de l'enveloppe correspond au déplacement des sources vers l'arrière : c'est le cas quand les vecteurs et l'hypervecteur sont à 0°. La valeur hyperangulaire avoisine alors les 90°, selon la courbure de la modulation CT.
Avec un hypervecteur à 180° et sur deux vecteurs à 90°, l'attaque provient du centre, avec une source à droite et l'autre à gauche. La valeur hyperangulaire est alors pleine ou nulle, la fin de l'enveloppe du *kick* est traitée par le fondu enchaîné ce qui entraîne un effet de pompe aspirante en contretemps avec l'impact, comme dans le type de *kick frenchcore* instauré par *dj* Radium (connu aussi sous le nom de Micropoint). Cet effet est habituellement obtenu en appliquant un traitement par compression de type *side-chain*. Le déphasage des vecteurs et de l'hypervecteur permet de renforcer l'énergie *frenchcore* du *kick,* en accompagnant la compression *side-chain* par le traitement hypersphérique de la boucle spatiale. Ce traitement sur la phase des vecteurs et de l'hypervecteur véhicule davantage d'énergie *frenchcore* en l'absence de traitement hypersphérique car la fin de l'enveloppe du *kick* est un matériau sonore porteur d'une continuité plus discernable dans l'espace quand les sources sont traitées avec une optimisation *inPhase* : ce n'est pas le cas quand le fondu enchaîné s'équilibre entre les deux sources avec un traitement hypersphérique, car les harmoniques pairs disparaissent plus longtemps. Le traitement hypersphérique permet, lui, de donner un caractère plus central à l'attaque du *kick*, quand il provient de l'avant. L'attaque du *kick* est un matériau sonore discret, porteur d'une énergie dansante *speedcore* : pour le confort d'écoute, le point de repère de la pulsation dans le temps doit correspondre au centre du *dance-floor* comme point de repère spatial (Fig.7.1.1.1, Fig.7.1.1.2).

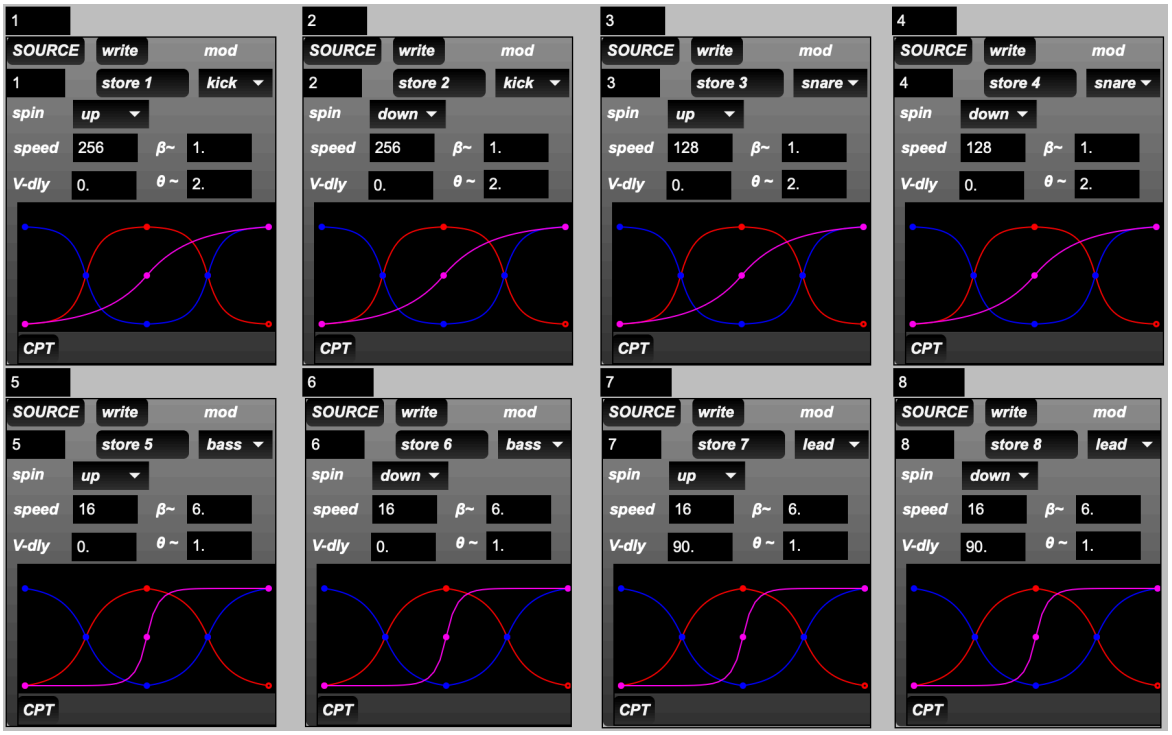


Fig. 7.1.1.1 Interface de composition des boucles spatiales 4D, avec : en rouge et bleu, la symétrie PT, contrôlée par l'angle azimutal θ~; en magenta la symétrie CT, contrôlée par l'hyperangle β~. La durée de la boucle spatiale est déterminée par le paramètre *speed*. L'hypervecteur peut se déphaser de la phrase musicale grâce au paramètre *V-dly*. Chacune de ces instances contrôle deux sources en symétrie CP, comme dans l'atome de para-positronium. Ces instances sont regroupées par paires notées *spin up* et s*pin down* pour traiter l'hyperespace sonore de chaque instrument.

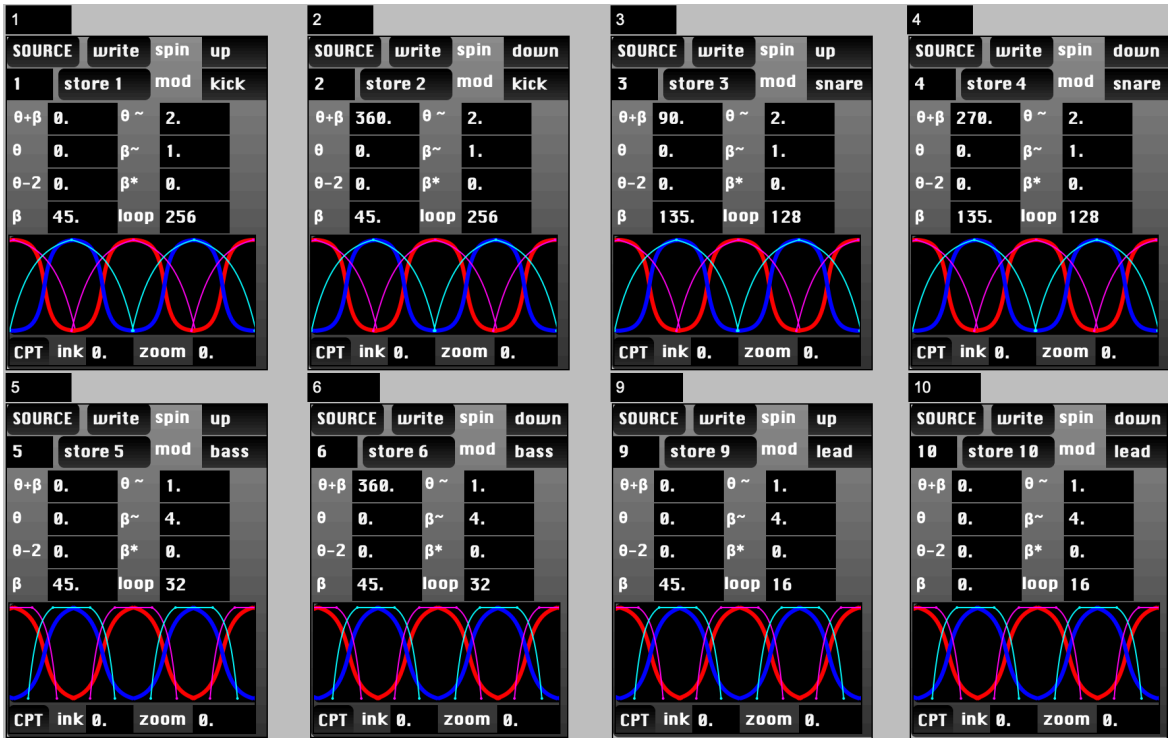


Fig. 7.1.1.2 Représentation de la nouvelle symétrie CT modulée par coordonnées hypersphériques.

Interactions entre les traitements sur l'amplitude et la spatialisation

Tout traitement sur l'amplitude du son peut être considéré du point de vue spatial comme un traitement sur la distance. Le volume sonore est pensé selon la forme géométrique de son champ de diffusion en tant que volume 3D. L'approche spatiale inverse toutefois les proportions du volume sonore et du volume spatial : l'espace immersif composé par un volume 3D aux grandes proportions est un espace distant, donc de faible volume sonore. Cette inversion des proportions se retrouve mathématiquement entre la mesure du volume sonore, selon son amplitude ou son rayon, et pose le problème de l'égalité entre un rayon nul et une amplitude infinie (ce problème est résolu par la composition symétrique des sources).

L'approche de l'amplitude comme une distance la rend composable dans l'espace comme dimension du temps. Les traitements sur l'amplitude comme distance ont pour objet de rendre le matériau sonore plus malléable aux traitements spatiaux. Les compresseurs en interaction avec les filtres modèlent une équidistance entre les parties saillantes du matériau sonore, afin de les mettre en valeur comme composantes spatiales. Ces distances substituées aux amplitudes sont internes au volume spatial de l'objet sonore. Mais en tant que source ponctuelle, la distance de cet objet est remplacée par l'orientation de l'hyperangle : puisque l'espace se substitue au volume dans les distances internes à l'objet, l'hyperespace se substitue à l'espace dans la distance qui sépare l'objet sonore du *sweet-spot* considéré comme centre de masse plus ou moins orienté vers l'objet sonore. Composer la distance en ambisonie, c'est composer le volume sonore de l'onde sphérique omnidirectionnelle de l'harmonique d'ordre zéro. Dans les espaces sonores paradoxaux, cette onde omnidirectionnelle est hypersphérique puisqu'elle est la somme de deux ondes sphériques en opposition de phase : l'état de cette onde hypersphérique varie entre les deux ondes sphériques selon l'hyperangle. Une onde sonore omnidirectionnelle est statique dans l'espace, elle correspond au centre de l'espace ambisonique, au *sweet-spot* immobile. Mais dans l'hyperespace, ce *sweet-spot* est une onde directionnelle en mouvement. La transformation de cette onde directionnelle en onde omnidirectionnelle reporte ses mouvements sur les vecteurs des autres ondes directionnelles. Composer la distance des espaces sonores paradoxaux consiste à composer ce *sweet-spot* virtuel comme centre de masse, dont l'immobilité interagit comme mouvement sur les ondes directionnelles. Composer l'amplitude comme distance sur un objet sonore tenant le rôle du centre de masse interagit donc sur la distance des sources ponctuelles par lesquelles l'objet est traité. Si, dans l'espace sonore, l'amplitude devient la distance, la distance devient dans l'hyperespace une orientation hyperangulaire vers l'état de source ou l'état de champ.

Composer la distance comme orientation hyperangulaire, c'est considérer que la propriété omnidirectionnelle du canal monophonique central lui permet de contenir des directions orientées vers l'hyperespace. Rétrospectivement, composer le volume sphérique du centre de masse dans une boucle spatiale, c'est traiter l'amplitude de l'objet sonore selon la dynamique déterminée par cette boucle, alors que l'objet est habituellement travaillé d'après l'amplitude constante de l'espace sonore statique des systèmes monophoniques et stéréophoniques.
La synthèse instrumentale et le travail de mixage permettent d'entendre les différences, parfois infimes entre les optimisations par traitement hypersphérique et les optimisations sans traitement hypersphérique : la modération du champ diffus par les harmoniques sphériques 4D rapproche ce traitement du format B, où le champ est absent.

7.1.3 Synthèse du *kick*

Les *kicks* sont synthétisés et mixés pendant que le traitement hypersphérique est actif. Tous les traitements sur l'enveloppe du *kick*, son filtrage et sa compression, interagissent avec l'illusion de distance paradoxale de la boucle spatiale. La spatialisation altère l'amplitude des sons : chaque *kick* est donc synthétisé et mixé en interaction avec cette altération.
Un *kick hardcore*, contrairement au *kick* tekno classique, a une longue fin d'enveloppe qui permet d'exploiter sa richesse spectrale. En plus de son énergie dansante, ce *kick* est un matériau porteur de différentes continuités neuro-perturbatrices qui interagissent avec la continuité du déplacement des sources. Deux formes d'ondes servent pour le composer la première joue l'attaque du *kick*, la seconde joue la fin de son enveloppe. Ces deux formes d'ondes sont animées par deux enveloppes : l'une joue la fondamentale, la modulante et l'index de modulation de la synthèse FM, l'autre joue la fréquence du filtre et la dynamique du son. Les deux enveloppes sont traitées différemment selon la FM et le filtre de chacune des deux formes d'onde. Généralement, la forme d'onde qui joue l'attaque est traitée par un filtre passe-bas, et celle qui joue la fin de l'enveloppe est traitée par un filtre résonnant. L'attaque du *kick* survient à l'avant du *dance-floor* au moment où les sources sont ralenties par la symétrie PT, et en même temps à l'arrière, au moment ou les sources de charges opposées accélèrent avec la symétrie PT. Cette attaque survient donc pendant le fondu enchaîné, dont la courbure CT module la durée pendant laquelle les harmoniques pairs disparaissent. L'attaque du *kick* est une composante du matériau sonore où la différence de traitement avec ou sans hypersphérique est la plus audible. Sans traitement hypersphérique, les sources sont toujours traitées en optimisation *inPhase*, avec peut-être plus de continuité dans le déplacement des sources, mais au détriment d'une diffusion plus centrale du *kick* dans l'espace. Le traitement hypersphérique peut être considéré comme un compromis entre le confort d'écoute basé sur l'amplitude et celui qui est

basé sur l'espace, plus rare en *free-party*. Composer l'attaque du *kick* pendant la modulation hyperangulaire CT revient à choisir les composantes hyperspatiales du matériau sonore, c'est-à-dire les différences spatiales où la symétrie CPT instaure une anti-corrélation des grains qui composent le son, au moment où ce son semble à la fois s'éloigner et se rapprocher par la direction opposée. La symétrie PT ralentit sur l'attaque, ce qui a pour effet de sur-mixer cette attaque en la concentrant sur un espace plus restreint que la fin de l'enveloppe. Cette hausse d'amplitude causée par le ralentissement PT est contrebalancée par le fondu enchaîné CT qui accroît la distance entre la provenance et la destination de l'attaque. La courbure PT provoque également l'accélération des sources pendant la fin de l'enveloppe du *kick*. Cette courbure PT interagit alors avec la courbure et l'amplitude de la fin de l'enveloppe de la FM et du filtre sur la forme d'onde qui joue la fin de l'enveloppe du *kick hardcore*.

Le *kick* peut être joué avec les deux formes d'ondes, ou seulement avec celle de l'attaque, ce qui permet d'alterner à volonté *kick* tekno et *kick hardcore* : ces transitions sont un procédé dansant particulièrement efficace et même indispensable pour satisfaire la communauté d'écoute *tekno-hardcore*.

Un autre procédé dansant, populaire dans toutes les communautés d'écoute tekno, repose sur la compression *side-chain* de la *bassline* par le *kick* tekno. L'amplitude de la *bassline* est compressée par l'attaque sèche du *kick* et se décompresse pendant la fin de l'enveloppe du *kick* selon la fin de l'enveloppe de la compression *side-chain*. La spatialisation de ce ce type de traitement sur la *bassline* et le *kick* crée une interaction entre la boucle spatiale de courte durée du *kick* et la boucle spatiale de longue durée de la *bassline*. À chaque début de phrase, les sources de la *bassline* sont proches de celles du *kick*, mais s'en éloignent pendant l'évolution de la phrase. Cette décorrélation des espaces de la *bassline* et du *kick* est agoniste de l' énergie neuro-perturbatrice de la *bassline*, car elle s'oppose au caractère statique du *dance-floor* et accompagne ses modulations continue par un déplacement continu des sources. Par son caractère périodique, cette décorrélation des espaces est également agoniste de l'énergie dansante tekno du *kick* et de la *bassline*. Quand la *bassline* est jouée sur un *kick hardcore*, la dynamique de la compression *side-chain* s'amoindrit car l'amplitude du *kick hardcore* est plus constante que le *kick* tekno et ne laisse généralement pas de place au silence; L'amplitude de la *bassline* compressée en *side-chain* par le *kick* se décompresse moins avec un *kick hardcore* qu'un *kick* tekno. Les fréquences moyennes-basses de la *bassline* interagissent dans l'espace avec celles du *kick hardcore*, et les deux instruments sont amenés à jouer les mêmes fondamentales, ce qui peut donner l'illusion qu'un instrument attire l'autre à lui dans l'espace tout en conservant leur différences spatiales : en émerge un champ paradoxal par interaction entre la boucle spatiale brève du *kick* et et la boucle spatiale longue de la *bassline*.

Les deux formes d'ondes sont mixées en trois étapes. Un premier mixage équilibre deux synthèses FM, un second équilibre leurs filtres, et le troisième équilibre l'attaque et la fin de l'enveloppe, traitée, elle, par un *flanger*, pour transformer le *kick hardcore* en *kick* spiralien. La fréquence du *flanger* est indépendante de la période de la boucle spatiale. Le *flanger*, comme simulation de l'effet Doppler, peut donner l'illusion d'une variation sur la distance; mais comme tout *kick*, le *kick* spiralien est au départ joué sur des *dance-floors* sans dispositif ambisonique; la continuité de son *flanger* est une énergie neuro-perturbatrice de type *acidcore* et n'a pas vocation à donner l'illusion d'une variation sur la distance. Mettre en abîme la fréquence du *flanger* avec le déplacement des sources a constitué un premier essai non-concluant dans la réalisation des espaces sonores paradoxaux. La même périodicité appliquée au déplacement des sources et à la fréquence du *flanger* sonne comme redondante et sa prévisibilité l'empêche de transmettre l'énergie neuro-perturbatrice *acidcore* du *kick* spiralien. Le changement de forme symbolique que prend le *kick* ambisonique repose sur le choix de créer, ou non, des interactions entre certaines composantes du matériau sonore et la spatialisation.

Il existe plusieurs langages de *tekno-hardcore*, donc plusieurs types de *kicks hardcore: gabber, happycore, terror, frenchcore, hardcore spiralien* (cette dernière catégorie est une formulation inusitée que j'ai choisie à des fins musicologiques, la présente liste de *kicks* n'étant par ailleurs pas exhaustive). Le *kick gabber* sonne comme un *kick hardcore* « oldschool ». Cette sonorité peut être obtenue en traitant un *kick* tekno par une distorsion. Ce traitement sur l'amplitude rend audible une partie du spectre du *kick* pendant la fin de l'enveloppe. Une fréquence grave, égale ou multiple de la fondamentale de *kick*, accordée aux autres instruments, prolonge le déclin du *kick*. Ce prolongement de ses fréquences graves lui procure une texture plus bruyante, plus lourde, plus dure que le *kick* tekno. Le caractère discret de l'attaque est érodé par ce prolongement des fréquences graves. L'attaque du *kick gabber* peut donc sonner de manière plus faible comparée à celle des autres *kicks*, ce qui lui donne cette couleur *oldschool*. Le *kick gabber* est une grosse caisse synthétique dont le matériau sonore contient une fréquence fondamentale, audible comme hauteur et porteuse de forme dans les styles *gabber* et *happycore*. La spatialisation du *kick gabber* traite cette fréquence fondamentale dans les sources qui se déplacent pendant la fin de l'enveloppe. Je programme l'équalisation qui précède la spatialisation du *kick gabber* pour que cette note grave prenne la qualité la plus immersive possible dans l'espace sonore, afin de conserver, voire d'appuyer, l'énergie dansante *gabber*.

7.1.4 Mixage du *kick*

Les deux styles *gabber* et *happycore* marquent particulièrement l'évolution de la tekno au cours des années quatre-vingt-dix dans la sphère d'influence culturelle des Pays-Bas (l'importante diffusion des compilations *Thunderdome* et *Rave massacre* met en valeur nombre de productions hollandaises). Le caractère festif de ces genres de tekno est reconnu par une communauté d'écoute particulièrement réceptive à la notion de hauteur sous ses formes mélodiques et harmoniques propres à la musique occidentale de tradition écrite. Les mélodies, les orchestrations, et la sonorité du *kick* sont plus sombres, plus dissonantes, plus bruyantes, plus dures dans le *gabber* que dans le *happycore*. Le style *happycore* peut sonner de manière *oldschool* tant le traitement du *kick* est lié aux limites des moyens de production des années quatre-vingt dix.
Plus le *kick* est distordu, plus la fin de son enveloppe est longue, plus il tend vers le *hardcore* mais requiert une compensation qui revalorise l'attaque érodée par la distorsion. Les traitements par compression compensent l'érosion du *kick* et permettent de travailler plus précisément sur un spectre toujours plus riche pendant la fin de l'enveloppe afin d'obtenir le *kick* le plus dur, le plus bruyant, le plus lourd possible : le *kick terror,* dont le spectre met plus en valeur les partiels inharmoniques que le *kick gabber*. Pour la communauté d'écoute *terror*, la qualité bruyante du *kick terror* est plus appréciée que la hauteur chantante du *kick gabber*. La variété possible de ces *kicks* non-basés sur la hauteur porte une forme plus imprévisible, alors que la hauteur des *kicks gabber* est souvent prévisible d'après un contexte où les échelles de hauteurs incluent la notion de note fondamentale. Par son caractère plus neuro-perturbateur, l'énergie dansante du *kick terror* se distingue de l'énergie instaurée par le *kick gabber*. Je programme l'équalisation qui précède la spatialisation du *kick terror* pour que ces partiels bruyants prennent la qualité la plus immersive possible dans l'espace sonore, maintenir, voire d'appuyer l'énergie dansante et neuro-perturbatrice du style *hardcore-terror*.

La compression qui précède la spatialisation a pour rôle d'équilibrer l'amplitude de l'attaque et celle de la fin de l'enveloppe. L'effet de compression a ses propres paramètres d'attaque et de fin d'enveloppe pour traiter la dynamique du *kick*. La fin de l'enveloppe de la compression traite la fin de l'enveloppe dans la synthèse du *kick*. L'attaque du *kick* peut être rééquilibrée si l'on limite son amplitude à un seuil maximum, et si l'on courbe plus ou moins sa phase en fonction de ce seuil. Les sources jouent l'attaque et la fin de l'enveloppe dans deux espaces espaces différents : la compression interagit donc avec la spatialisation en équilibrant l'attaque à l'avant du *dance-floor* avec la fin de l'enveloppe vers l'arrière du *dance-floor*. La distorsion du *kick* et sa compression, en tant que traitements sur son amplitude, deviennent des traitements sur la distance quand ils

précèdent la spatialisation. Le mixage rend intelligible l'ensemble des sons, donc l'énergie du matériau sonore et celle des différentes formes musicales de la tekno. Le mixage qui précède la spatialisation permet de retrouver l'énergie des formes et matériaux en les rendant intelligibles dans l'espace sonore.

Le travail de mixage destiné à la spatialisation permet aussi de rénover certains procédés dont la qualité stimulante n'est plus aussi forcément efficace qu'au moment où ils ont émergé comme nouvelles pratiques en *free-party*. L'*acidcore* spiralien peut sonner *oldschool* par rapport aux nouvelles productions *tribe*. Mixer des disques radicalement différents dans leur production peut être un exercice difficile: un *kick hardcore oldschool* peut sembler faible s'il doit prendre le relais d'un *kick hardcore newschool*. Il arrive que le *set* d'un *dj* soit consacré au style propre à une époque précise de la *free-party*, ou aux disques produits par un même label, ce qui garantit des niveaux sonores assez semblables d'un disque à l'autre.

La technique de la compression parallèle permet de procurer au son une production plus contemporaine. La compression parallèle traite un signal filtré, puis compressé une première fois. Le signal est à nouveau filtré après la seconde compression. Les deux compressions sont mixées, généralement à 50%. Dans la seconde compression, le seuil d'amplitude est au minimum et le ratio est nul : dans la mesure où tout traitement sur l'amplitude est un traitement sur la distance, la compression parallèle est un traitement qui fait tendre les composantes spatiales du matériau sonore vers l'équidistance d'une forme sphérique.

La forme sphérique parfaite correspondant à une orbitale *s* est monophonique, tout comme le sont généralement les *dance-floors*. La compression parallèle constitue un traitement après lequel l'espace peut donc être composé à partir d'un volume sonore relativement régulier. L'approche spatiale se substitue à l'approche de l'amplitude pour retrouver le confort d'écoute d'un *dance-floor* monophonique sur un *dance-floor* ambisonique.

Les traitements par filtres-équaliseurs, contrairement aux compresseurs, servent à rendre saillantes certaines composantes spatiales dans le volume sonore, comme par exemple les médium et les basses dans le *kick* et la *bassline*. L'équalisation a aussi pour objectif d'équilibrer les fréquences aiguës, plus discernables dans l'espace que les fréquences graves, afin de donner une texture aux sons graves et contribuer à donner l'illusion qu'ils se déplacent.

7.1.5 Le rôle agoniste de la spatialisation dans la forme musicale *speedcore*

Le *kick,* qui marque la pulsation, peut aussi la décomposer en diverses valeurs : la durée de la boucle spatiale est supérieure ou égale à l'unité de décomposition. Ces décompositions orientent le langage musical vers une énergie *speedcore,* par modulation rythmique entre unités de décomposition. Selon la durée de la boucle spatiale, la spatialisation est plus ou moins agoniste de cette énergie.

Dans le contexte d'une boucle spatiale de longue durée, la discrétisation du temps ponctue les phrases musicales par des strettes et prend la valeur de *break*. Son rôle structure la forme du *live*, ce qui peut favoriser la mémorisation et l'anticipation des processus dansants. L'énergie *speedcore* est le seuil maximum de l'énergie dansante: plus elle intervient souvent, plus elle oriente le langage musical du *live* vers le style *speedcore*.

Selon la périodicité de la caisse claire qui l'accompagne, la périodicité du *kick* peut être considérée comme pulsation ou comme décomposition du *bpm* : la caisse claire ponctue les *kicks* en les regroupant en nombres pairs. Plus sa période de ponctuation est lente, plus elle inscrit la mémoire et l'anticipation du temps sur le long terme. Plus sa période de ponctuation est courte, plus elle valorise l'immédiateté de l'énergie dansante du *kick* : la forme musicale *speedcore* est une approche du temps à court terme, où l'effet de surprise contrebalance la prévisibilité du temps à long terme. L'imprévisibilité du court terme propre au *speedcore* valorise l'énergie dansante issue de la périodicité par une énergie neuro-perturbatrice de caractère apériodique.

La boucle spatiale peut se substituer à la périodicité de la caisse claire pour moduler l'énergie du *kick*. Il est paradoxal que ce traitement spatial soit interactif puisque étranger à la communauté d'écoute, mais comme tout événement sonore même le plus inouï est réordonné dans la perception selon le contexte acoustique de la *free-party*, c'est justement son caractère paradoxal qui lui confère la singularité de son énergie.

En teknival, la convergence les *tempi* joués par les *sound-systems* convergent à certaines heures de la nuit, où dance-floors sont plus densément peuplés que la pendant la journée ; la stimulation dansante répond à l'attente du public selon des habitudes nocturnes. Les conditions météorologiques peuvent jouer enrôle déterminant dans cet emploi du temps : pendant la journée il fait trop chaud pour danser. Beaucoup de travelers aiment voyager dans des pays chauds et peuvent jouer une musique accordée à la température. Ce phénomène de convergence des tempi est moins audible quand le teknival a lieu dans un climat plus froid, on peut danser aussi pour se réchauffer. Les pulsations se superposent et favorisent l'émergence de synchronisations éphémères dans l'espace sonore qui émerge ainsi entre les *dance-floors*. Les pulsations peuvent s'entendre comme

écho à contretemps l'une de l'autre, ce qui est un cas d'espace paradoxal qui valorise l'énergie dansante. Un *dj* peut d'ailleurs mixer deux disques en contretemps l'un par rapport à l'autre pour jouer sur l'énergie dansante de leur interaction. Quand la durée de la boucle spatiale est égale à la blanche, deux *kicks* se succèdent chacun depuis deux espaces symétriquement opposés, comme si l'on entendait le même *kick* mixé en contretemps par deux *sound-systems* disposés devant et derrière nous.

7.2 Boucles spatiales de longue durée

La plus longue boucle spatiale est égale à deux phrases de huit temps : si la première phrase est jouée par une paire de sources de charge positive, la seconde phrase est jouée par la paire de sources de charge négative. Sur le *dance-floor,* nous avons l'illusion de traverser des boucles spatiales de huit temps, ou l'illusion qu'elles nous traversent.

Dans certains *lives*, la position des sources du *lead* est déphasée de quatre temps par rapport aux sources dans lesquelles sont regroupées la *bassline*, les nappes et les cymbales. Les fondus enchaînés du *lead* se croisent ainsi avec ceux de la *bassline*, des nappes et des cymbales. Dans d'autres *lives*, le *lead* est intégré à la même boucle spatiale que les nappes et la *bassline*. Les cymbales sont alors spatialisées avec des paires de sources dédiées à ce propre groupe instrumental. La durée de la boucle spatiale est alors égale à quatre ou huit temps. Cette durée plus courte assortie à la construction binaire de la mesure renforce l'énergie dansante portée dans la forme depuis le caractère discret du matériau sonore. Comme chez Curley, ces instruments sont souvent traités par des *flangers* généreusement réinjectés. Le long temps musical occupé par ces traitements continus est renforcé par la lente continuité du déplacement des sources, et véhicule une énergie neuro-perturbatrice *acidcore*. Sur le même instrument, une boucle spatiale de quatre temps peut renforcer l'énergie dansante présente en *hardtek* ou en *speedcore*, alors qu'une boucle spatiale de huit temps met plus en valeur l'énergie neuro-perturbatrice *acidcore*.

Les nappes jouent des harmonies dont la *bassline* joue autour de la fondamentale, accordée à celle du *kick* ; les deux instruments jouent des valeurs longues et leurs spectres modulent de manière continue avec des traitements de filtres, de *flangers* et de modulation de fréquence. Les sources défilent lentement pour que leur vitesse de déplacement soit associée aux traitements continus et émergents. La périodicité des nappes est corrélée à l'approche verticale de la hauteur dans un instrument dédié à la polyphonie. Sa prévisibilité repose sur des codes musicaux reconnus par les communautés d'écoute pour lesquelles la musique occidentale de tradition écrite est familière. Cette écriture instrumentale est caractéristique des langages *drum'n bass*, *dub*/*trip-hop* et *ambient;* elle pose un niveau énergique dépresseur et neuroleptique. Les nappes semblent opposer leur

énergie à celle des autres instruments, mais si leurs valeurs longues équilibrent les valeurs rapides des instruments porteurs d'énergie *speedcore*, elles peuvent aussi produire une énergie neuro-perturbatrice émergeant de l'état neuroleptique : leur matériau se prête volontiers à des traitements continus, notamment sur les filtres Les styles musicaux expriment différents moments de la vie pendant la durée particulièrement longue des événements festifs qui incluent des moments de relatif repos. L'effet de certaines énergies peut donc être qualifié de dépresseur et neuroleptique quand la musique est diffusée dans le temps de l'*after* et l'espace du *chill-out*. Les nappes peuvent également produire un effet neuro-perturbateur car leur matériau se prête volontiers à des traitements continus, notamment sur les filtres (comme souvent chez Somatic response, dont le langage *breakcore* est à la fois dépresseur et neuro-perturbateur[113]).

Les boucles spatiales de longue durée sont modulées par la symétrie CT pour écourter le fondu enchaîné : les phrases musicales qui s'achèvent sur un angle azimutal recommencent sur l'angle azimutal opposé, sans donner l'impression de se mélanger pendant un fondu enchaîné trop long. La symétrie CT incurve l'onde de l'hyperangle, en agissant sur elle comme un *overdrive*.

La symétrie PT ne module pas dans les boucles spatiales de longue durée : la vitesse des sources est constante, assurant plus de continuité entre la source qui s'éloigne et celle qui se rapproche.

7.2.1 Le rôle agoniste de la spatialisation dans la forme musicale *acidcore*

Les boucles spatiales de longue durée, par leur périodicité proportionnelle à la taille des phrases musicales, reportent dans l'espace l'énergie dansante de la répétition en boucle des événements sonores, alors que ces événements confèrent une énergie neuro-perturbatrice *acidcore*. L'énergie neuro-perturbatrice est reportée dans l'espace par la lenteur du déplacement de la source : cette basse vitesse permet de discerner le son comme source ponctuelle dans un espace déjà largement rempli par le volume du *kick*. Le traitement final du son comme source ponctuelle instaure un nouveau paramètre dans la modulation du matériau *acidcore* : un paradoxe qui s'oppose au caractère statique du *dance-floor*. L'espace sonore paradoxal permet d'assurer une continuité dans le déplacement de la source alors qu'elle s'éloigne vers l'arrière tout en s'approchant vers l'avant. Cette continuité dans le traitement spatial s'ajoute aux continuités neuro-perturbatrices *acidcore*.

Les *basslines*, les *leads*, et les nappes sont des matériaux qui portent une énergie *acidcore* dans la forme: il s'agit d'une temporalité longue, émergente et imprévisible. Les lentes variations de timbre opérée par les *flangers*, les filtres, et la FM inscrivent les boucles instrumentales dans un temps qui

[113] Je pense par exemple à des titres comme *Androstyle, Umbrella,* et *Wherever,* sur l'album *Circumflex*.

tend à se dilater, où les sons sont joués et rejoués avec d'infinis développements sur la variation du timbre. La boucle, par son caractère prévisible, est un procédé dansant qui s'inscrit dans le temps long et imprévisible de l'énergie neuro-perturbatrice *acidcore*. Le style *acidcore* se caractérise par des variations continues sur le timbre instrumental. Il a émergé de l'*acid* et l'*acid-house*, où les *basslines* étaient jouées et filtrées par l'instrument de synthèse TB-303.

Son énergie neuro-perturbatrice exprime l'altération de la perception par l'altération du matériau sonore, et altère la perception par l'altération du son. *Acid* fait référence à l'acide lysergique diéthylamide, ou LSD 25, neuro-perturbateur et stimulant[114], populaire depuis les années soixante où il devint le symbole chimique d'une forme de culture basée sur l'altération de la perception. Cette révolution culturelle s'exprime à travers différents styles musicaux qui renvoient à des communautés d'écoute sensibles à des codes musicaux pourtant fort différents : le caractère chronotrope du rock progressif des années soixante-dix (comme par exemple Hawkwing, Jethro Tull, ou King Crimson) est opératoire dans un contexte qui n'est pas celui de la *free-party*. Si un *sound-system* diffuse un *set* de rock progressif, son énergie est altérée par le contexte du teknival. La résistance musicale à l'entropie est une approche commune à ces deux styles, dont chacun correspond à une révolution culturelle différente. Le milieu *rave* s'est d'ailleurs scindé en *free-party* qui revendique un héritage *punk*, et *rave-party,* qui revendique un héritage *hippie*. Cette scission fait écho à l'émergence de la culture *punk,* en conflit avec la précédente révolution culturelle, *rock'n roll,* des *hippies*[115].

En *free-party*, la révolution culturelle par l'altération de la perception peut s'exprimer musicalement par l'évolution de l'*acidcore*. Par rapport à l'*acid*, l'*acidcore* est plus rapide, plus imprévisible et aussi plus bruyant dans le timbre sonore, c'est un *acid-hardcore*. Son énergie est plus dansante et plus neuro-perturbatrice, tout comme l'acide lysergique est stimulant et neuro-perturbateur. L'*acidcore oldschool* se reconnaît au jeu sur les filtres des *basslines*; l'*acidcore new-school,* qui se nomme *tribe*, conserve une certaine richesse dans le travail du timbre mais porte une forme plus prévisible, donc plus dansante mais moins neuro-perturbatrice. *Tribe* fait référence à l'*acidcore* des *travelers*, mais avec une approche plus sédentaire de la forme musicale. Je parle d'*acidcore* spiralien pour commenter l'écoute des *lives* de Spiral Tribe, désignant par là une période de l'*acidcore* joué par les *travelers* où l'expérimentation d'autres sons que les *basslines* filtrées a enrichi l'*acidcore* en divers styles informels. Ces langages musicaux informels ayant émergé entre l'*acidcore old school* et la *tribe* reflètent dans les années quatre-vingt-dix une apogée dans la

---

114 Cette stimulation est provoquée par la production accrue de glutamate qui accélère la vitesse de transmission des informations dans le cerveau. Cette stimulation semble limiter l'effet neuro perturbateur, qui est plus puissant quand il s'accompagne d'un effet dépresseur comme dans les psychotropes dissociatifs (kétamine) et délirogènes (Datura, Belladone, Jusquiame noire et Mandragore).

115 On peut comparer à l'écoute *The First Rebirth* pour la scène rave et la face B du mix *Fabinout* (Heretiks) pour la *free*.

révolution culturelle de la *free-party*, dont la nouveauté et la radicalité séduisent, horrifient, fascinent, au niveau mondial.

La pratique de l'ambisonie en *free-party* est une tentative de révolution dans la révolution culturelle. L'enjeu de la spatialisation de l'*acidcore* spiralien est à la fois de conserver et rénover son fort potentiel neuro-perturbateur. Trois décennies se sont toutefois écoulées depuis cette période où l'*acidcore* spiralien était le plus joué en *free-party*, et de nouveaux types de traitements, principalement granulaires se sont popularisés depuis pour travailler le timbre mais aussi le rythme, particulièrement dans l'école *breakcore*. Dans l'*acidcore* spiralien, l'altération toujours plus lointaine du matériau sonore porte une forme toujours plus singulière, voire complexe[116]. Dans *live@Bieerstadt*, Curley traite non seulement les *basslines* filtrées mais aussi les sons de batterie et autres percussions par un *flanger* au fort taux de réinjection, lui-même réinjecté dans une ligne à retard plus longue, elle-même traitée à différents taux de réinjection, ce qui crée des rythmes irréguliers parallèles à la pulsation. On retrouve cette cascade d'effets enrichie d'une réverbération stéréophonique chez 69db. Crystal Distorsion, lui, ajoute ou substitue souvent le modulateur en anneau aux effets de filtres et il réserve généralement le traitement par ligne à retard sur les sons percussifs pendant des transitions très imprévisibles[117]. Les procédés chronotropes de 69 dB et Crystal Distorsion entrent en interaction dans leur duo R-Zac. Dans mon *live*, cette idée de cascade d'effets ordonne les divers procédés neuro-perturbateurs de l'*acidcore* spiralien vers le traitement final de la spatialisation.

7.2.2 Autodétermination instrumentale

Des instruments comme le *lead* et les cymbales sont des instruments où l'autodétermination joue un rôle important pendant le *live*. Je qualifie comme autodéterminé un événement musical qui n'est pas déterminé par l'instrumentiste mais par l'instrument. L'instrument fonctionne avec une marge d'autonomie qui crée des variations imprévisibles et perturbe le discours musical selon plusieurs facteurs. L'autodétermination procure à ses instruments une énergie neuro-perturbatrice renforcée par la spatialisation. La périodicité de la boucle spatiale alimente des énergies dansantes qui équilibrent les énergies neuro-perturbatrices maintenues par la lenteur de déplacement de la source.

Un seuil minimum dans l'énergie neuro-perturbatrice est atteint par l'automation d'oscillation de basse fréquence (ou *lfo*, pour *low frequency oscillator*) sur le *flanger* du *kick* spiralien et de la *bassline*, ou sur le filtre de la *bassline* des nappes et du *lead*. Le niveau neuro-perturbateur de ce

---

[116] Je pense à des *lives* comme *Paint in your face*, de 69db, ou *Live23*, de Crystal Distorsion.

[117] Dans *Bela Lugosi's dead*, Bauhaus traite la caisse claire avec un effet similaire.

seuil est déterminé par le caractère périodique du *lfo*. Par sa basse fréquence d'oscillation, le *lfo* établit une échelle temporelle qui s'étend au-delà de l'échelle temporelle de la boucle instrumentale et sa spatialisation. Cette différence entre les temporalités est porteuse d'une énergie neuro-perturbatrice.

L'autodétermination instrumentale permet d'accroître cette différence en conférant à la forme une temporalité encore plus longue. L'allongement de cette durée donne le temps d'atteindre des niveaux plus profonds dans l'énergie neuro-perturbatrice. Le caractère périodique de la boucle spatiale contribue à réinscrire l'énergie neuro-perturbatrice dans un contexte plus prévisible porteur d'une énergie dansante. La spatialisation donne le temps à l'*acidcore* spiralien de s'enrichir en variations sonores plus lointaines. L'énergie neuro-perturbatrice du son est équilibrée par l'énergie dansante produite par le traitement de son espace.

Le paramètre *ringfreq* détermine la fréquence d'un modulateur en anneau. J'applique au modulateur en anneau une sorte de convolution : je multiplie dans le domaine polaire l'amplitude et la phase du son par l'amplitude et la phase d'une forme d'onde en créneaux. Lors de la re-transformation en coordonnées cartésiennes, seules les coordonnées imaginaires sont conservées. Ce procédé permet d'obtenir une couleur plus hybride entre les deux sons, afin de conserver la richesse du spectre là où une simple modulation d'amplitude peut détériorer le matériau sonore.

modulateur en anneau dans le domaine polaire:

```
ringmod = _<:(_, cartesian2polar ),( lf_squarewave (ringfreq/ringline)*0.5<:cartesian2polar):_,
((_*_),(_*_):polar2cartesian):_*(1-ringgain), _*0+ _*ringgain:_+_;
```

Pour les cymbales, cette fréquence *ringfreq* est issue d'un ré-échelonnement de la fréquence du grain. Pour le *lead*, elle est issue du ré-échelonnement de la valeur inverse du premier retard. (Fig. 7.2.2.1). Les traitements sur les cymbales peuvent être automatisés pour que le second et le troisième facteurs de *break* soient constamment sollicités, sans l'intervention du premier facteur déterminant le déclenchement et la fin du *break*. Le matériau des cymbales porte son caractère discret dans la forme musicale.

À son stade le plus périodique, cette discrétisation joue une synthèse de cymbale *charleston* ouverte sur tous les contretemps et entre ainsi en interaction avec le *kick*, dont elle renforce l'énergie dansante. Cet état constitue une forme symbolique de la tekno, tout comme la *bassline* compressée en *side-chain* par le *kick* (certaines productions compressent également en *side-chain* les cymbales par le *kick*) : la spatialisation transforme cette forme symbolique. Comme la boucle spatiale de la *bassline*, celle des cymbales est plus longue, plus lente, que celle du *kick*. La spatialisation, par son opposition aux formes symboliques où l'espace des cymbales est statique, véhicule une énergie dont

le caractère neuro-perturbateur émerge quand les cymbales sont traitées avec un *flanger/delay*, comme chez Curley.

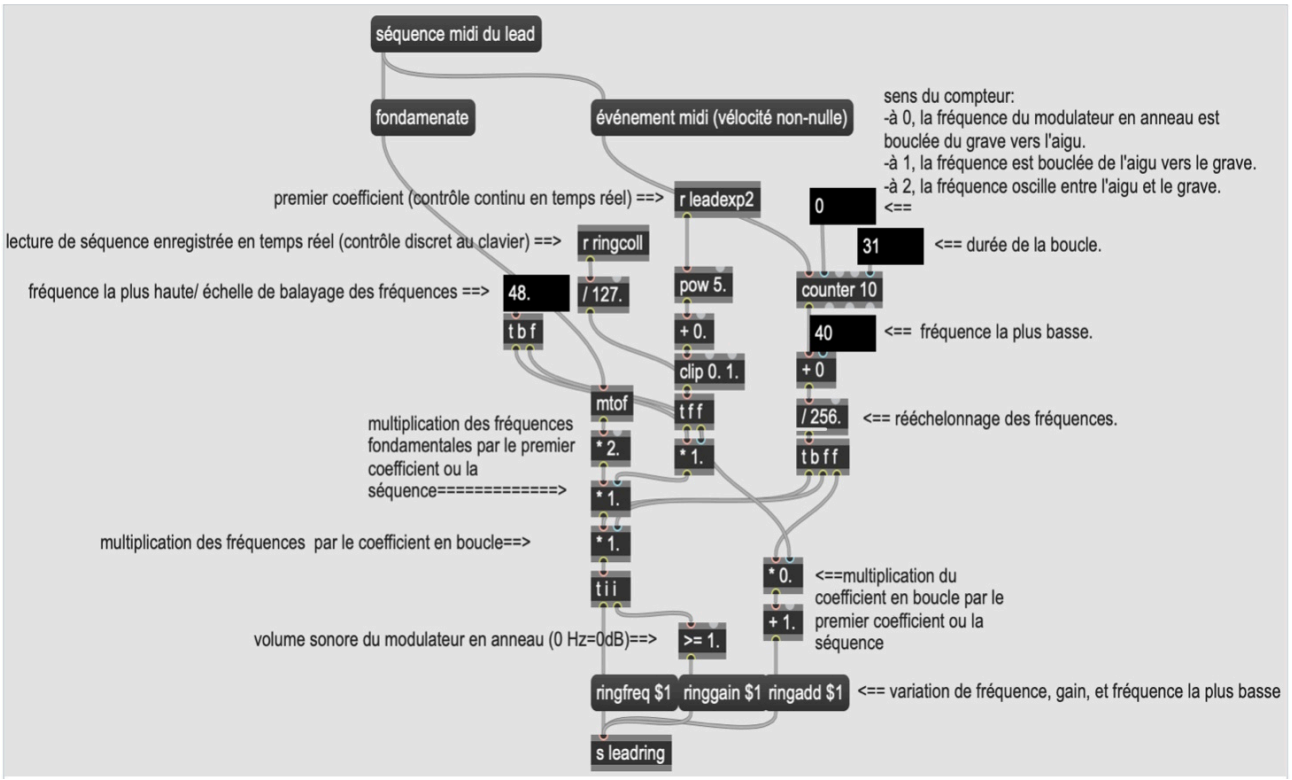


Fig. 7.2.2.1 Contrôle des fréquences pour le modulateur en anneau du *lead*.

Si elle joue des rythmes plus complexes que le simple contretemps de la pulsation, cette discrétisation peut développer une énergie perturbatrice jusqu'à devenir *breakcore*. Le caractère périodique de la boucle spatiale renforce l'énergie dansante apportée par le matériau discret des cymbales. Sur quatre temps, cette périodicité renforce davantage l'énergie dansante; sur huit temps elle renforce davantage l'énergie neuro-perturbatrice.

L'auto-détermination du comportement des cymbales leur confère une énergie *breakcore* renforcée par la spatialisation. La même spatialisation appliquée sur deux instruments différents comme la *bassline* et les cymbales ne renforce donc pas la même énergie. La spatialisation n'est pas intrinsèquement dansante ou neuro-perturbatrice mais elle intervient en renfort des énergies portées dans la forme musicale. Elle n'altère pas l'énergie musicale, mais peut renforcer la stimulation dansante d'un élément neuro-perturbateur, tout en renforçant l'énergie neuro-perturbatrice d'un élément dansant.

La spatialisation donne le temps aux formes *breakcore* et *acidcore* d'être davantage neuro-perturbatrices. L'espace donne assez de temps aux instruments pour que leur comportement s'auto-détermine. La transformation des sons par auto-détermination instrumentale fait émerger un nouvel univers sonore au sein de l'univers sonore établi lors de l'exposition des thèmes instrumentaux.

L'*acidcore* spiralien tend vers la mise en abîme d'univers musicaux émergeant les uns dans les autres : la forme de *Paint in your face*, de 69db, est structurée en parties tekno et en parties plus *drum n'bass*, sur des durées assez longues pour que le changement entre les parties soit imprévisible et saillant à l'écoute. La longueur de chaque partie donne le temps à des univers sonores très singuliers d'émerger pour devenir des contextes de transition entre les parties tekno et *drum n'bass*. L'usage d'une réverbération stéréophonique sur certaines sonorités fournit un exemple d'expérimentation sur la composition de l'espace sonore, une singularité propre aux *lives acidcore* spiraliens.

Le travail sur l'énergie *acidcore,* par l'autodétermination du *lead,* et sur l'énergie *breakcore,* par l'autodétermination des cymbales, est une ré-exploration de certains chemins suivis dans des *lives* comme Paint in your face. Les sonorités sont toutefois plus *hardcore*, plus bruyantes, et les rythmes moins périodiques que chez 69db. La composition de l'espace ambisonique rend immersive cette mise en abîme d'univers sonores.

L'autodétermination du *lead* a vocation à mettre en abîme des univers sonores, grâce à un certain usage de la ligne à retard dont les variations peuvent se répercuter sur un modulateur en anneau. La richesse de timbre obtenue peut ensuite être modulée par un filtre passe-bas, afin de mettre en valeur certaines fréquences moins aiguës, car le domaine des hautes fréquences est déjà abondamment rempli par l'interaction entre la ligne à retard et le modulateur en anneaux.

Dans l'autodétermination du *lead* (figure en Annexe A.7), une durée aléatoire de retards courts est ré-injectée dans une suite de retards longs de durée aléatoire, toutes les mesures de quatre temps ou toutes les phrases de deux mesures.

Pour colorer le timbre du son pendant les durées courtes, une variation discrète intervient entre deux taux entiers de réinjection, une négative et une positive, et évolue de manière aléatoire à chaque changement de durée. Toutes les valeurs de retard déclenchées depuis le *lead* sont multiples ou sous-multiples de la fréquence fondamentale jouée par l'instrument.

7.2.3 Autodétermination des *breaks*

Le *kick* peut aussi induire des énergies *drum'n bass* ou *breakcore,* en jouant un rythme plus complexe que la simple pulsation, dans des phrases de huit temps, dont l'énergie est renforcée par une boucle spatiale qui suit sa durée.

Une ligne à retard à plein taux de réinjection peut intervenir sur tous les instruments pour créer des strettes quand la durée du retard est longue, ou des sons grinçants et métalliques quand sa période est plus courte que 50 ms. La longueur de la boucle spatiale, bien qu'elle puisse être différente pour chaque instrument, suit les variations de cette ligne à retard. Les variations sur la durée du retard

sont toujours multiples ou sous-multiples de la pulsation. La boucle spatiale suit ou englobe les discrétisations du temps opérées par la ligne à retard quand sa fréquence est inférieure ou égale à la double croche. Au dessus de cette vitesse, la boucle spatiale s'étend sur une phrase de huit temps.

Le déclenchement des *breaks* peut être automatisé avec trois facteurs aléatoires :

- Un premier facteur choisit dans la phrase l'un des huit temps sur lequel le *break* se déclenche.
- Un second facteur choisit un type de *break* : variation sur les phrases rythmiques, traitements par la ligne à retard, ou par traitement granulaire.
- Un troisième facteur définit des durées pour la ligne à retard, la taille du grain, ou une séquence d'événements écrits si le *break* utilise les phrases rythmiques.

Les changements de la taille de la boucle spatiale sont automatisés selon le résultat de ces trois facteurs aléatoires, renforçant l'énergie généralement dansante des *breaks*. La somme des possibilités de *breaks* automatiques est assez importante pour donner l'illusion d'improvisation vivante : le caractère aléatoire, non-répétitif, et imprévisible des *breaks* leur confère également des propriétés neuro-perturbatrices.

Parmi les phrases rythmiques, l'une est un roulement qui accélère ou ralentit de manière continue et aléatoire, indépendamment du *tempo* : il s'agit d'un procédé dansant par la répétition de la pulsation, mais également neuro-perturbateur par son côté aléatoire, continu, hors de toute référence au *tempo*, excepté sa spatialisation. Le caractère dansant de cette énergie *speedcore* est renforcé par la périodicité de la boucle spatiale et son énergie neuro-perturbatrice est renforcée par la lenteur du déplacement continu de la source.

Le seuil maximum de discrétisation de répétition de la pulsation est limité à seize millisecondes : cette limite est définie pour assurer la transmission d'événements sous forme de donnée ponctuelle. La transmission de ces données est assez rapide pour que la succession des événements puisse varier au-dessus et en dessous de 20 Hz, entre des seuils perceptibles comme hauteur et des seuils perceptibles comme rythmes.

Les comportements aléatoires de la donnée ponctuelle et du signal audionumérique peuvent s'accumuler et interagir pour accroître les possibilités de ce comportement aléatoire. L'accumulation et l'interaction entre rythmes, lignes à retard et traitements granulaires est une interaction de la différence de seuil entre les différentes variations.

Selon l'aléatoire par laquelle ils sont construits, les *breaks* apportent tout type d'énergie sur une échelle comprise entre le procédé le plus dansant et immédiat au procédé le plus neuro-perturbateur et émergent. L'état de cette énergie aléatoire est renforcé par le changement de durée de la boucle spatiale. Une boucle spatiale courte apporte l'immédiateté de l'énergie dansante. Quand elle est longue, elle favorise l'émergence de l'énergie neuro-perturbatrice.

Le style musical *breakcore* inverse les valeurs de la boucle et du *break* établies en tekno. En tekno, le *break* intervient ponctuellement pour mettre en valeur le retour de la boucle; en *breakcore*, c'est la boucle qui intervient ponctuellement pour mettre en valeur le retour du *break*. Insuffler l'énergie *breakcore* par le *break* consiste à renverser ces valeurs pendant le *break* et mettre en abîme l'interaction entre le *break* et la boucle. Pendant le *break*, la somme des traitements met également en abîme l'interaction entre le matériau discret et le matériau continu : un univers sonore peut en contenir un autre, l'un peut émerger de l'autre ou s'y effondrer. Les *breaks* ponctuels interagissent avec l'autodétermination instrumentale qui est, elle, continue. La même ligne à retard est active sur les *breaks* et l'autodétermination instrumentale ; les durées du *break* sont donc réinjectées dans la boucle où intervient l'autodétermination instrumentale : l'autodétermination du *break* donne alors une orientation à l'autodétermination instrumentale. Quatre types de *break* peuvent intervenir en s'accumulant : le changement de phrase rythmique, la variation lente et continue de la fréquence à laquelle se répètent les événements sonores percussifs, la ligne à retard et le traitement granulaire. Chacun des quatre types de *breaks* peut contenir plusieurs énergies :

- la phrase peut jouer des rythmes tekno, *dubstep*, *hip-hop* ou *drum n'bass,* donc changer de manière discrète des énergies dansantes de stimulation, ou de dépression.
- la variation de fréquence sur les événements répétés fait varier de manière continue une énergie de stimulation si la fréquence accélère, ou une énergie de dépression si la fréquence ralentit.
- la ligne à retard entretient une énergie stimulante lorsqu'elle répète régulièrement les événements sonores, mais son caractère imprévisible et des interpolations sporadiques entre les retards lui font produire une énergie neuro-perturbatrice.
- le traitement granulaire, par son caractère imprévisible, sa radicalité dans l'interversion du discret et du continu dans le matériau sonore, véhicule une énergie neuro-perturbatrice.

Plus le *break* est neuro-perturbateur, plus la réinjection laisse des traces qui orientent l'autodétermination de l'instrument dans la boucle. Quand la boucle revient après un *break* neuro-perturbateur, la réinjection de durées courtes entretient durablement des fréquences aiguës, qui renforcent l'énergie stimulante de la boucle. L'autodétermination instrumentale réagit plus ou moins selon le type de *break* et peut renforcer ainsi le contraste qui les oppose.

7.2.4 Le rôle agoniste de la spatialisation dans l'énergie *breakcore*

La mise en abîme des univers sonores peut de produire de manière émergente dans le cas du *lead*, mais également de manière discrète : c'est le cas pour les cymbales et le rôle joué par les *breaks*. Le déclenchement du *break* entraîne une variation immédiate dans la vitesse des sources. La boucle spatiale du *kick*, égale à une pulsation lorsqu'il est régulier, est plus lente pendant le *break*. Le retour du *kick* pulsé est alors mis en valeur par la spatialisation quand les sources reprennent leur vitesse initiale (Fig. 7.2.4.1).

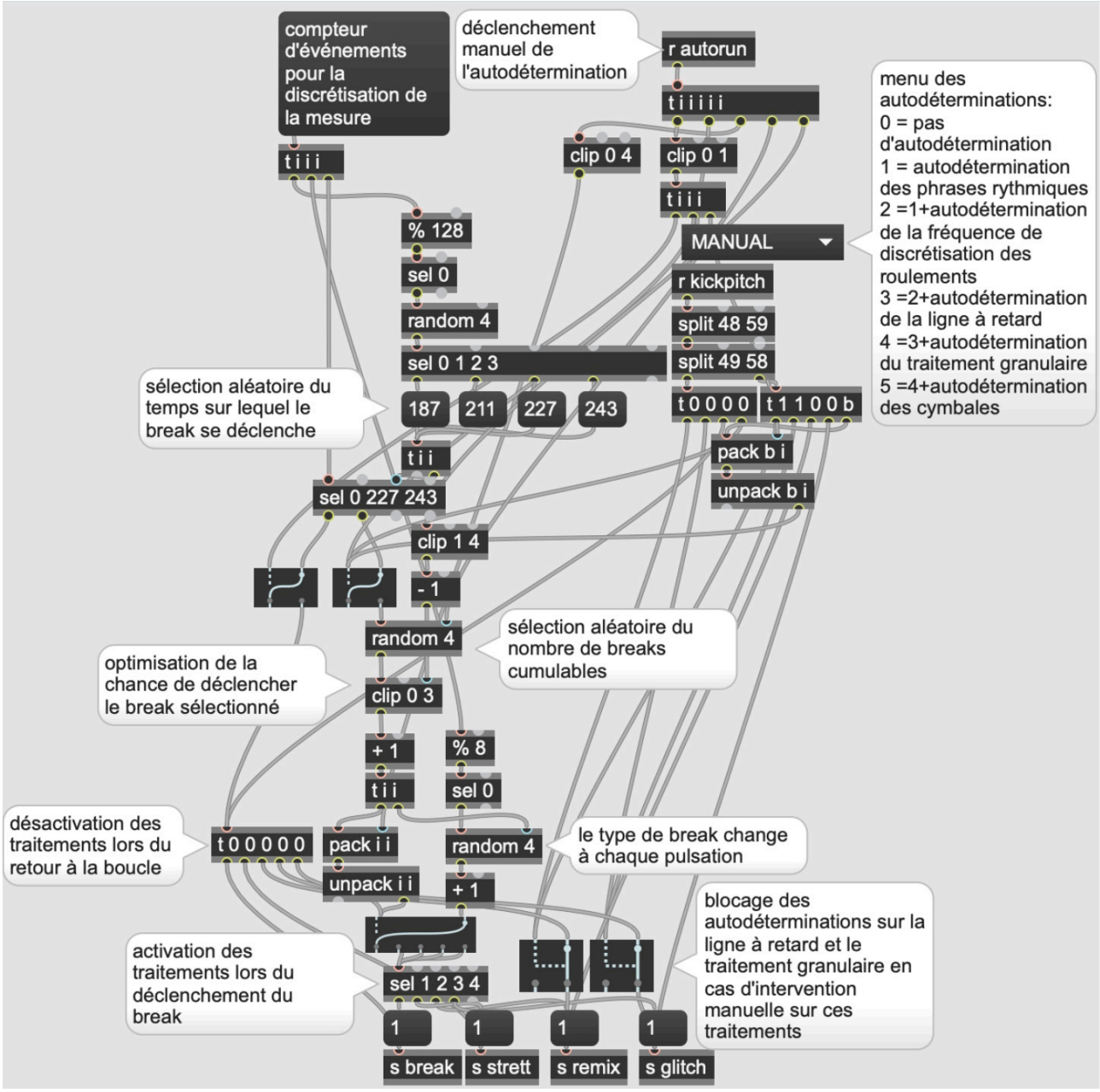


Fig. 7.2.4.1 Autodétermination des *breaks*.

La mise en valeur du *break* par la spatialisation est agoniste de son énergie; or le *break* peut contenir des énergies très diverses. Il peut traiter le matériau discret des instruments de percussion ou le matériau plus continu de la *bassline*, du *lead* et des nappes. Le résultat du traitement varie selon les matériaux et cette variation dépend du temps où intervient le *break*. La boucle spatiale est de même durée que lui : si le *break* est court, la boucle spatiale qui lui correspond est également écourtée (Fig. 7.2.4.2).

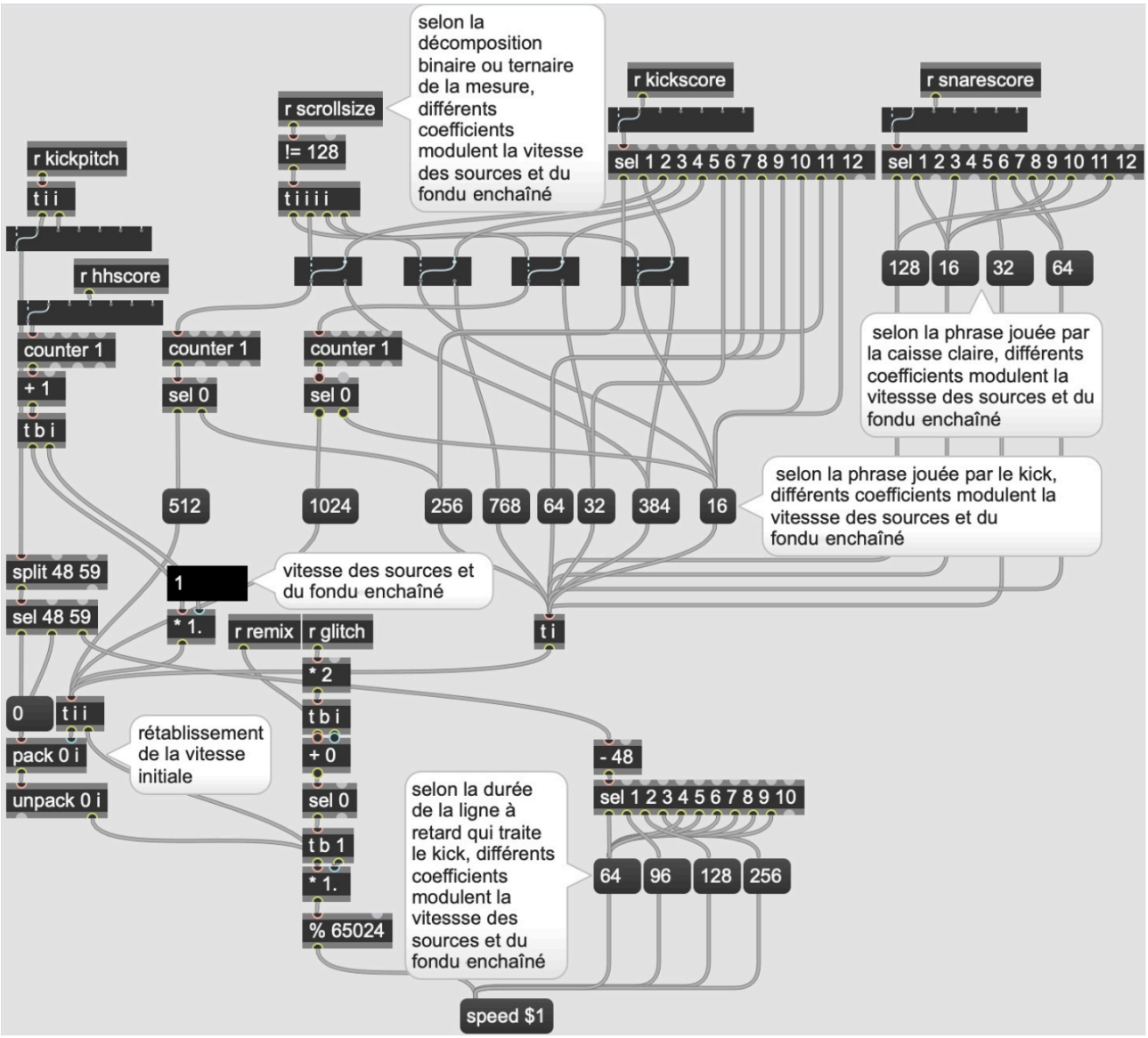


Fig. 7.2.4.2 Implication de la vitesse des sources et du fondu enchaîné dans l'autodétermination du changement des séquences rythmiques du *kick* et de la caisse claire.

Un univers sonore nouveau peut donc de créer à l'occasion d'un *break*, même le plus court possible quand il est joué sur le dernier temps de la phrase. Si le *break* est plus long, l'univers sonore qu'il joue a le temps d'explorer des effets neuro-perturbateurs plus émergents. L'automation du retour à la boucle initiale sur le premier temps peut d'ailleurs être bloquée pour que ce nouvel univers sonore dure indéfiniment (Fig. 7.2.4.3).

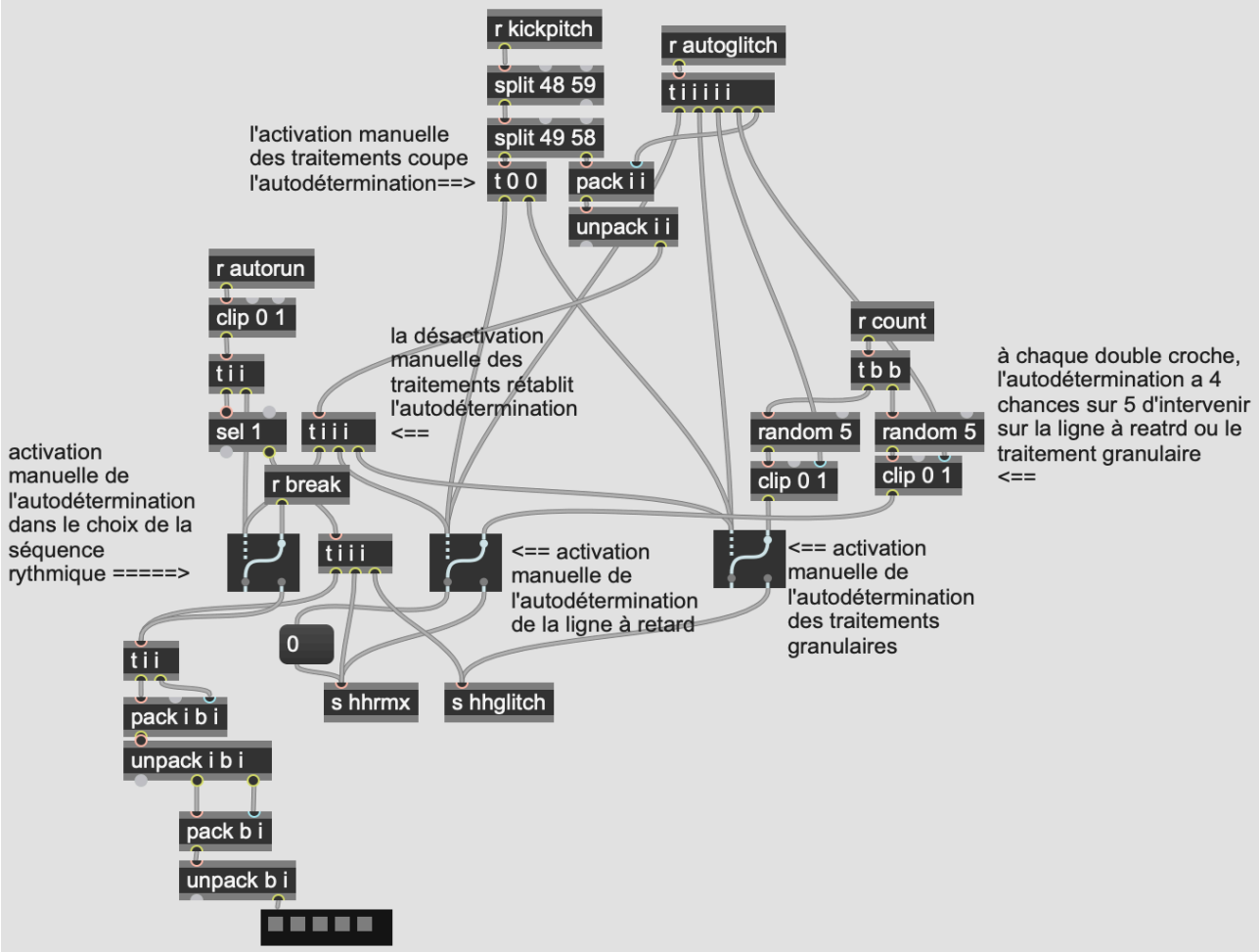


Fig. 7.2.4.3 L'autodétermination des cymbales peut être permanente quand le paramètre *auto-glitch* est activé.

Le traitement granulaire joue un rôle très important dans cette mise en abîme discrète des univers sonores par ses possibilités de transformation radicale du son. Les transformations obtenues par le traitement granulaire produisent des textures sonores dont la précision peut appeler une sensation tactile, où le son semble exprimer un état de la matière : solide, liquide, gazeuse, plasmique, cristalline, avec tous les états intermédiaires et points critiques imaginables. Les états de la matière sont autant de dispositions, de la plus périodique à la plus apériodique, des atomes dans l'espace. La matière sonore ne dépend pas de ces symétries comme la matière physique : il ne s'agit que d'une analogie, mais cette analogie est rendue possible par l'expressivité du traitement granulaire.

Le traitement granulaire réintroduit la singularité de l'événement sonore pour une communauté d'écoute habituée à ce que toute sonorité s'intègre de manière prévisible dans l'univers sonore du teknival. Or, plus un son est prévisible, moins son effet est neuro-perturbateur. Une communauté d'écoute plus habituée aux traitements granulaires ne les entend pas forcément comme connotant l'état de la matière, mais toujours avec une oreille sensible aux transformations radicales du son. Associer la matière sonore à une matière physique, c'est peut-être encore entendre le son de manière non-musicale, bruyante. Le caractère bruyant qui a fait évoluer la tekno vers la tekno-*hardcore*, doit devenir encore plus bruyant pour demeurer énergique.

L'autodétermination des instruments et des *breaks* peut être un moyen efficace de « donner vie » à la musique, pour qu'elle s'auto-détermine comme tout autre forme de vie.

L'interaction de la spatialisation avec le traitement granulaire renforce l'expressivité, le caractère vivant de la matière sonore. L'ambisonie contribue à procurer à la tekno son caractère vivant en la faisant sortir de son état monophonique, donc inerte. Il est possible de faire intervenir le traitement granulaire directement dans le domaine sphérique, mais la transformation sonore entraîne dans ce cas des différences d'amplitudes trop importantes pour maintenir l'équilibre du confort d'écoute sur un *dance-floor*. Mes traitements granulaires interviennent donc avant la spatialisation et sont composés dans la boucle spatiale des cymbales ou du *break*.

Cependant, les sources peuvent aussi défiler plus rapidement jusqu'à devenir un champ diffus, ce qui est souvent le cas lorsque l'autodétermination du *break* pilote la ligne à retard ou le traitement granulaire avec des valeurs très brèves (Fig. 7.2.4.4). Ce champ diffus fait apparaître des hauteurs depuis les rapides variations angulaires, modulées par d'autres hauteurs, issues des rapides variations de l'hyperangle (Fig. 7.2.4.5).

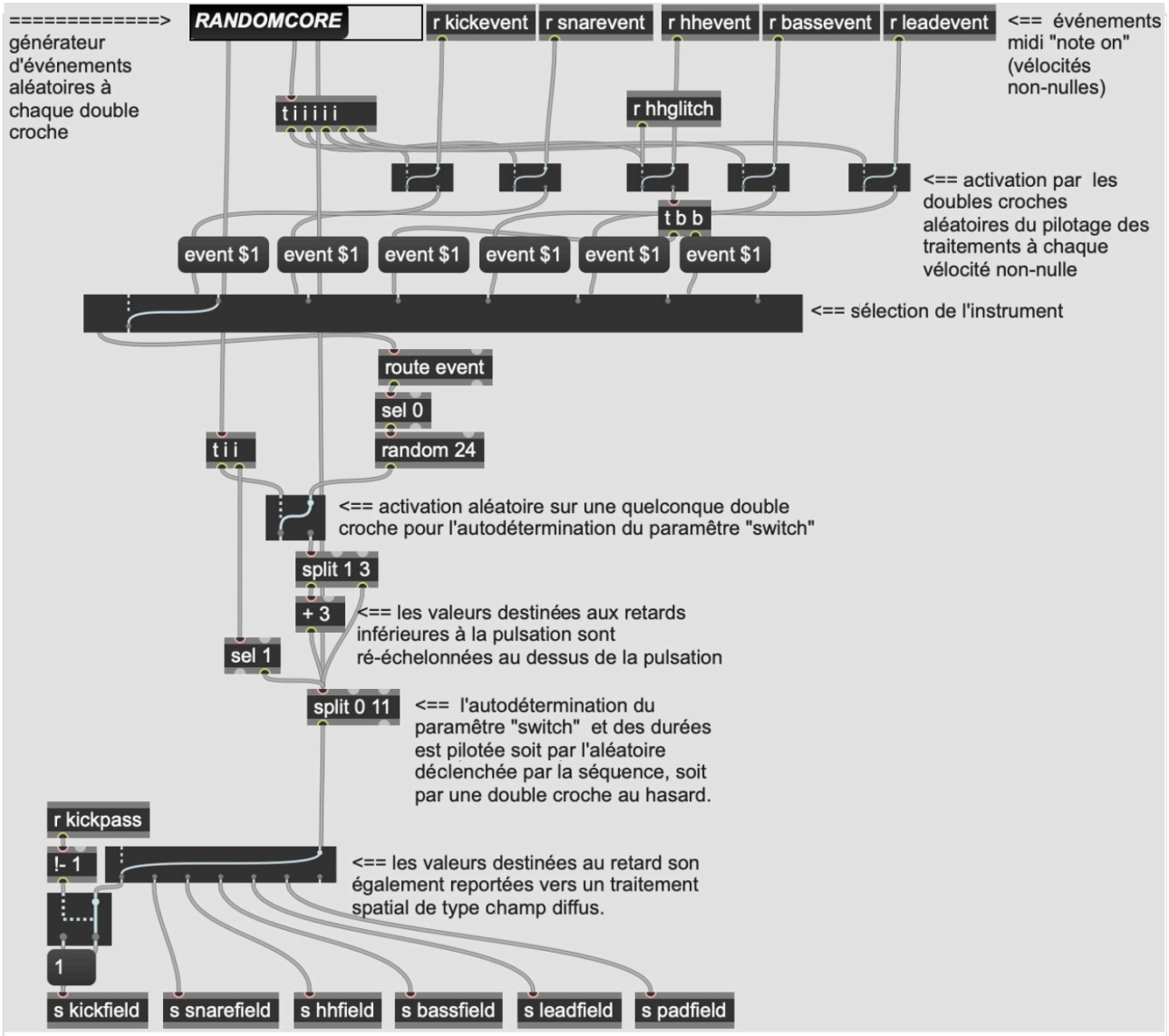


Fig. 7.2.4.4 Autodétermination des données destinées à la spatialisation. Ces données pilotent en parallèle des durées de retard : les dix retards les plus longs sont joués selon dix vitesses de déplacement des sources. La donnée zéro rétablit la vitesse initiale de la boucle spatiale.

La différence d'amplitude est assez importante entre le son traité comme source ponctuelle et comme champ diffus. Les fréquences graves du *kick* montent en fréquence après un mixage qui met particulièrement en valeur les fréquences moyennement graves. Quand le *kick* est traité comme champ diffus, son mixage tend alors à lui faire couvrir les autres sons. Ce traitement hypersphérique met en valeur l'effet des traitements granulaires sur les fréquences graves. Il sonne de manière assez bruyante, voire étrange, car l'équilibre de la boucle spatiale est troublé, la symétrie des sources n'est pas assez audible pour que le champ diffus réordonne par l'espace le traitement granulaire, mais les transitions entre les boucles spatiales des sources et les *break* par champs diffus ont une qualité qui permet de renforcer l'énergie *breakcore*.

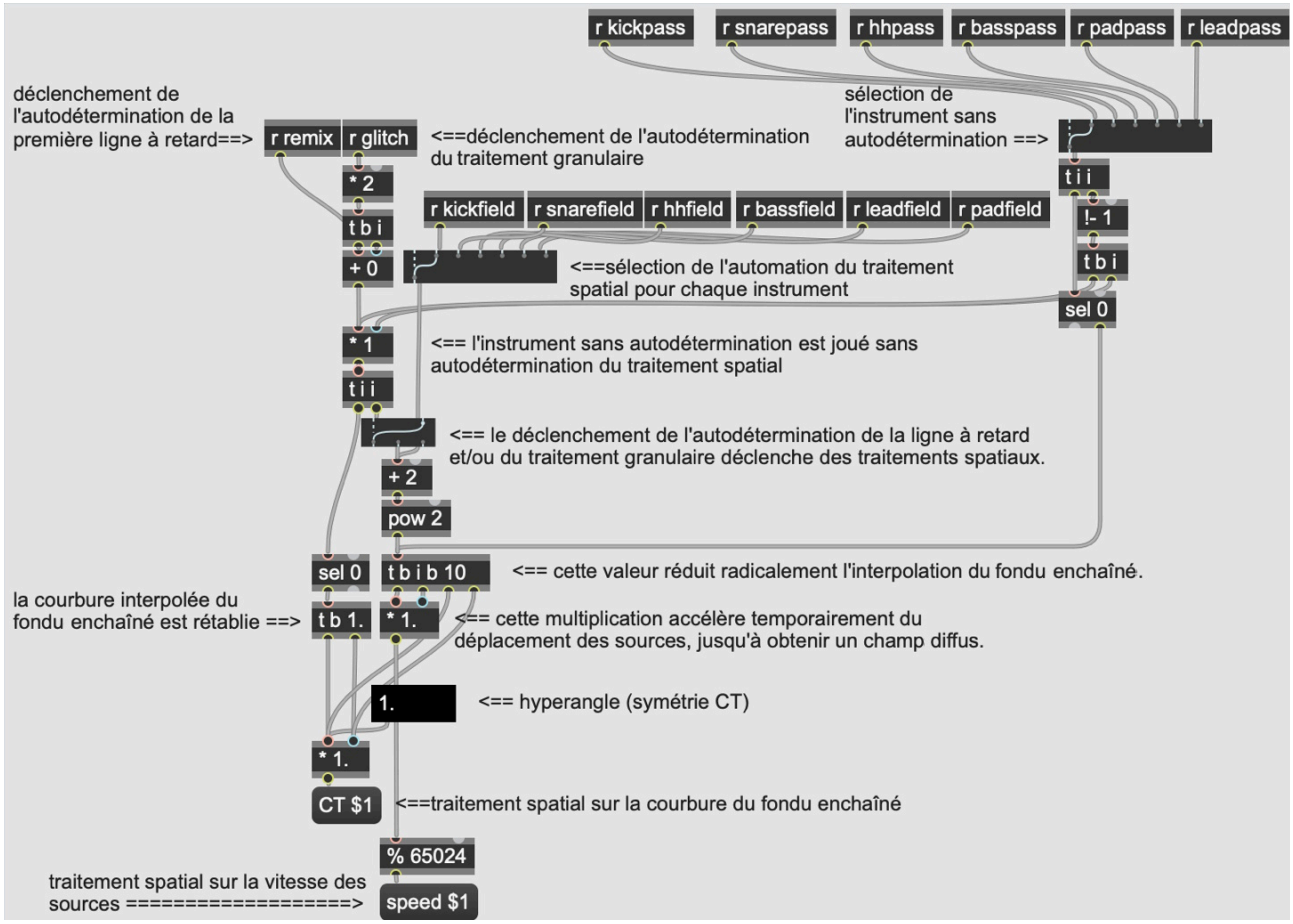


Fig. 7.2.4.5 Transformation des données en coordonnées spatiales : vitesse des sources, du fondu enchaîné et de sa courbure.

Le rôle du *break* dans l'énergie dansante peut tendre vers le *speedcore* quand il traite de manière discrète des matériaux discrets : on peut alors plus parler de *fill-in* que de *break*. L'intervention du *break* est prévisible dans une certaine échelle, puisqu'elle met en évidence une carrure dans la forme musicale. Les caractères prévisibles de la boucle et du *break* se superposent ainsi pour renforcer l'énergie dansante, mais l'interaction peut aussi s'opérer par contraste entre l'univers sonore de la boucle et celui du *break*. L'univers sonore qui se crée lors d'un *break* peut être fortement neuro-perturbateur, notamment quand les instruments sont traités de manière granulaire. L'auto-détermination des traitements granulaires met en abîme deux échelles de probabilités. La première détermine la forme du grain et sa raréfaction, la seconde détermine la première selon une échelle de taille qui change pendant le *break*. Le caractère imprévisible du traitement granulaire est renforcé par le caractère imprévisible du jeu sur ce traitement. Les traitements spatiaux sur le *break* sont donc agonistes de l'énergie neuro-perturbatrice *breakcore*.

Composer l'instrumentation et son écriture dans les boucles spatiales régulières me permet de traiter les boucles instrumentales sur une durée plus longue qu'en stéréophonie, grâce à la manière dont le traitement ambisonique renforce l'énergie dansante. Cette durée donne aux traitements

autodéterminés le temps de faire vivre plus longtemps les objets sonores. Par rétroaction, la programmation des traitements autodéterminés intègre les traitements spatiaux pour altérer la boucle spatiale. L'autodétermination joue un rôle important non seulement en renforçant le caractère vivant attribué à la musique mais aussi en la rendant vivante dans l'espace. La spatialisation contribue au caractère vivant de la musique, qui cesse alors d'être statique, inerte et sédentaire, pour devenir extatique, énergique et nomade.

8 CONFIGURATION DU *LIVE* EN AMBISONIE

8.1 Espace et temps dans l'architecture des interfaces de *live* 4D et 6D

J'ai programmé sur *Max msp* les interfaces liveHSH4D pour jouer en ambisonie 2D, et liveHSH6D pour l'ambisonie 3D. La synchronisation temporelle des données et signaux numériques est organisée autour de la fonction *os.phasor*, présente dans le langage de programmation Faust. Cet objet est paramétré pour émettre une onde en dent de scie dont la période désigne la durée de la boucle temporelle dans laquelle s'organisent tous les événements du *live*. La durée de la boucle est égale à deux phrases de huit temps, selon une pulsation variable.

Dans Max msp, l'objet *edge~* reporte les transitions de phase entre 1 et 0, en émettant une donnée ponctuelle : cette donnée a pour fonction de déclencher un train de données qui discrétisent le temps en triples croches (Fig. 8.1.1). Cette discrétisation anime l'index de tables où sont écrits les événements de hauteur et de vélocité que joue l'instrument de synthèse.

La fonction *os.phasor* est utilisée avec les mêmes paramètres dans les objets d'encodage 2D, 3D, 4D, et 6D, pour animer l'azimut, le zénith et l'hyperangle. Toutes ces fonctions *os.phasor* demeurent synchrones, et assurent ainsi la synchronisation de la boucle temporelle et de la boucle spatiale.

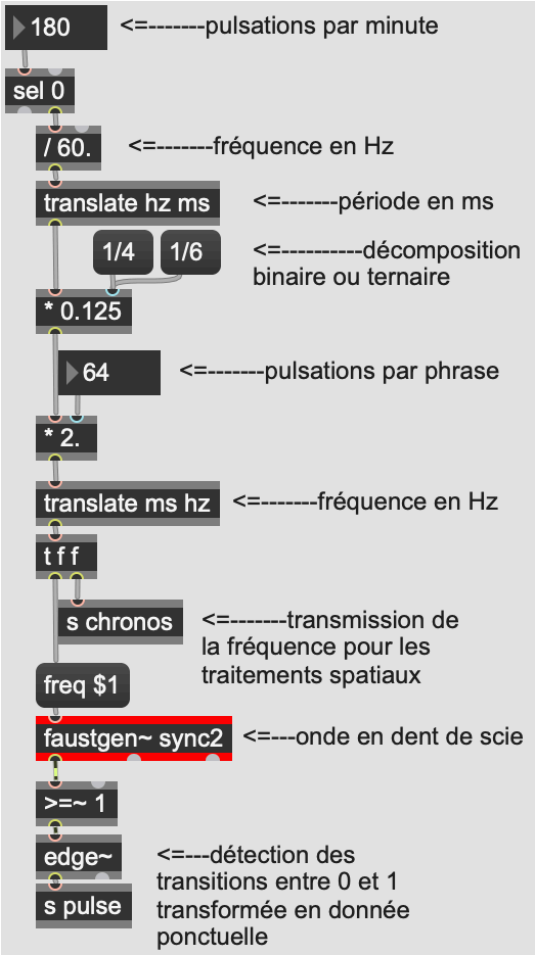


Fig. 8.1.1 Construction du temps cyclique dans les interfaces liveHSH4D et liveHSH6D.

```
f= hslider("freq", 0, -100, 100, 0.000001);
s= hslider("steps", 8192, 6144, 8192, 1);
process = 1+sin(os.phasor(s, f)*ma.PI);
```

Code Faust de l'objet « sync2» utilisant la fonction *os.phasor* pour émettre le l'onde en dent de scie.

L'architecture des interfaces liveHSH4D et liveHSH6D a pour fondation la programmation de la boucle temporelle ; la boucle spatiale est au sommet de cet architecture. Plusieurs étages de traitements du signal et de la donnée constituent les étapes qui mènent du temps à l'espace.

Les tables, dont l'index est animé par la discrétisation de la boucle temporelle, font jouer à des instruments virtuels des données de hauteur et de vélocité. Ces données sont donc transformées en signaux audionumériques lors de la synthèse sonore par modulation de fréquence. Chaque instrument, en plus des traitements propres à son *design* sonore, est traité par une chaîne d'effets, communs à tous les instruments : une ligne à retard, un traitement granulaire, un *flanger*, et un filtre.

Le format multicanal conserve l'indépendance des pistes instrumentales qui peuvent alors être traitées pour un mixage. L'intelligibilité de chaque son dans une orchestration parfois complexe compte beaucoup dans l'intelligibilité des traitements spatiaux qui interviennent après les opérations de mixage et de *mastering* en multicanal. Les traitements de mixages utilisent des filtres en cascades et des compresseurs. Les traitements de compression permettent de traiter la *bassline* en *side-chain* en fonction de l'amplitude du *kick*, ce qui est un procédé incontournable en tekno. Les

compresseurs répondent à diverses automations: la réponse du *side-chain* sur la *bassline* diffère si le *kick* est tekno ou *hardcore,* le volume sonore de la *bassline* est ajusté pour rester en équilibre avec les autres instruments. Quand la ligne à retard qui traite tous les instruments est à plein taux de réinjection, il est possible de faire passer le signal audiophonique du *kick* outre ce traitement, pour qu'il soit réintroduit parallèlement à ce traitement. Son propre traitement par la ligne à retard est lui-même traité par une compression *side-chain* animée par le *kick* qui passe outre la ligne à retard. La valeur de retard correspond à la taille de la boucle spatiale : la réintroduction du *kick* réajuste cette taille en fonction du rythme qu'il joue. Les automations des compresseurs, liées aux traitements spatiaux, participent aux procédés dansants.

La caisse claire est traitée au format ambisonique, entre le domaine sphérique et le domaine hypersphérique.

Chaque session de *live* peut être enregistrée au format sphérique. Avec un ordre ambisonique limité à 5 pour les harmoniques hypersphériques 4D, j'enregistre 11 voies ; avec un ordre ambisonique limité à 3 pour les harmoniques hypersphériques 6D, j'en enregistre 16, ce qui est le maximum de canaux que peut traiter l'enregistreur multicanal de *Max msp*. Plus j'enregistre un nombre important de canaux, moins je peux les enregistrer longtemps. La taille du fichier à enregistrer doit être choisie pour que la mémoire du disque dur soit multiple de la taille du fichier. Les enregistrements sont donc planifiés et automatisés pour se déclencher autant de fois que le nécessite la durée du *live*. Deux enregistreurs multicanaux se relaient pour assurer la totalité de l'enregistrement.

8.2 Assignation des traitements au contrôle midi

8.2.1 Contrôles discrets et contrôles continus automatiques

La keytar est un clavier qui se porte comme une guitare. Les différents contrôleurs sont répartis entre la main droite et la main gauche, selon leur mécanique discrète ou continue. Sur le manche de la keytar, la main gauche peut accéder à trois contrôleurs continus : une barre de modulation, une surface tactile qui sert de *pitch-bend*, et un potentiomètre. Sous le manche, d'autres contrôleurs, discrets et non-assignables en midi, permettent de changer l'octave ou de bloquer la valeur de la pédale, si ce contrôleur supplémentaire est branché. La main droite peut jouer sur quatre octaves qui discrétisent la hauteur, ou tout autre paramètre sonore. Ces soixante notes répondent également à un *aftertouch*, seul contrôleur continu pour la main droite. Juste au-dessus du clavier, un tableau de bord permet de varier les sons de la keytar si ses sorties audiophoniques sont branchées, ou de circuler dans les menus pour modifier et enregistrer des configurations sonores et midi. Les pédales d'expression que j'utilise en plus de la keytar sont, par contre, des contrôleurs immobiles.

Avant de m'équiper de la keytar, j'ai joué pendant quelques années avec pour seul contrôleur un clavier immobile disposant de nombreux potentiomètres au dessus des touches. Or, le jeu sur les potentiomètres occupe souvent les deux mains en même temps. Leur valeur est conservée quand je les lâche ; je m'en sers pour jouer des traitements de longues durées. Sur le clavier, je joue à la main droite les notes traitées par les effets continus joués par la main gauche sur des contrôleurs qui reviennent à leur valeur initiale quand on les lâche. Dans la keytar, le moindre nombre de contrôleurs limite le jeu aux traitements de courtes durées. Je joue les traitements de longue durée à partir des potentiomètres du Virus-TI ou des pédaliers qui eux laissent les mains libres de jouer sur le clavier ou les potentiomètres.

Une première pédale d'expression est branchée en jack sur la keytar, et un pédalier midi programmable contenant 12 déclencheurs, dont 2 dédiés à l'incrémentation de valeur, et 2 pédales d'expression. L'assignation des contrôleurs à la spatialisation est une part importante du *live*. Le tableau de bord de la keytar permet de choisir entre plusieurs configurations, dans lesquelles plusieurs assignations aux traitements spatiaux sont présentes (Fig. 8.2.1.1).

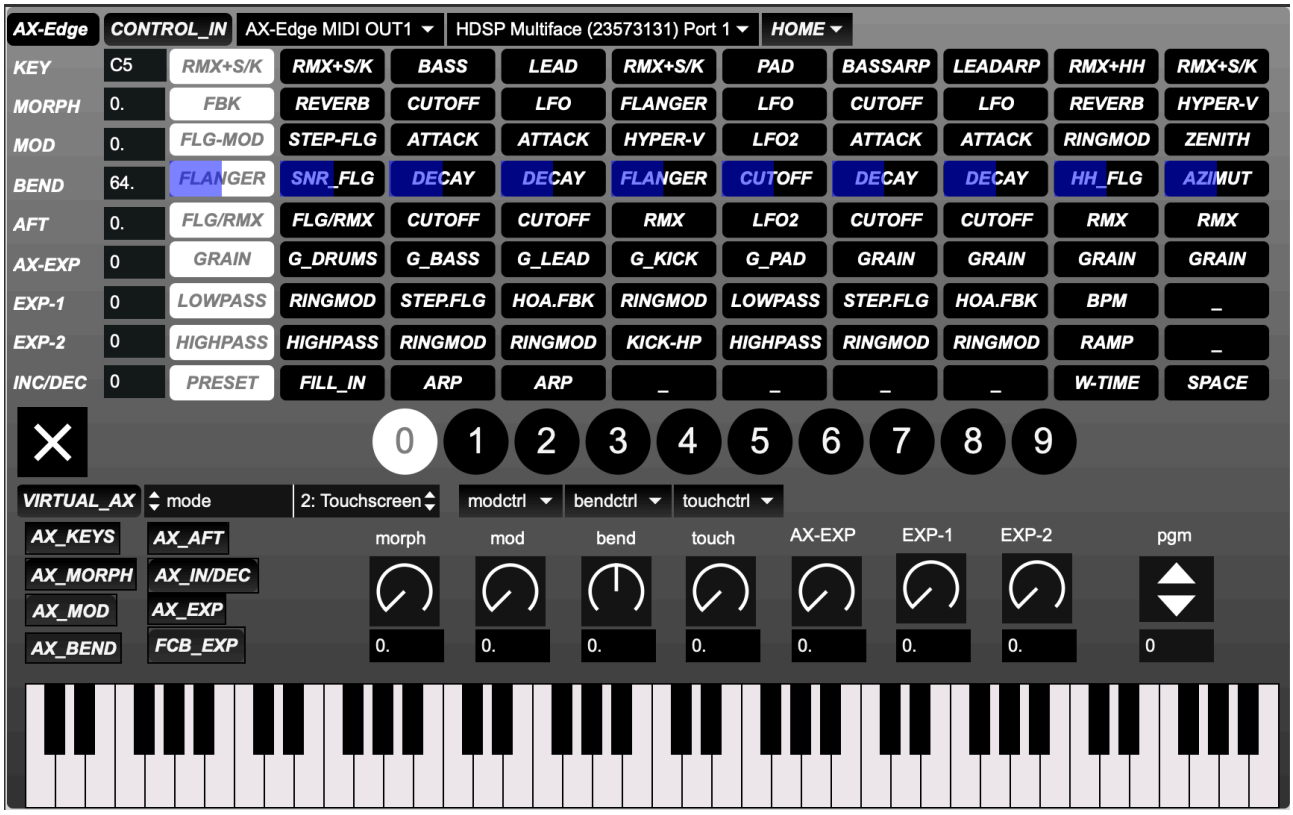


Fig. 8.2.1.1 Interface des dix configurations pour l'assignation des contrôleurs midi.

La première configuration me permet de passer d'une boucle à l'autre pendant mon *live*, à l'aide de deux touches du tableau de bord dédiées à l'incrémentation de la valeur midi. La boucle ne change pas immédiatement dès que j'appuie sur ces touches, c'est son index qui est mémorisé et qui est ensuite déclenché par automation en début de phrase musicale.

La première octave permet de couper ou de rétablir la voie des différents instruments et de jongler ainsi avec les traitements spatiaux qui leurs correspondent.
Les notes de la seconde octave déclenchent des traitements de ligne à retard à taux de réinjection maximum sur tous les instruments, dont le signal d'entrée sera nul tant que le taux de réinsertion sera plein. Cette ligne à retard crée, par écho, des boucles à l'intérieur de la boucle. Aux notes de cette octave correspondent différentes valeurs de retard, et différentes tailles de boucle spatiale : temps et espace modulent discrètement d'une note à l'autre. La valeur du retard peut être modulée de façon continue par l'*aftertouch* sans altérer la taille de la boucle spatiale. Les retards qui vont de la carrée à la double croche font intervenir des boucles spatiales de la même taille : au-delà de la double croche, les retards décomposent une boucle spatiale de la taille d'une carrée. Les notes Do et Si coupent le taux de réinjection et laissent entendre les instruments sans traitement de ligne à retard, dans la boucle spatiale qui correspond au rythme joué par le *kick*. Le Si joue un *kick* tekno, le Do joue un *kick hardcore*[118].

La troisième octave permet de changer le rythme joué par le *kick*, donc la taille de la boucle spatiale qui suit la pulsation, les roulements, et les *breaks*. La quatrième octave permet de changer le rythme joué par la caisse claire, donc la taille de la boucle spatiale qui suit la blanche, les roulements, et les *breaks*. Les boucles spatiales qui animent le *kick* à l'état de pulsation et la caisse claire sur les temps faibles sont donc rapides. La caisse claire est traitée par une réverbération ambisonique, qui survient après le traitement dans le domaine hypersphérique.
À la manière des *lives* de Curley, les cymbales et caisses claires sont traitées par un *flanger*, lui-même traité par une ligne à retard : la durée de ces retards est définie par les notes de la seconde octave. Le *pitch-bend* peut moduler en continu le taux de réinjection, positif ou négatif du *flanger*. Le potentiomètre définit le taux de réinjection des retards[119].

Une pédale d'expression est assignée à l'amplitude du traitement granulaire: elle immerge les instruments dans le traitement granulaire, ou les fait émerger de ce traitement. Le traitement granulaire intervient après le traitement par la ligne à retard déterminé depuis les notes de la seconde octave. La barre de modulation contrôle le taux de réinjection d'une autre ligne à retard propre au traitement granulaire.
Les instruments, ainsi traités ou non-traités, sont filtrés en passe-haut ou passe-bas par les deux pédales d'expression midi, chacune assignée à un filtre.

---

[118] Le code de l'objet *remixer* est consultable p. 175 dans l'annexe A.5.

[119] Le code de l'effet *flanger* est consultable p. 179 dans l'annexe A.8.

Cette configuration des octaves dans mon *live* est celle à laquelle je reviens le plus souvent pour le structurer en passages pulsés ou non-pulsés, peu ou très discrétisés, peu ou très orchestrés, avec un *kick hardcore* ou tekno. Ces octaves sont donc assignées à des procédés dansants.

Dans la seconde configuration, le potentiomètre permet de traiter la caisse claire avec plus ou moins de réverbération. Il s'agit d'une réverbération ambisonique; la caisse claire est le seul instrument à bénéficier d'un traitement supplémentaire dans le domaine sphérique. Cette spatialisation de la caisse claire la met particulièrement en avant dans l'équilibre général des instruments (Fig. 8.2.1.2). Le *kick* et la *bassline* occupent beaucoup l'espace sonore par leurs fréquences basses et la réverbération ambisonique permet à la caisse claire de se superposer à la *bassline* et au *kick* avec le même caractère spatial immersif. L'équilibre entre le *kick* et la caisse claire est un code musical associé au confort d'écoute en *free-party*.



Fig. 8.2.1.2 Interface du *sound-design* de la caisse claire. Les 5 paramètres en bas à gauche, *size*, *damp*, *wet*, *dry*, et *diff* contrôlent la réverbération ambisonique *hoa.fx.freeverb~* (programmée par P.Guillot).

Les touches d'incrémentation permettent de passer du pilotage manuel au pilotage automatique pour le déclenchement des *breaks*. La valeur 0 correspond au pilotage manuel, la valeur 1 au pilotage automatique. La valeur 2 automatise toutes les variations possibles des *breaks* pour accroître le caractère imprévisible des rythmes joués par les cymbales (Fig. 8.2.1.3) : il s'agit d'un procédé neuro-perturbateur inspiré par la pratique des traitements granulaires popularisés en *free-party* par l'école *breakcore*.

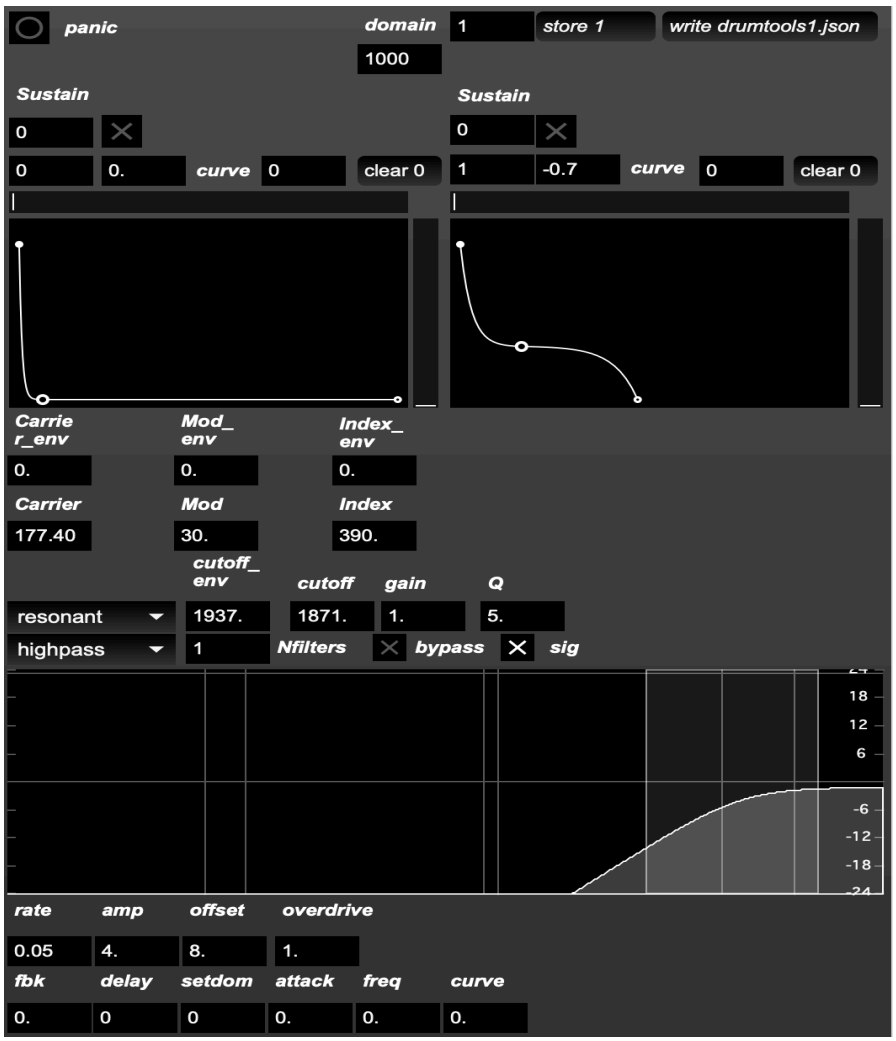


Fig. 8.2.1.3 Interface du *sound-design* des cymbales.

La troisième configuration permet de jouer la *bassline* au clavier ; la détection du message midi *note-on* coupe l'arrivée des données de hauteur et de vélocité en provenance de la boucle, qu'elle remplace par les notes que je joue (Fig. 8.2.1.4). Le message *note-off* détecté avant un début de phrase laisse alors les notes de la boucle rejouer au début de la prochaine phrase. Le potentiomètre contrôle l'amplitude d'une oscillation de basse fréquence venant varier la fréquence du filtre qui traite la *bassline*. La fréquence de ce filtre peut être directement modulée par l'*aftertouch* quand la bassline est jouée au clavier. Le *pitch-bend* module l'enveloppe de la *bassline* : avec une valeur négative, il réduit la durée de relâchement; avec une valeur positive, il l'allonge. La barre de modulation allonge, elle, la durée de l'attaque. Un *flanger* traite la *bassline,* la première pédale FCB est assignée à la fréquence de balayage qu'elle discrétise lorsque sa valeur est non-égale à zéro ; la taille de la discrétisation est multiple de la pulsation et varie selon l'instrument.

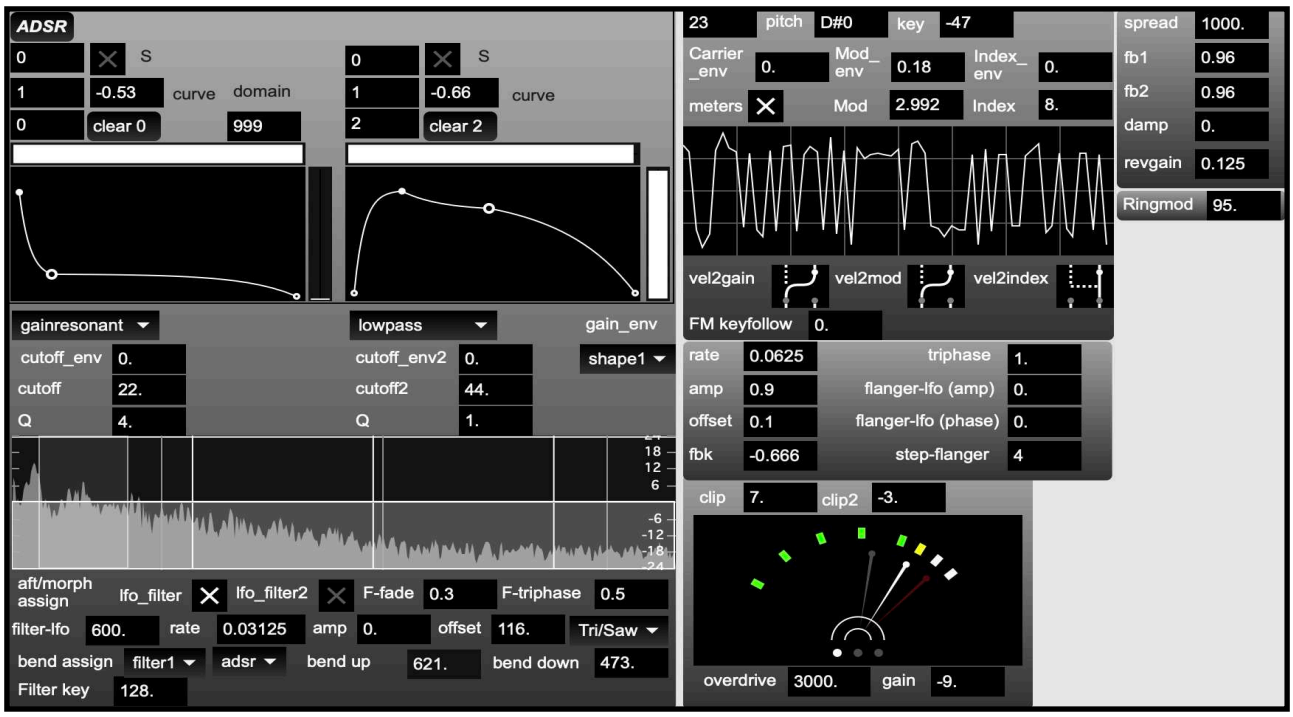


Fig. 8.2.1.4 Interface du *sound design* de la *bassline*

La seconde pédale contrôle un traitement par modulation en anneau sur la *bassline*. Cette troisième configuration privilégie les procédés neuro-perturbateurs de la *bassline*, mais n'est assignée à aucun traitement spatial particulier[120].

La quatrième configuration ressemble en tout point à la troisième mais elle est dédiée au *lead*. La pédale FCB1 est assignée au taux réinjection sur une ligne à retard. Les valeurs du retard sont déterminées par la fréquence fondamentale de la note jouée, et modulées selon deux autres facteurs : le premier déclenche périodiquement des données aléatoires pour le second qui les transforme en valeurs de retard pendant une période indéterminée selon ce facteur aléatoire. De courtes valeurs aléatoires de retard sont réinjectées dans d'autres retards aléatoires plus longs. Ce procédé neuro-perturbateur développe celui qu'utilise Curley dans le *live@*Bieerstadt où un *flanger* est réinjecté dans un *delay*, mais avec un taux de réinjection qui peut atteindre son maximum : la périodicité qui module l'indétermination des valeurs de retard transforme la boucle périodique des notes jouées par le *lead* en une boucle aléatoire. La pédale FCB1 sert à faire émerger une énergie neuro-perturbatrice depuis une énergie dansante.

La cinquième configuration est consacrée aux traitements sur le *kick* (Fig. 8.2.1.5). Pour avoir sous la main droite un maximum de procédés dansants, les octaves sont les mêmes que dans la première configuration. Le potentiomètre contrôle l'amplitude d'une oscillation de basse fréquence venant varier la fréquence du *flanger* qui traite le *kick*. Cette fréquence peut être directement variée depuis

[120] Le code de la Synthèse FM est consultable dans l'annexe A.10.

le *pitch-bend*. Un autre potentiomètre peut contrôler, lui, un traitement hyperspatial propre au *kick*: la phase de l'hyperangle, qui crée des transitions continues entre un *kick hardcore* et un *kick frenchcore*. Les pédales FCB sont assignées, l'une à un modulateur en anneaux, l'autre au filtre passe-haut pour traiter le *kick*. Cette cinquième configuration permet d'accéder de manière équilibrée à des procédés neuro-perturbateurs et dansants propres au *kick*.



Fig. 8.2.1.5 Interface du *sound-design* du *kick*.

La sixième configuration est dédiée au jeu sur les nappes instrumentales ; elle ressemble aux configurations 3 et 4, sans assignation aux traitements spatiaux, mais avec une approche polyphonique du clavier (Fig. 8.2.1.6).

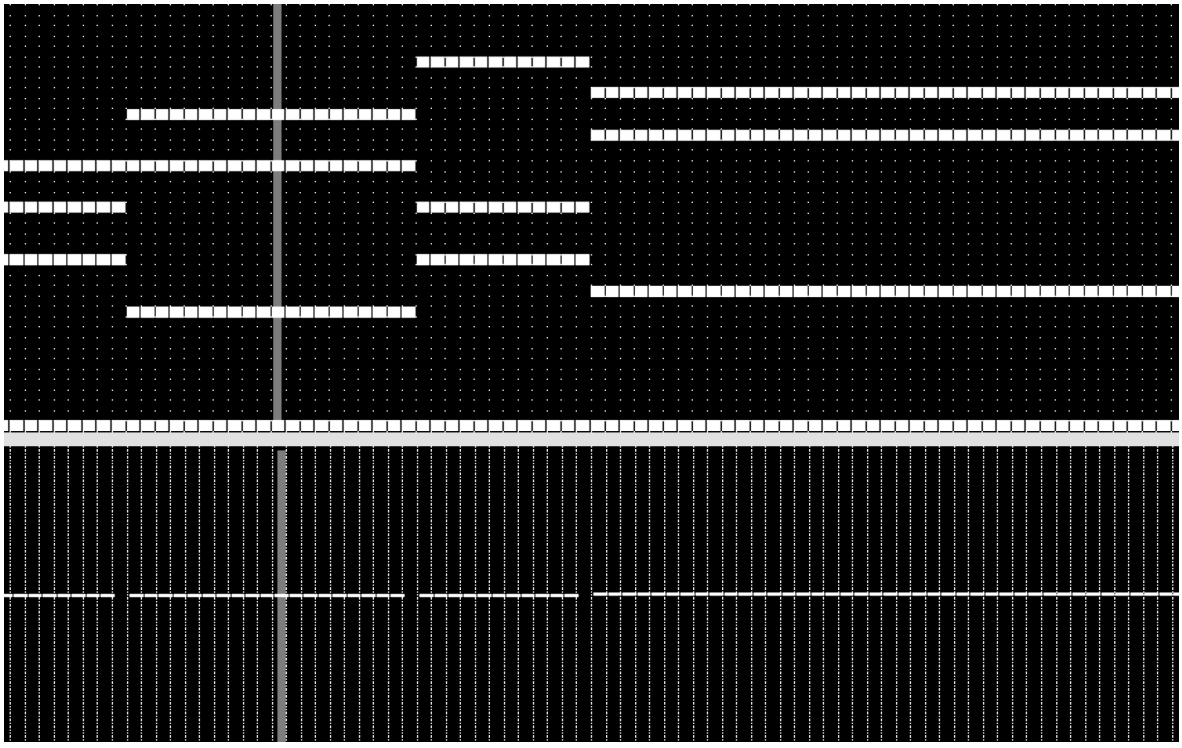


Fig. 8.2.1.6 Les nappes sont synthétisées en quatre instances qui permettent le jeu et l'écriture sur quatre voies de polyphonie.

La septième configuration ressemble en tout point à la troisième, mais les notes du clavier servent ici à choisir les courtes séquences rythmiques jouées par l'arpégiateur sur les notes de la *bassline*.
La huitième configuration ressemble en tout point à la quatrième, mais les notes du clavier servent ici à choisir des rythmes les rythmes de l'arpégiateur qui peut traiter le *lead*.

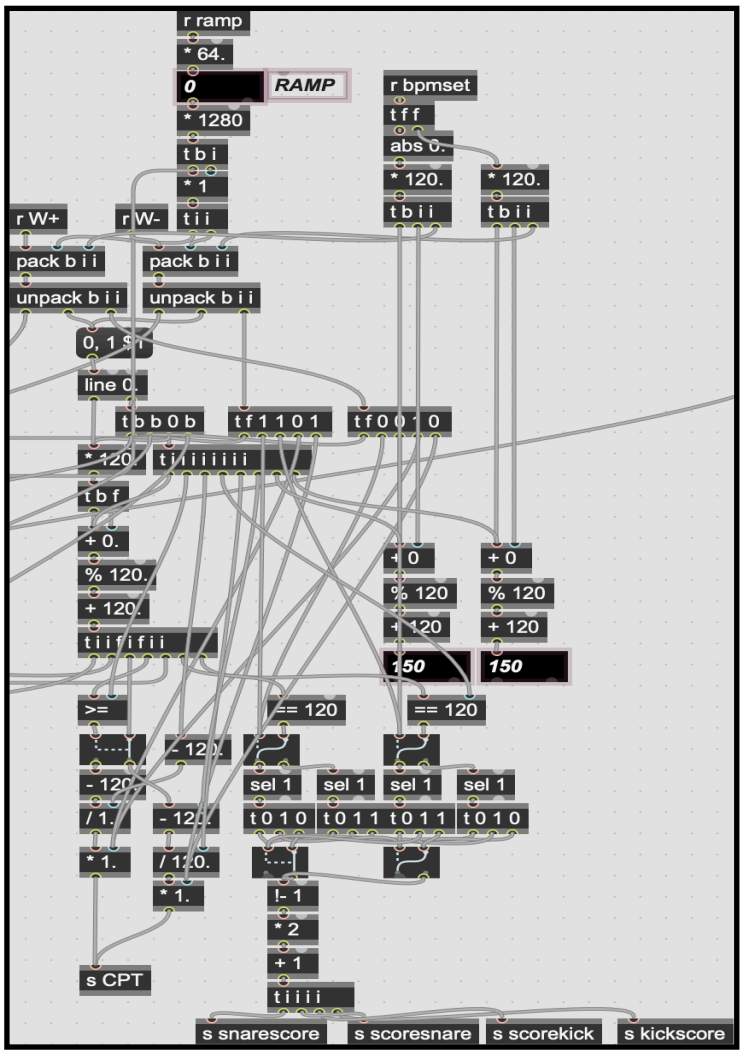


Fig. 8.2.1.7 Contrôles de la vitesse dans la 9e configuration :
le paradoxe rythmique se joue dans une échelle de 120 à 240 bpm.
Le paramètre *bpmset* peut déterminer pour la fin du paradoxe une pulsation différente de celle par laquelle le paradoxe s'amorce.

La neuvième configuration est dédiée à la corrélation du paradoxe rythmique et du paradoxe spatial (Fig. 8.2.1.7). Le potentiomètre définit le prochain *tempo* dans lequel je veux jouer, la première pédale définit la durée de la rampe d'accélération ou de ralentissement du paradoxe rythmique et spatial. La barre de modulation est assignée au « facteur G », qui discrétise plus ou moins la rampe. La première octave du clavier sert toujours à couper ou rétablir les voies des instruments, ou à les faire jouer outre les traitements de ligne à retard dont les valeurs correspondent aux notes de la deuxième octave. Chaque note des octaves supérieures déclenche un rythme différent joué par les cymbales.

La dixième et dernière configuration est orientée vers le contrôle des différents types d'espaces sonores paradoxaux: les touches d'incrémentation servent à choisir le type de boucle spatiale, en « trou de vers » classique, ou en spirale.
Le *pitch-bend* est ici assigné à la vitesse de variation de l'orientation la boucle spatiale sur l'azimut. Quand la valeur du contrôleur est nulle, la boucle spatiale est constamment orientée dans la profondeur. Plus sa valeur est importante, plus la boucle spatiale accomplit rapidement des tours

complets sur l'azimut, dans le sens horaire si la valeur est positive, dans le sens anti-horaire si la valeur est négative[121].
Plus la barre de modulation est enfoncée, plus la boucle spatiale passe par le zénith sans changer son orientation.

8.2.2 Contrôleurs continus non-automatiques

L'acidcore résiste au manque d'information par la transformation continue du son sur la longue durée, et peut recourir à un jeu sur des contrôleurs continus non-automatiques. J'utilise pour cela un autre type de contrôleur dans mon *live*: le Virus TI. Il s'agit d'un synthétiseur muni de 31 potentiomètres assignables sur son tableau de bord. Bien que la qualité de sa synthèse sonore soit le principal critère de son acquisition, il est pour l'instant seulement utilisé en tant que contrôleur.
La keytar ne possède qu'un seul potentiomètre, situé sous le manche. Ce contrôleur est le seul qui conserve la valeur déterminée, les autres contrôleurs continus reviennent automatiquement à leur valeur initiale. La keytar permet de jouer dans la courte durée, le Virus TI permet de jouer dans la longue durée. Le style *acidcore* repose principalement sur l'interaction entre divers traitements continus sur le son. Elle doit permettre de développer un discours sur une durée très longue sans être érodée, ce qui implique de manipuler lentement plusieurs contrôleurs continus à la fois, et de jongler entre eux. La valeur du contrôleur doit demeurer telle que déterminée, afin que je puisse jongler avec la valeur d'autres traitements continus. Avec les contrôleurs automatiques comme la barre de modulation et le *pitch-bend*, les « balles de jonglage » retombent trop vite ; avec les potentiomètres, elles restent en l'air aussi longtemps que je le désire.
La keytar, en tant qu'instrument de la famille des claviers, privilégie la discrétisation dans l'approche du traitement sonore. Cet instrument permet d'intervenir davantage sur les énergies dansantes. L'énergie neuro-perturbatrice *acidcore* peut être produite par différents traitements continus sur tous les instruments virtuels du *live*. Le pédalier FCB 1010 permet de traiter le son de manière continue pendant que je joue sur le clavier, mais jouer debout demande de rester en équilibre pendant toute la durée du traitement continu piloté par le pédalier. Bien qu'il soit possible d'automatiser des oscillations de basse fréquence pour piloter les événements continus, leur pilotage manuel à l'aide de potentiomètres permet d'interagir continuellement avec le son dans la durée.
Diversifier l'approche des traitements en temps réel par une répartition équilibrée de contrôleurs discrets et continus pour piloter le *live* a pour but de l'enrichir en procédés chronotropes : les contrôleurs continus servent à créer des variations sonores lentes et imprévisibles, dont la résistance

[121] Le code par lequel le *pitch-bend* oriente la boucle spatiale sur l'azimut est consultable en A.1.3.

s'oppose à long terme au manque d'information. Le geste de contrôle continu est une interaction avec le son qui requiert une constante concentration pour estimer la fluidité du traitement dans la durée. Plus le geste progresse lentement, plus la perception se concentre sur le détail de la moindre évolution sonore. Cette surveillance prolongée du moment présent est propre à l'*acidcore*. Son activité constante est neuro-perturbatrice par contraste avec l'immédiateté et le caractère prévisible des sons percussifs. Bien que la perception du déplacement continu d'une source ponctuelle soit une illusion, il est possible d'interagir avec elle et de construire un système de valeurs musicales. La répétition en boucle suggère une métrique commune aux continuités du déplacement de la source et à la continuité temporelle de la transformation sonore. L'illusion dans la continuité du déplacement s'entend selon le contexte temporel des boucles rythmiques. L'altération de la perception du temps suggérée par l'*acidcore* et cette surveillance accrue prolongée de l'instant présent comme interaction avec l'illusion invitent à interagir avec les sources sonores par le geste lent et continu à l'aide de potentiomètres. Tout traitement continu sur le son entre en interaction avec la continuité de son traitement spatial. La forme musicale *acidcore* et sa spatialisation reposent sur ce geste musical continu, émergent et interactif, entre l'objet sonore et sa cognition : ce geste musical caractéristique de l'*acidcore* illustre particulièrement le fonctionnement énactif de la perception chez une personne qui danse en *free-party :*

> « L'acte de communiquer ne se traduit pas par un transfert d'information depuis l'expéditeur vers le destinataire, mais plutôt par le modelage mutuel d'un monde commun au moyen d'un action conjuguée[122]. »

Jusqu'où vais pousser ce potentiomètre? Combien de temps vais-je tenir cette note? Depuis son début, mon geste tend vers une fin qui n'est pas seulement déterminée dès le début du geste, mais par le son qui répond à mon geste. L'état d'indétermination de mon geste laisse une marge d'interaction entre ce que j'entends et ce que je joue, ce qui me permet par exemple de surveiller si je dois jouer plus en avant ou en arrière du temps, selon l'attaque de l'instrument, afin de rester en rythme avec la pulsation et maintenir ainsi l'énergie dansante.

Moduler la phase commune aux angles 3D et l'hyperangle depuis un potentiomètre permet de jouer le kick déphasé de sa boucle spatiale. L'attaque du kick peut alors se rapprocher doucement depuis l'avant jusqu'au centre de l'espace puis s'éloigner vers l'arrière à la même vitesse, tout en réapparaissant progressivement vers l'avant, car la même phase contrôle l'hyperangle à 180° et l'azimut à 360° : la valeur maximum du potentiomètre correspond aux mêmes orientations que sa

---

[122] Varela Francisco, *Invitation aux sciences cognitives,* Paris, Seuil, 1989, p. 114-115. Le titre *Flower of Intelligence*, de Zenith, est un bon exemple du rôle morphophorique du geste accompli dans la durée.

valeur minimum. L'espace sonore paradoxal est alors mis en abîme par la continuité du geste en interaction avec le résultat sonore de l'orientation dans l'hyperespace.

Assignation des potentiomètres du Virus TI :

Les contrôleurs généraux : filtre passe-bas, réverbération, temps d'attaque, fin de l'enveloppe.

Les contrôleurs du *kick* : *drive*, filtre passe-bas, filtre passe-haut, *scratch*, hypervecteur.

Les contrôleurs du *lead* : réinjection du retard, oscillateur de basse fréquence, modulateur en anneau, filtre résonnant, traitement granulaire.

Les contrôleurs de la *bassline* : filtre résonnant, modulateur en anneau.

Les contrôleurs de percussions : durée du retard, réinjection du retard, *flanger*, filtre résonnant, réverbération ambisonique.

Configuration du live :

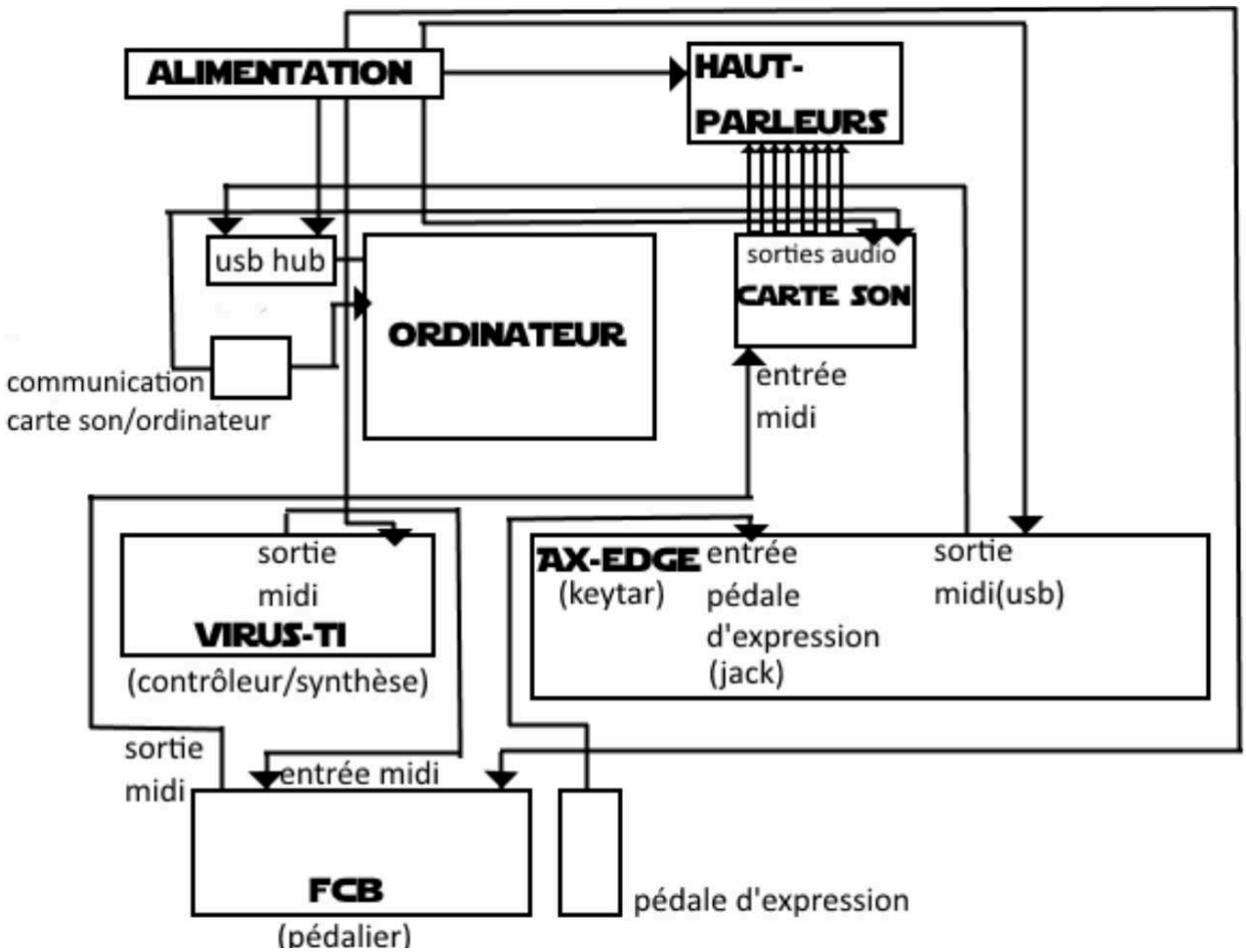


Fig. 8.2.2.1 Connexion des divers éléments du *live* : le Virus TI et le pédalier transmettent l'information midi à l'ordinateur par l'intermédiaire de la carte-son. Les informations midi du Virus Ti sont transmises à la carte-son par l'intermédiaire du pédalier grâce à sa sortie midi *out/thru*, qui permet à la fois d'émettre et de transmettre. La keytar transmet directement l'information midi à l'ordinateur en usb. La pédale d'expression transmet ses variations à la keytar qui les transmet à l'ordinateur. L'ordinateur transforme toutes ces données en signal audionumérique, transmis à la carte-son qui le transforme en signal audiophonique que les haut-parleurs transforment en son.

9 *LIVES* AMBISONIQUES: ANALYSE ET COMMENTAIRES

L'écoute rétrospective de tous les *lives* enregistrés depuis le début de cette recherche permet de retracer les étapes-clés dans la maturation du projet d'espace sonore paradoxal. Leurs fichiers audiophoniques peuvent être téléchargés à cette adresse: https://conspiration.me/nextcloud/apps/files/files/12012?dir=/ si l'on se connecte sous le nom d'utilisateur « Daniel », avec le mot le mot de passe « danielgrosfichieraudio ». Il est nécéssaire de disposer d'un système de diffusion 2D quadriphonique, et parfois octophonique, pour les écouter en profitant de la spatialisation.

Orientation des haut-parleurs (sens anti-horaire):

0° = avant centre
45° = centre gauche
90° = gauche
135° = arrière gauche
180° = arrière centre
225° = arrière droite
270° = droite
315° = avant droite

9.1 « G511 », avril 2019

(Fichier audio : 5G511_4HPX.aif, orientations des haut-parleurs : 45°, 135°, 225°, 315°, sens horaire)

L'enregistrement d'avril 2019, « G511 », est le premier *live* où l'espace sonore paradoxal sonne de manière efficace. Tous les instruments sont traités par une seule et même boucle spatiale lente, d'une durée égale à huit temps.

La lenteur et la continuité de la boucle spatiale interagissent avec les traitements continus sur les synthèses comme la *bassline*, le *lead* , et les *nappes,* et également le jeu de la flûte puisque ce *live* comprend des prises de son. La spatialisation interagit avec l'énergie *acidcore* pendant une durée importante au début du *live* « G511 ».

Parallèlement, le traitement spatial lent est décomposé par la pulsation régulière du *kick*, et fait entendre cette décomposition rapide dans un contexte de lente continuité. Jouer sur ce contraste alimente une énergie *speedcore* très présente dans ces premiers *lives* : plus la lente continuité de la boucle spatiale est discrétisée, plus ce contraste crée une interaction entre la spatialisation et

l'énergie *speedcore*. Dans « G511 », la continuité de la boucle spatiale interagit avec des variations continues sur le *tempo*, dans un contexte où interviennent des paradoxes sur la pulsation. Plus le *tempo* ralentit, plus la pulsation à la noire se décompose en croches : la pulsation donne l'illusion de doubler de *tempo* alors qu'elle ralentit. Ce procédé est clairement inspiré d'une discussion que j'ai pu avoir avec J.-C. Risset après la diffusion de *Nature contre nature* à la MSH. Cette oeuvre utilise particulièrement ce genre de paradoxes sur le rythme. L'idée d'espaces sonores paradoxaux émerge pendant les étapes d'implémentation de paradoxes sur la pulsation en *live*. J'aurais alors souhaité reprendre contact avec J.-C. Risset, mais le compositeur qui nous a tant appris nous a, hélas, quittés au même moment. Je peux heureusement, dans le cadre de cette thèse, communiquer avec une équipe de recherche qui connaît bien ses travaux.

Aucun traitement hypersphérique n'est encore implémenté à ce stade des recherches dans « G511 ». C'est en envisageant l'espace sonore comme géométrie d'une sphère qu'il semble composable par des coordonnées cartésiennes. Le modèle d'hypersphère qui correspond à mon approche de l'hyperespace sonore ne contient alors qu'une dimension supplémentaire, exprimée en coordonnées cartésiennes. Les espaces sonores paradoxaux sont d'abord imaginés à partir du format B. Dans cette première implémentation en ambisonie d'ordre supérieur, il n'est donc pas encore question de les composer à l'intérieur du domaine sphérique. La découverte de la relation entre le champ et la source en ambisonie d'ordre supérieur est encore nouvelle, et ce *live* utilise la première version de la bibliothèque *hoa v1.1*[123]. Aucune optimisation 2D n'est utilisée dans ce *live*.

L'ordinateur sur lequel l'environnement logiciel est programmé est le PC sur lequel je joue depuis 2011. Seule la première version de la bibliothèque *hoa v1.1* fonctionne sur cet ordinateur. Le modèle de keytar est la Roland AX-Synth. Contrairement à l'AX-Edge qui lui succédera, l'Ax-Synth ne possède pas d'*aftertouch* mais un détecteur de mouvement de courte portée, installé sur le manche. Ce geste manuel dans le vide se rapproche du jeu sur un Thérémin miniature.

Les instruments comme le *kick*, la *bassline*, et le *lead*, sont programmés sur le synthétiseur Virus TI. Les autres instruments de percussions sont choisis parmi les banques de sons du vst Battery 4. Les nappes sont choisies parmi les banques de sons du vst Absynth. Les traitements en temps réel sont programmés dans Max msp sur l'interface *gen~*.

Le Virus TI est un synthétiseur *hardware*, alors que Battery 4 et Absynth sont virtuels. Le Virus TI peut toutefois être piloté par sa propre interface vst, où toutes les pages du menu de programmation des sons sont intuitives et facilement accessibles. Le Virus TI peut aussi bien être utilisé pour ses banques de sons que pour synthétiser des sons originaux, comme c'est le cas pour le *kick*, la *bassline* et le *lead*. Le choix du vst Absynth est lié à l'usage du Virus TI. Le *kick* du Virus TI semble

[123] La bibliothèque *hoa* peut téléchargée sur http://hoalibrary.mshparisnord.fr/

se remplir d'artefacts quand une autre voie du Virus TI joue en polyphonie, ce qui est le cas pour les nappes. Le vst Absynth est donc exclusivement utilisé pour jouer des nappes polyphoniques.

Les sons de percussion ont un rôle important dans l'énergie dansante en tekno. La variété des ces sons permet de renouveler cette énergie en établissant de nouveaux points de repères temporels dans l'évolution de la boucle. La variété de ces sons contenus dans les banques du vst Battery 4 permet de choisir des sonorités conventionnelles dans le langage tekno, comme la caisse claire et les cymbales. Le caractère conventionnel de ces sonorités peut justifier un moindre travail dans la synthèse de sons originaux. Le travail de synthèse de ces sons peut se révéler très chronophage dans le seul but de ressembler à ce qui existe déjà : il semble jusqu'ici inutile d'investir du temps de travail pour obtenir un résultat conventionnel.

Ce *live* utilise un échantillonneur programmé à partir de l'objet *groove~* sur Max msp. L'instrumentation de ce *live* est la même que dans le Live5, produit au format B en 2015 dans le cadre du Master 2 ; on y entend d'ailleurs les mêmes thèmes musicaux joués par l'échantillonneur.

Le niveau sonore de l'enregistrement de ce *live* est très bas, et quelques effets de Larsen dans la prise de sons nuisent excessivement à l'écoute quand le volume est fort. Le taux de réinjection sur le *flanger* qui traite les instruments de percussion sonne parfois trop fort : le choix de le contrôler à partir du capteur de mouvement de l'AX-Synth rend le jeu trop imprécis.

L'influence des sonorités bruyantes et des structures imprévisibles du groupe Atari Teenage Riot est très présente dans ce *live*, mais ma qualité de production est trop faible pour procurer une écoute aussi agréable.

La spatialisation subordonne de manière uniforme les instruments. Ce *live* donne une première présentation des espaces sonores paradoxaux, mais ils ne sont pas encore musicalement composés.

L'enregistrement de ce *live* n'est pas complet. Le format multicanal du domaine circulaire enregistré limite la mémoire d'enregistrement, ce qui peut provoquer ce genre d'accident.

Le travail de la spatialisation dans un *patch* hors du *live* prend comme support sonore la synthèse FM de Max msp. L'exercice de spatialisation de formes d'ondes simples laisse peu à peu place à une composition plus musicale sur des synthèses traitées par des enveloppes de modulation de fréquence et de filtres, puis à des sons d'instruments que l'on retrouve communément en tekno. Il est ainsi plus facile d'étudier l'interaction de l'instrumentation avec la spatialisation qu'en pilotant des instruments externes. La synthèse instrumentale opérée par ces deux enveloppes reprend la configuration que j'utilisais pour synthétiser des instruments avec le Virus TI, mais sans les contraintes de la mesure du temps dans l'enveloppe. La levée de cette entrave permet d'étudier en détail l'interaction entre les transitoires d'attaque du *kick* et sa spatialisation.

Après ce *live*, la résolution est prise de n'utiliser que la synthèse FM du *patch* Max msp, de synthétiser tous les instruments, et de composer musicalement les espaces sonores paradoxaux.

9.2 « Live@MSH », 19 septembre 2020

(Fichier audio : Live@MSH_8HP.aif, orientations des haut-parleurs : 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°, sens anti-horaire)

Le Live@MSH a été joué en octophonie dans les jardins de la Maison des Sciences de l'Homme-Paris-Nord, lors les Journées Européennes du Patrimoine, le 19 septembre 2020. Ce *live* est la première prestation publique au cours de laquelle les harmoniques hypersphériques sont utilisés pour composer l'espace sonore. Ce *live* est incomplet, car l'enregistrement au format sphérique impose une limite de mémoire qui requiert un système de relais entre deux enregistreurs : ce système de relais sera implémenté dans les lives ultérieurs, mais ne fonctionne que sur les derniers enregistrements. Les amplitudes de cet enregistrement sont écrêtées. L'enregistreur multicanal écrête toute amplitude au-delà de -1 et 1. Le domaine circulaire peut pourtant être décodé sans effets de crêtes même s'il contient des amplitudes qui excèdent l'échelle de -1 à 1. Le domaine circulaire peut être saturé lors de son enregistrement sans que cela s'entende en *live* grâce à l'opération de décodage. Les niveaux d'amplitudes du domaine sphérique doivent donc être vérifiés lors du mixage pour éviter la saturation lors de l'enregistrement, mais le problème n'est pas encore identifié dans les premiers *lives*.

Le traitement hypersphérique est réalisé à partir de l'objet *process~*, issu de la bibliothèque *hoa v2.2*[124]. Cet objet traite la même opération dans plusieurs instances qui correspondent chacune à un rang ambisonique. Le traitement hypersphérique est programmé dans cet objet d'après l'architecture du traitement sphérique, dans le cadre de la découverte du fonctionnement de l'ambisonie d'ordre supérieur. Ce *live* marque une première étape dans l'implémentation du modèle des harmoniques hypersphériques en ambisonie d'ordre supérieur.

Dans ce *live*, les harmoniques hypersphériques 4D sont expérimentés en tant que modèle mathématique sans que j'attribue encore d'importance au contexte des hyper-noyaux. Faire abstraction du problème des systèmes à 3 corps limite la compréhension du mécanisme de l'hyperangle dans les vecteurs de Jacobi. L'utilisation de ce modèle est expérimentale, car les espaces sonores paradoxaux peuvent tout à fait se composer sans traitement 4D ou 6D. Cette expérimentation me permet de comparer pour la première fois le traitement sphérique et le traitement hypersphérique, mais l'intérêt du traitement hypersphérique dans le résultat sonore ne ressort pas encore à ce stade de la recherche. Dans les traitements sphériques et hypersphériques, les normalisations 2D, 3D, 4D et 6D déterminent des constantes angulaires pour chaque rang ambisonique. Les polynômes traitent, quant à eux, des variables angulaires. En 3D le polynôme de

[124] Mon ancien PC rencontrait trop de problèmes de compatibilité avec cette bibliothèque : ce *live* est ma première prestation publique avec mon nouvel ordinateur Mac.

Legendre traite chaque ordre ambisonique selon l'angle d'élévation. En 4D et en 6D, les polynômes de Jacobi ou Gegenbauer traitent l'hyperangle. Je réalise la première implémentation des harmoniques hypersphériques en remplaçant les opérations 3D par les opérations 4D. Deux opérations supplémentaires apparaissent toutefois en 4D et 6D : l'hyperangle, et la désignation des harmoniques sphériques locaux par la valeur λ. Le *live* pour les Journées Européennes du Patrimoines est joué avec un hyperangle constamment orienté à 90°, pour que les sources puissent être entendues au même volume sonore depuis deux espaces diamétralement opposés sur l'azimut. Le fondu enchaîné se joue avant la spatialisation, donc de manière linéaire et uniforme sur tous les canaux : il ne se joue pas encore comme variation entre la source et le champ, mais comme variation du rayon de la source. L'orientation constante de l'hyperangle maintient cette symétrie de charge entre les sources de phases opposées. Cette symétrie est pourtant transgressée par le fondu enchaîné et reportée dans le temps vers une conjugaison CT, mais cette notation du fondu enchaîné implique une variation de l'hyperangle et n'existe pas encore à ce stade des recherches. De même, la notation de la conjugaison PT n'existe pas encore, alors que les transitoires d'attaque du *kick* proviennent par défaut de l'avant du *dance-floor*. Cette provenance est composée par déphasage entre l'hyperangle et l'hypervecteur, en interaction avec l'enveloppe du *kick*. Des variations sur la provenance du *kick* sont expérimentées sur de longues durées pendant ce *live*.

Le *live* est donc seulement joué avec un traitement hypersphérique qui réduit constamment au silence les degrés pairs. La constante hyperangulaire à 90° devrait inhiber également le canal omnidirectionnel. Cette orientation est rendue inopérante dans ce canal pour que le fondu enchaîné module son amplitude, en phase avec l'une des deux sources en opposition de phase. Le fondu enchaîné entre les sources s'opère donc dans le contexte d'un champ diffus maintenu par l'orientation hyperangulaire durant tout le *live*. L'optimisation 2D *inPhase* est utilisée car elle valorise le premier degré ambisonique en éloignant le champ diffus dans les degrés supérieurs.

Seules les boucles spatiales lentes sont clairement discernables pendant ce *live*. Le *design* sonore des instruments virtuels est réalisé dans ce contexte de champ diffus, sans harmoniques pairs et surtout sans espace central, ce qui dégrade considérablement la perception de l'espace sonore comme source ponctuelle. C'est le *kick* qui est le plus impacté par cet état de l'espace sonore, puisque le confort d'écoute de cet instrument accorde beaucoup de valeur à sa place au centre de l'espace sonore. Sur le *dance-floor*, le *sweet-spot* permet pourtant d'entendre le *kick* au centre, mais c'est faute de pouvoir discerner son traitement dans une boucle spatiale rapide. Le paradoxe sur l'espace sonore n'est audible que si la spatialisation du son est audible comme source directionnelle.

Les conditions spatiales dégradées par le traitement créent non seulement un obstacle au *design* sonore, mais n'invitent pas au travail de mixage ; l'ensemble instrumental sonne de manière

déséquilibrée, stridente, particulièrement floue dans l'attaque du *kick*, et saturée : l'amplitude est très souvent écrêtée. Les sons qui sont traités dans des boucles spatiales lentes sont plus intelligibles, le caractère lent et continu de leur énergie *acidcore* s'accorde avec le déplacement de la source ponctuelle. L'espace sonore paradoxal est agoniste de l'énergie *acidcore*. Cependant, la différence excessive d'amplitude pendant le fondu enchaîné nuit au confort d'écoute. Cette différence peut être moins dérangeante, voire expressive, sur le *lead* qui joue un rôle plus neuro-perturbateur que les autres instruments. Or dans ce *live*, les instruments qui jouent le *lead* sont souvent traités par un arpège rythmique en boucle, et jouent alors un rôle stimulant dans l'énergie dansante. Mais cette énergie dansante est dégradée par la dynamique du fondu enchaîné. Elle se dégrade donc aussi dans les instruments comme la *bassline* et les cymbales. L'attaque du *kick* est également estompée puisqu'elle est jouée pendant le fondu enchaîné pendant un creux dans la dynamique.

Le caractère opérationnel de l'espace sonore paradoxal peut constituer alors une nuisance pour le confort d'écoute, mais illustre d'autant mieux le paradoxe dans cette composition de l'espace sonore : l'espace sonore paradoxal est un paradoxe sur la distance de la source sonore, donc sur son amplitude. Le confort d'écoute exige une constance dans la dynamique instrumentale. Il est possible de courber le fondu enchaîné pour contrôler à quels seuils d'amplitude l'opposition de phase se produit dans chaque canal, mais le traitement reste uniforme pour tous les rangs ambisoniques : la composition de la distance dans l'espace sonore est confrontée à la perception de cette distance, qui est une illusion sonore.

Il est paradoxal et pourtant indispensable de composer cette illusion sonore tout en subissant son effet. Imaginer la distance d'une source sonore en oubliant que ce traitement spatial n'est qu'une illusion constitue un obstacle. Il semble méthodique de surenchérir sur l'illusion et ce qu'il est possible d'imaginer à l'écoute d'une source sonore pendant un *live*. Chaque source qui s'approche et s'éloigne donne l'illusion qu'elle sonnait déjà avant d'être audible et qu'elle sonnera encore quand elle ne sera plus audible. Prendre en compte l'illusion de distance, c'est accompagner la source en dehors du *dance-floor*, accorder au son une vie qui se manifeste par son comportement autonome dans l'espace et le temps. La source et le *sweet-spot* se rencontrent et se séparent en suivant chacun leur chemin. Composer le paradoxe sur la distance, c'est renverser l'illusion d'entendre une source se rapprocher et s'éloigner du *sweet-spot*, et imaginer le *sweet-spot* se rapprocher et s'éloigner de la source, afin de se concentrer sur leur interaction. L'interaction entre le *sweet-spot* et les deux sources en opposition de phase peut alors s'envisager dans un hyperespace sonore en prenant pour modèle un système quantique à 3 corps.

Ce *live* n'est pas joué dans une *free-party* traditionnelle mais dans le cadre des Journées européennes du patrimoine. Le contexte de cette prestation est particulier : ce concert a en effet eu

lieu pendant l'année de pandémie et de confinement où la vie culturelle, n'étant pas considérée comme indispensable à l'économie, était raréfiée. Le public n'était pas majoritairement issu de *free-party* mais de classes populaires locales pour qui l'accès gratuit à la culture est toujours restreint, avec ou sans pandémie. Ce cadre d'exception met en valeur l'expérience de spatialisation sur une musique populaire comme la tekno, en créant un événement nouveau pour le public, qu'il soit issu de la *free-party* ou non.

Ce *live* inaugure des pulsations plus lentes. Ce choix dans le *tempo* est lié au travail de spatialisation sur le *kick* dont on commence à entendre certains détails quand la boucle spatiale le suit à bas *tempo*. Ce *tempo* alimente une énergie *hardfloor* fortement influencée par les *mix* de Manu le Malin[125] : le *tempo* lent permet de travailler en détail la texture du *kick*. Les nombreuses variations du timbre du *kick* déterminent une carrure et des *breaks* dans la succession des pulsations. Le *live* suit relativement la structure carrée et l'énergie dansante du *hardfloor*. Le *tempo* accélère à la fin de l'enregistrement et accélère encore au-delà. Pris dans son entièreté, le *live* commence à 150 bpm et s'achève à 220 bpm.

Ce *live* est joué avec un nouvel ordinateur Apple M1 où fonctionnent les nouvelles versions de la bibliothèque *hoa*. Le modèle de keytar utilisé est la Roland AX-Edge, dotée d'un *aftertouch*.

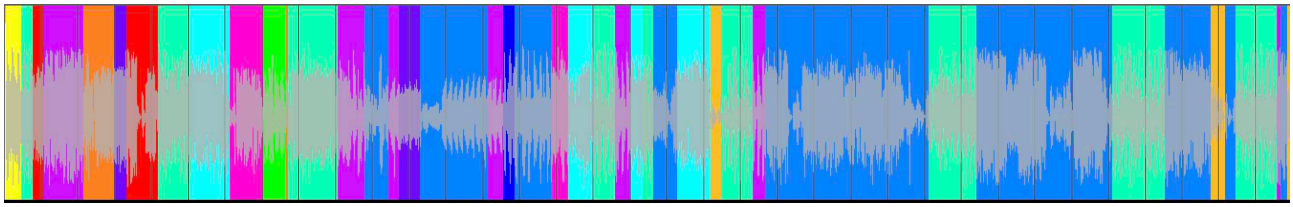


Fig. 9.2.1 Durées de résistance à l'entropie des énergies musicales du *live*@MSH.



1, DRUM_N_BASS, 0mn, 0s, 0ms;

Le *kick* joue sur un rythme *drum'n bass* dans une boucle spatiale très lente, d'une durée égale à deux phrases de huit pulsations. La boucle spatiale qui joue la caisse claire est courte, d'une durée égale à deux pulsations. Les transitoires d'attaque de la caisse claire proviennent de l'avant du *dance-floor* sur chaque temps faible. L'instrument est traité par une ligne à retard qui le répète pendant que la boucle spatiale passe par le centre du *dance-floor* pour s'éloigner vers l'arrière.

La lenteur de la boucle spatiale du *kick* est longue à mémoriser, et instaure une énergie de dépression. La durée plus courte de la boucle spatiale dans laquelle joue la caisse claire véhicule

[125] Parmi les nombreux exemples existants, l'enregistrement filmé de son *mix Biomechanik III - The Final Chapter* donne l'occasion de voir l'artiste en prestation dans le musée H.R.Giger, à Gruyères, en Suisse.

une énergie stimulante qui se superpose à la lente boucle spatiale du *kick* et décompose sa mémorisation en huit étapes. Cette opposition entre la durée des boucles spatiales maintient l'énergie dansante à un niveau *drum'n bass*.
Les cymbales sont traitées par la même ligne à retard que la caisse claire, mais dans une boucle spatiale lente. Ce traitement discrétise la boucle spatiale. L'énergie dansante est stimulée par les discrétisations du temps opérées depuis la ligne à retard dans des boucles spatiales de durée différente.
Sur trois boucles spatiales, deux sont lentes, la troisième est courte. Dans deux de ces trois boucles, le temps est discrétisé par la ligne à retard. Le temps pendant lequel joue le *kick* est peu discrétisé car l'instrument n'est pas traité par la ligne à retard et sa boucle spatiale est lente. Ces différences de traitement du *kick* dispersent les fréquences basses dans le temps mais les regroupent dans l'espace avec la *bassline*, qui joue sur tous les contretemps dans la même boucle spatiale que les cymbales.

2, BREAKCORE, 18s 789ms;
La sonorité du *kick* devient *hardcore* et la fin son enveloppe interagit avec la spatialisation. Dans cette boucle *drum'n bass*, la rareté de l'intervention des *kicks* laisse entendre la continuité de la fin de l'enveloppe pendant une longue durée. Cette continuité interagit avec celle de la source sonore dans la boucle spatiale. La transformation de la sonorité du *kick* intervient au milieu de la boucle spatiale. La supériorité de la durée de la boucle spatiale sur celle de la phrase subordonne le traitement du temps au traitement spatial. La transformation de la sonorité du *kick* aurait mieux été mise en valeur si elle était intervenue au début de la boucle spatiale. L'expérience en *live* permet peu à peu de faire des choix plus judicieux dans les changements de durée des boucles spatiales, afin que les sons se transforment au moment où la bouche spatiale les met le plus en valeur.
Le retard qui traite la caisse claire et les cymbales est écourté et ne discrétise plus les boucles spatiales. Les traitements granulaires joués depuis le clavier interviennent de manière peu prévisible et véhiculent l'énergie neuro-perturbatrice *breakcore*. Les textures sonores se transforment avec une relative continuité de variation dans la taille du grain. Cette continuité interagit avec celle de la source dans la boucle spatiale. La taille du grain change selon la valeur que je joue depuis l'*aftertouch* de la keytar. Le caractère continu de ce type de contrôleur interagit donc en temps réel avec la spatialisation. La lenteur de la boucle spatiale interagit avec l'énergie *breakcore* répandue par les traitements granulaires.

3, ACID, 31s 690ms;

Le *lead* est exposé en l'absence du *kick*. La lenteur de la boucle spatiale du *lead* est discrétisée par l'arpégiateur du *lead*. L'exposition du *lead* installe une échelle de hauteur dans les fréquences fondamentales jouées par l'instrument, accordé à la *bassline*. L'écriture de hauteurs entre en contraste avec le jeu rythmique des percussions, dont le spectre ne laisse pas entendre de hauteurs tempérées. La discrétisation du temps opérée par l'arpégiateur prend le relais des instruments de percussions. Leur énergie stimulante est reportée dans le *lead*. Le caractère périodique et prévisible de l'arpégiateur véhicule une énergie neuroleptique *acid*. La répétition en boucle du contretemps par la *bassline* interagit avec la discrétisation du temps joué en arpèges rythmiques, et maintient le caractère dansant de la précédente énergie *breakcore* dans l'énergie *acid*.

4, HARDCORE, 44s 789ms;

Le *kick* entre maintenant en pulsation régulière pour stimuler l'énergie dansante du stade *acid* vers le stade *hardcore*. Cette stimulation dansante est alimentée par l'interaction de l'enveloppe du *kick* avec la durée de la boucle spatiale, égale à la pulsation. Dans la boucle spatiale, les transitoires d'attaque du *kick* proviennent de l'avant, la fin de l'enveloppe se rapproche par le centre et s'éloigne vers l'arrière. Cette répartition des étapes de l'enveloppe dans la boucle spatiale exploite un déphasage entre la position des sources et le fondu enchaîné.

5, TEKNO, 1mn 30s 490ms;

La stimulation dansante s'apaise avec la transformation du *kick hardcore* en *kick* tekno, toujours sur une pulsation régulière. La disparition des fortes amplitudes du *kick* pendant la fin de son enveloppe diminue son interaction avec la boucle spatiale rapide, au profit des boucles spatiales lentes, en suivant l'énergie neuroleptique tekno.

La stimulation dansante de la précédente énergie *hardcore* se disperse ainsi jusqu'à l'exposition d'un thème d'accords joué en solo par le synthétiseur polyphonique dédié aux nappes instrumentales. Les nappes sont jouées dans la même boucle spatiale que les cymbales. Par leur caractère lent et continu, les nappes véhiculent une énergie dépressive et neuroleptique *ambient* qui entre en interaction avec le caractère long et continu de la boucle spatiale. Les nappes ne jouent en solo que pour donner une courte respiration *ambient* avant de ré-exposer un *kick* enrichi d'un peu de fin d'enveloppe, puis la caisse claire. Ces percussions contrebalancent cette énergie *ambient* en maintenant une stimulation dansante par un jeu rapide régulier dans des boucles spatiales brèves.

6, HARDTEK, 2mn 7s 87ms;

La longue durée de la boucle spatiale des nappes est discrétisée par le jeu en doubles croches des cymbales, qui modèrent l'énergie neuroleptique des nappes et renforcent l'énergie stimulante par interaction avec la brève boucle spatiale du *kick*. Cette concentration sur la psychotropie stimulante est à la fois valorisée par son contraste avec la psychotropie neuroleptique et renforcée par l'interaction entre le caractère symétrique du temps, décomposé de manière binaire, et le caractère symétrique dans la taille des boucles. Les cymbales en doubles croches discrétisent quatre fois plus le temps que le *kick* joué à la noire, mais la durée de la boucle spatiale du *kick* décompose huit fois plus le temps que celle des cymbales. L'ensemble de ces stimulations dansantes constitue un court passage par l'énergie *hardtek*.

7, ACID, 2mn 20s 90ms;

Les nappes sont coupées pour laisser place à la ré-exposition du *lead* et de la *bassline*. La nappe précédemment exposée dans un contexte dansant est ré-exposée sans percussions, avec les seuls instruments jouant selon un système de hauteurs tempérées dans les fondamentales. Leur spectre se prête au traitement par filtres résonnants dont l'intervention reste pour l'instant légère ; le peu de variations de fréquence laisse presque toujours entendre les mêmes harmoniques sur les mêmes fondamentales. La nappe est donc ré-exposée dans un contexte neuro-perturbateur *acid* un peu moins stimulant et légèrement plus neuro-perturbateur.

8, BREAKCORE, 2mn 57s 989ms;

Les instruments de percussion entrent à nouveau en jouant un rythme *drum'n bass*. À ce moment où tous les instruments jouent, une transition discrète de séquence intervient sur les partitions et les instruments. Cette transition est déclenchée en temps réel et n'arrive pas au moment opportun. Les précédentes énergies musicales, par leur durée peu étendue, enchaînent plusieurs altérations périodiques de la perception. Or le moment où intervient ce changement de séquence semble instaurer une autre périodicité alors que les procédés dansants sont familiers entre les deux séquences. L'énergie *breakcore* subit une anomalie, une manoeuvre étrangère au discours musical. Afin de la recadrer dans la cohérence du langage musical, les interventions en temps réel s'accumulent pour interagir avec l'énergie neuro-perturbatrice *breakcore*, tous les modes de *breaks* sont joués et le *lead* est traité avec davantage de réinjection négative dans la ligne à retard. Cette anomalie est porteuse de forme.

9, TRANCE, 3mn 34s 592ms;

Le *kick* redevient régulier et sa boucle spatiale brève. La caisse claire continue à jouer en *drum'n bass* dans une boucle spatiale de deux temps. La discrétisation des deux temps de la boucle spatiale n'est pas assez stimulante, car les transitoires d'attaque de la caisse claire sont trop faibles et noyées dans la réverbération. Elle rejoue ensuite en se limitant aux temps faibles. Ses transitoires d'attaque interviennent au début de la boucle spatiale, à l'avant du *dance-floor* : elles sont plus audibles quand elles sont concentrées dans un espace ponctuel. La cymbale entre en doubles croches ; ses transitoires d'attaque sont plus courtes que celles de la caisse claire et se prêtent mieux au jeu rapide. Elles sont valorisées par la lenteur de la boucle spatiale, qui permet de jouer chaque double croche en les concentrant dans un espace ponctuel. L'interaction de la régularité des événements sonores et des boucles spatiales alimente une énergie stimulante en contraste avec la précédente énergie *breakcore* qui contenait l'anomalie. Le *lead* traité par une ligne à retard depuis cette précédente énergie laisse entendre une lente variation des fréquences du filtre résonnant. L'interaction entre la continuité de ces variations et celle du déplacement de la source est neuro-perturbatrice. Sa superposition avec l'énergie stimulante jouée dans les boucles spatiales brèves véhicule une énergie *trance*.

10, GABBER, 4mn 19s 589ms;

Le *lead* est joué sans traitements majeurs sur le filtre ou la ligne à retard. L'absence de modulation dans sa répétition en boucle véhicule une énergie neuroleptique en interaction avec l'énergie dépressive véhiculée par la lenteur de la boucle spatiale. Cette énergie est contrebalancée la régularité du *kick hardcore*, dont la fin de l'enveloppe épouse la continuité de sa brève boucle spatiale. Ce caractère à la fois stimulant et neuroleptique détermine l'énergie *gabber*.

11, TRIP_HOP, 4mn 59s 550ms;

Le style *trip-hop* pose une énergie dépressive et assez neuro-perturbatrice. Elle entre en contraste avec la précédente énergie *gabber*, non seulement par davantage de réinjection dans le *lead*, mais surtout sur le *flanger* qui traite la caisse claire et les cymbales, étant lui-même traité par des retards plus longs et de réinjection positive, afin de conserver plus de transitoires d'attaques dans le son retardé. La caisse claire joue sur le cinquième temps des phrases de huit pulsations. Sa ponctuation est rare mais de période égale à sa boucle spatiale et celle des cymbales. La lenteur de la continuité de la source traite la longue réverbération de la caisse claire colorée par le *flanger*. Cet effet neuro-perturbateur obtenu en traitant un *flanger* dans une ligne à retard manuel à partir d'instruments porteurs d'énergies dansantes est un procédé qui singularise souvent les *lives* de Spiral Tribe. Dans *Paint in your face*, 69db ajoute parfois une réverbération stéréophonique à ce genre de traitement.

L'apport de ce traitement spatial comme procédé neuro-perturbateur ouvre des perspectives dans la composition du *live* en ambisonie.

12, TEKNO, 5mn 25s 150ms;
Une courte transition où tous les instruments sont traités par une ligne à retard à la noire rappelle une boucle tekno, mais le caractère prévisible de cette boucle est utilisé en contraste avec le caractère imprévisible de l'énergie suivante. La stimulation dansante de la régularité du *kick* est modérée par la lenteur de la boucle spatiale.

13, BREAKCORE, 5mn 28s 649ms;
Les boucles spatiales lentes jouent les boucles rythmiques non-pulsées des instruments de percussion et l'arpège du *lead* dont la ligne à retard est abondamment réinjectée. La lenteur des boucles spatiales met en valeur la richesse des variations imprévisibles du *breakcore* en concentrant la singularité de chaque matériau dans un espace ponctuel. La superposition d'espaces ponctuels jouant chacun un son singulier favorise l'interaction de l'énergie *breakcore* avec la spatialisation.

14, HARDCORE, 6mn 25s 150ms;
En pleine énergie *breakcore*, les instruments sont traités de manière uniforme par un grain d'une durée égale à la croche. Le traitement granulaire est contrôlé par une pédale d'expression qui joue un fondu enchaîné entre le son traité et le son non traité. Son enveloppe hache périodiquement le discours musical en détériorant les transitoires d'attaque. La brutalité de ce traitement est portée dans la forme pour surenchérir sur cette erreur dans le choix du traitement. La taille du grain correspond à la durée du retard qui traite uniformément tous les instruments. L'interaction des deux traitements permet d'improviser des boucles aux sonorités bruyantes. Une boucle constituée par interaction de ces traitements intervient alors, se répétant à la noire. Son caractère bruyant et répétitif sonne comme une réponse vengeresse au manque de musicalité du précédent traitement granulaire qui hache l'énergie *breakcore*. La boucle est modulée dans la continuité de retards interpolés en jouant sur l'*aftertouch*. Elle est maintenue, pendant que le *kick hardcore* régulier est exposé en passant outre l'effet. Le *kick* sonne de manière trop faible par rapport aux fortes amplitudes créées par la modulation des retards de la boucle bruyante. La durée de la boucle spatiale du *kick* est déterminée par la durée du retard, sans forcément être égale. Le *kick* joué en passant outre la ligne à retard ne passe pas outre la spatialisation qu'elle détermine ; or il devrait rétablir une boucle spatiale brève. Être confronté en *live* à ce genre de situations permet de décider des corrections apportées à la maquette logicielle.

15, ACIDCORE, 6mn 57s 347ms;

Le *kick hardcore* est traité par une variation de fréquence du filtre passe-haut alors qu'il joue à la croche comme en *speedcore*. La coupure des fréquences basses du *kick* le supprime en tant que point de repère spatio-temporel. La continuité des variations sur la fréquence du filtre transporte une énergie neuro-perturbatrice, qui contrebalance l'énergie stimulante *speedcore* de la vitesse du *kick*. Le fondu enchaîné détermine où la boucle spatiale commence et finit sur l'azimut. L'orientation azimutale du fondu enchaîné est modulée de manière continue au *pitch-bend* pendant que la pédale d'expression module la fréquence du filtre passe-haut. Cette interaction entre le filtre et la spatialisation contribue à ce que le *kick* échappe à son point de repère établi à l'avant-centre du *dance-floor*.

16, HARDCORE, 7mn 24s 350ms;

Tous les instruments sont traités par la même ligne à retard égal à une double croche et progressivement filtrés vers les basses fréquences. Le *kick* outrepasse ce traitement, mais il est filtré en passe-bas à la même fréquence que les instruments traités par la ligne à retard. Le *kick* est mis en valeur dans l'orchestration en outrepassant la ligne à retard qui fond les autres instruments en une seule sonorité de nappe assez riche en partiels et peu évolutive. Le caractère stable de cette nappe transmet une énergie légèrement neuroleptique, mais aussi une stimulation, entraînée par la répétition du retard à la double croche. Ces deux énergies interagissent avec une boucle spatiale lente. L'énergie stimulante du *kick hardcore* régulier interagit avec la continuité neuro-perturbatrice du changement de sa provenance sur l'azimut. Les énergies neuroleptiques et neuro-perturbatrices sont antagonistes. La lenteur de la boucle spatiale du *kick* est également antagoniste du sentiment dansant stimulé par ses pulsations régulières. Par le maintient de cet antagonisme, l'interaction avec la spatialisation devient agoniste de l'énergie stimulante *hardcore*.

Toutes les fréquences basses du *kick* sont rétablies avec l'intervention du filtre passe-bas, mais l'orientation de la boucle spatiale continue de varier sur l'azimut. Cette variation continue sur l'azimut du *kick* véhicule une énergie neuro-perturbatrice. Durant la précédente énergie *acidcore*, la variation sur la provenance du *kick* intervient dans un contexte où l'absence de basses semble l'éloigner du *dance-floor*. Son interaction avec le filtre passe-haut estompe son caractère neuro-perturbateur, mais le nouveau contexte spatial est déjà installé quand le filtre passe-haut cesse d'éloigner le *kick*. La précédente énergie *acidcore* constitue donc un contexte d'émergence pour ce nouveau traitement spatial. L'intervention du filtre passe-bas tend à rétablir dans l'espace sonore le caractère central des fréquences basses du *kick*. Les singularités spatiales de la nouvelle orientation du *kick* émergent avec la hausse des fréquences filtrées.

17, HARDTEK, 7mn 37s 246ms;

La ligne à retard et le filtre cessent de traiter les instruments. Le *lead* joue une mélodie syncopée, aux valeurs courtes, sans plus de variation. Son rythme amène une énergie stimulante en interaction avec celle de la régularité du *kick*. La boucle spatiale du *kick* est à nouveau de la durée d'une pulsation, mais elle joue depuis sa nouvelle provenance. Les transitoires d'attaque interviennent sur la gauche, et la fin de l'enveloppe est jouée durant le déplacement des sources vers la droite. Les boucles spatiales de tous les instruments suivent désormais cette provenance, mise en valeur par la brillance des composantes spatiales jusqu'à présent filtrées. Leur caractère périodique interagit avec le jeu dansant des boucles instrumentales dans une énergie *hardtek*.

18, ACIDCORE, 8mn 1s 849ms;

Une nouvelle séquence expose le *lead* en solo. La continuité des variations de la fréquence de son filtre résonnant interagit avec la continuité de sa boucle spatiale lente dans une énergie neuro-perturbatrice, bientôt accompagnée par la stimulation du *kick hardcore* régulier. La boucle du *kick* est lente ; la continuité de son déplacement interagit avec la continuité des variations de retard sur le *flanger*, qui fait du *kick hardcore* un *kick* spiralien.

19, HARDCORE, 9mn 20s 95ms;

La ligne à retard traite tous les instruments. Le *kick* outrepasse le traitement. Sa mise en valeur par l'uniformisation des sonorités des autres instruments concentre la perception sur la seule stimulation dansante.

20, SPEEDCORE, 9mn, 37s, 695ms;

Le *kick* joue à la croche, comme si la pulsation doublait de *tempo*. Le jeu en croches est assez durablement maintenu pour qu'émerge une énergie stimulante *speedcore,* par interaction avec la lenteur de la boucle spatiale décomposée en croches. Le *kick* est filtré en passe-bas. Les seules fréquences graves ne laissent entendre que les composantes spatiales les plus centrales sur le *dance-floor*. Pendant ce traitement en filtre passe-bas, la provenance des boucles spatiales est réorientée vers l'avant du *dance-floor*, sans que le filtre ne laisse immédiatement entendre la nouvelle provenance des composantes spatiales. La réinjection de la ligne à retard redevient nulle quand la fréquence du filtre est au plus bas. La hausse continue de la fréquence valorise la stimulation dansante du *kick speedcore*: toutes les composantes spatiales redeviennent peu à peu audibles à la fin d'une phrase de huit pour mettre en valeur le retour à la noire de la pulsation et l'énergie neuro-perturbatrice du *lead*.

21, ACIDCORE, 9mn 50s 996ms;

Le *kick* joue à la noire dans une boucle lente de huit temps, provenant de l'avant et traversant le *dance-floor*, décomposée en huit étapes. L'absence de filtre passe-bas met en valeur les variations du filtre résonnant sur le *lead* dans une énergie *acidcore* en interaction avec la continuité du déplacement des sources.

22, GABBER, 10mn 33s 695ms;

Un nouveau *lead* est exposé par changement de séquence. Ce changement de séquence fait retrouver à la boucle spatiale du *kick* sa durée d'origine, égale à une noire. L'altération de la durée de cette boucle se déclenche depuis la ligne à retard et devrait revenir à son état initial quand le *kick* outrepasse ce traitement, mais seul le changement de séquence est implémenté avec cette propriété.

Le nouveau *lead* joue une mélodie avec une forme d'onde simple, sans plus de variation. Ce jeu installe une énergie neuroleptique qui apaise la précédente énergie *acidcore*. La stimulation produite par la synchronisation entre la pulsation du *kick* et la durée de sa boucle spatiale interagit avec l'apaisement du *lead* dans une énergie *gabber*.

23, TRANCE, 10mn 52s 895ms;

Les retards du *lead* sont réinjectés à des taux plus importants. Ce retard n'est pas synchronisé à la pulsation, et apporte par son autre temporalité une énergie davantage neuro-perturbatrice dans le jeu du *lead*. La *bassline* est exposée alors que le *kick* est muté. Leurs fréquences graves s'intervertissent dans l'équilibre orchestral. La caisse claire est mutée pour laisser le temps de retenir le thème joué par la superposition du *lead* et de la *bassline*. L'absence de ponctuation sur les temps faibles amoindrit temporairement la stimulation dansante. La caisse claire émerge à nouveau dans ce contexte en jouant des doubles croches en *crescendo* pour annoncer le retour du *kick* régulier, procédé courant en tekno pour stimuler l'énergie dansante. Le *kick* sonne de manière trop faible, particulièrement dans ce contexte où il est annoncé de manière très classique faisant appel à des codes musicaux parfaitement reconnus en tekno.

24, BREAKCORE, 11mn 23s 97ms;

Le *kick* joue des rythmes syncopés dont l'interaction avec la lenteur de la boucle spatiale instaure une énergie dépressive. Les traitements par ligne à retard interviennent de manière imprévisible et portent une énergie neuro-perturbatrice en interaction avec la lente boucle spatiale qu'ils décomposent en étapes temporellement irrégulières. La ligne à retard intervient de plus en plus souvent, en partant d'une échelle où elle discrétise le temps jusqu'au seuil où elle le traite de manière continue, par de brèves valeurs de retard interpolées grâce à l'*aftertouch* de la keytar.

25, HARDCORE , 11mn 46s 399ms;

Des retards courts sont réinjectés dans des retards plus longs par un mouvement continu de l'*aftertouch*, et traitent tous les instruments sauf le *kick*, qui rejoue de manière pulsée, mais dans une boucle lente qui détériore son énergie stimulante, puisque la durée de la boucle spatiale correspondant à la pulsation n'est pas rétablie quand le *kick* outrepasse la ligne à retard. Les cymbales jouant en doubles croches passent alors outre la ligne à retard pour maintenir la stimulation dans une énergie *hardcore*.

26, TRANCE, 12mn 4s 996ms;

La superposition mélodique de la *bassline* et du *lead* est ré-exposée en début de phrase quand le taux de réinjection sur les retards devient nul. La caisse claire est est ré-exposée en jouant le même rythme syncopé qui a été exposé dans la précédente énergie *breakcore*. L'ensemble des discrétisations du temps issues du rythme vient compenser le manque de stimulation du *kick* régulier joué dans une boucle trop lente. L'énergie stimulante du *kick* est compensée par des procédés neuro-perturbateurs modérés, ce qui induit une énergie *trance*.

27, BREAKCORE, 12mn 19s 199ms;

Le *kick* reprend son jeu en rythme syncopé, dont l'énergie *breakcore* est mieux mise en valeur grâce à son interaction avec la boucle spatiale lente.

28, ACIDCORE, 12mn 31s 295ms;

Le *lead* joue en solo en outrepassant la ligne à retard. La répétition de sa cellule rythmique stimule l'énergie dansante, et les nombreuses variations continues l'accompagnent avec une énergie neuro-perturbatrice. Cette énergie *acidcore* est produite dans une boucle spatiale lente, où la continuité des variations spectrales interagit avec celle du déplacement de la source. La ligne à retard intervient de manière un peu maladroite pour ponctuer un changement de séquence.

29, TRANCE, 12mn 59s 97ms;

La *bassline* et la nappe sont exposées avec la nouvelle séquence. Par leur jeu sur les longues durées, les nappes apportent une énergie dépressive. Le caractère expressif de l'écriture verticale rendue possible par la polyphonie de l'instrument véhicule une énergie légèrement neuro-perturbatrice.

Les énergies dépressives et neuro-perturbatrices de la nappe interagissent avec la lenteur et la continuité du déplacement de la source. La *bassline* entretient une énergie dansante par la répétition d'une cellule facilement mémorisable, composée de trois notes jouées sur un rythme très binaire. Le *kick* régulier joue dans une boucle spatiale dont la brièveté est rétablie depuis le changement de séquence. Il est le seul instrument de percussion utilisé pour accompagner des instruments à

l'écriture harmonique et mélodique avant que la caisse claire et les cymbales ne viennent accentuer l'énergie dansante.

30, AMBIENT, 13mn 37s 796ms;
Toutes les stimulations qui prolifèrent dans l'écriture rythmique disparaissent au profit de l'énergie dépressive instaurée par l'écriture verticale. La répétition de l'enchaînement d'accords érode son caractère neuro-perturbateur.

31, BREAKCORE, 13mn 50s 399ms;
Les autres instruments reviennent jouer dans des boucles spatiales lentes irrégulièrement décomposées dans le temps par le jeu syncopé des instruments de percussions. La continuité du déplacement de sources est utilisée en interaction avec les interpolations de retards abondamment réinjectés.

32, HARDCORE, 14mn 26s 697ms;
Tous les instruments sont traités comme une seule et même nappe par la ligne à retard, outrepassée par le *kick* puis par les autres percussions, afin de concentrer à nouveau la perception sur l'énergie dansante. La stimulation du *kick* régulier est toutefois émoussée par la lenteur de la boucle spatiale, suite à son absence d'automation lorsque l'instrument outrepasse la ligne à retard.

33, ACIDCORE, 14mn 41s 396ms;
Les nappes viennent apporter leur contraste harmonique et de longue durée sur le jeu rythmique des percussions. La caisse claire et les cymbales sont traitées par un *flanger* qui réintroduit la notion de hauteur dans leur jeu instrumental. Ces balayages de hauteur sont lents et continus ; ils interagissent à la fois avec les hauteurs maintenues par les nappes et la lente continuité de déplacement des sources dans une énergie neuro-perturbatrice. Le *kick* régulier est joué dans une boucle spatiale d'une durée égale à la pulsation. Après avoir outrepassé la lige à retard, le *kick* peut retrouver sa boucle spatiale d'origine en étant rejoué depuis la note correspondant à la boucle spatiale désirée. Dans le cas où le *kick* est déjà régulier quand il outrepasse la ligne à retard, rejouer la note qui correspond à son écriture en pulsations n'a pas d'autre but que de rétablir sa boucle spatiale. Ce geste n'est donc pas intuitif, il est même encombrant et devient superflu dans la mesure où une automation peut le remplacer.
L'énergie stimulante et neuro-perturbatrice *acidcore* peut maintenant se développer sur une longue durée, grâce à la bonne durée des boucles spatiales. La continuité du lent déplacement des sources interagit avec le matériau continu des nappes, puis du *lead*, et enfin de la *bassline*, pour que chacun

des ces trois instruments véhicule tour à tour l'énergie neuro-perturbatrice sur une longue durée sans érosion, jusqu'au prochain changement de séquence.

34, BREAKCORE, 17mn 50s 565ms;
Cette nouvelle séquence instaure une nouvelle pulsation, plus rapide. Le *lead* exposé joue toujours des rythmes syncopés, répétitifs, donc dansants, et il est traité de manière continue par un filtre résonnant. Le *lead* véhicule toujours à lui seul une énergie *acidcore*. Cette énergie vient d'être longuement exploitée, et doit d'abord être altérée pour pouvoir être ré-exposée sans effet d'érosion. C'est la décomposition d'une longue boucle spatiale par le rythme syncopé du *kick* qui entretient l'énergie *breakcore*. L'énergie neuro-perturbatrice de la partie précédente est également maintenue, mais avec une énergie dansante plus dépressive que l'*acidcore*. C'est le repos accordé à la stimulation dansante qui permet de conserver l'énergie neuro-perturbatrice sur une longue durée sans érosion. Le taux de réinjection de la ligne à retard qui traite le *lead* devient plus important, et aussi celui du *flanger* qui traite la caisse claire. Ces deux traitements peuvent être pilotés simultanément depuis le manche de la keytar : un potentiomètre maintient le taux de réinjection du *lead*, et le *pitch-bend* traite le *flanger* par réinjection négative ou positive avant de redevenir nulle quand le contrôle est relâché. La *bassline* est exposée en dernier pour que son caractère périodique et dansant soit mis en valeur par contraste avec les précédents traitements neuro-perturbateurs.

35, ACIDCORE, 18mn 45s 563ms;
La pulsation régulière est rétablie à travers un traitement par ligne à retard d'une durée égale à la noire, et la boucle spatiale du *kick* régulier est d'une durée égale à la pulsation.
Les énergies *acidcore* sont désormais longues et fréquentes, entrecoupées par des énergies *breakcore*. Les énergies stimulantes et dépressives se relaient pour que l'énergie neuro-perturbatrice soit maintenue à son plus haut niveau jusqu'à la fin de l'enregistrement.

Minutage chronométrique des énergies musicales dans les dernières minutes enregistrées du live@MSH:
36, BREAKCORE, 21mn 23s 664ms;
37, ACIDCORE, 22mn 24s 267ms;
38, AMBIENT, 23mn 17s 867ms;
39, ACIDCORE, 23mn 34s 267ms;
40, BREAKCORE, 23mn 46s 864ms;
41, HARDCORE, 24mn 34s 64ms;
42, ACIDCORE, 24mn 38s 864ms;

43, AMBIENT, 24mn 47s 365ms;

9.3 Live « Droxareo », septembre 2021

(Fichier audio : Droxareo_4HPX.aif, orientations des haut-parleurs : 45°, 135°, 225°, 315°, sens anti-horaire)

Pour ce *live*, j'ai développé un nouvel environnement logiciel à partir d'un patch dédié au travail exclusif de l'espace, où une simple synthèse FM a évolué en synthèse instrumentale. Ce *live* est enregistré sans public sur l'octophonie régulière de la salle S17 de la MSH Paris-Nord en septembre 2021. Pour la première fois, le *sweet-spot* et les deux sources interagissent enfin comme un système quantique à 3 corps. L'hyperangle est désormais la variable qui détermine le fondu enchaîné, alors qu'il était auparavant constamment orienté à 90°. Le polynôme et les harmoniques sphériques locaux entrent vraiment en fonction quand je traite cette variable. La différence entre source ponctuelle et champ diffus semble maintenant plus discernable pendant le fondu enchaîné, et permet une première appréciation des qualités et défauts du traitement hypersphérique à ce stade de son implémentation. Mon principal critère d'écoute du résultat sonore après une modification de l'implémentation est la symétrie entre les ondes sphériques des deux sources, observées selon les deux états où l'hyperangle est pleinement orienté.

Ce nouveau fondu enchaîné fait jouer tous les rangs ambisoniques quand l'hyperangle est pleinement orienté vers l'une des deux sources, ce qui améliore la qualité de l'environnement spatial dans lequel le *sound design* des instruments est composé. Cet espace sonore à l'état de source ponctuelle invite désormais à une amorce du travail de mixage avec des effets de compression *side-chain* entre le *kick* et la *bassline*. Cette compression est appliquée à certains traitements par ligne à retard ou granulation, déjà présents dans *Live@MSH*. La compression *side-chain* de ces traitements par le *kick* permet de jouer plus longtemps sur leur effet neuro-perturbateur dont le comportement imprévisible est périodiquement compensé par la compression *side-chain* qui met en valeur l'énergie dansante de cet instrument.

L'attaque du *kick* intervient quand l'hyperangle est pleinement orienté vers l'une des deux paires de sources de même charge, au moment où la source notée *spin up* est pleinement orientée à gauche et la source notée *spin down* pleinement orientée vers la droite : on entend alors l'attaque du *kick* au centre du *dance-floor* dans la largeur d'un champ composé par la somme des sources en phase.

De nouveaux traitements sont utilisés dans le domaine sphérique : une ligne à retard ambisonique sur le *lead*, et une réverbération ambisonique sur la caisse claire. La ligne en retard ambisonique est agoniste de l'énergie neuro-perturbatrice du *lead* mais entraîne de trop grands écarts de dynamique pour le confort d'écoute. D'une manière générale, les instruments qui véhiculent le plus d'énergies neuro-perturbatrices, comme la *bassline*, le *lead* et les nappes, sont davantage mis en valeur par

l'apport de l'hyperangle au fondu enchaîné, et se prêtent plus au jeu instrumental au clavier, en tant qu'instruments basés sur la hauteur.

« Droxareo » est enregistré en deux parties, qui durent chacune une vingtaine de minutes. L'enregistrement automatique requiert la création d'un nom pour le fichier : afin de ne pas interrompre le jeu en *live* à chaque enregistrement, une suite de huit caractères comportant quatre consonnes et quatre voyelles est automatiquement générée de manière aléatoire parmi les lettres de l'alphabet, au moment où le fichier doit être créé.

9.4 Live « Udiwaqau » », septembre 2021

(Fichier audio : Udiwaqau_4HPX.aif, orientations des haut-parleurs : 45°, 135°, 225°, 315°, sens anti-horaire)

Pouvoir jouer à la fois sur l'octophonie de la salle S17 et la quadriphonie de mon lieu de vie implique un choix dans la disposition de mes quatre haut-parleurs. Avant de l'avoir composé en ambisonie d'ordre supérieur, j'ai d'abord développé la spatialisation du *live* au format B. En 2D, ce format distribue l'amplitude des quatre canaux d'après une orientation azimutale selon l'ordre suivant: arrière-gauche, avant-gauche, avant-droite, arrière-droit.

Quand je joue une boucle spatiale composée comme espace sonore paradoxal dans cette configuration, l'opposition de phase du fondu enchaîné prend place entre deux paires de haut-parleurs convergeant vers le *sweet-spot*. Les ondes diffusées par le haut-parleur arrière-gauche s'opposent à celles provenant du haut-parleur avant-droit, pendant que celles diffusées par le haut-parleur arrière-droit s'opposent à celles provenant du haut-parleur avant-gauche. Cette double symétrie d'opposition de phases constitue un champ diffus silencieux au centre du *dance-floor*.

La qualité du fondu enchaîné s'entend à travers le caractère constamment progressif de la boucle, qui devient périodiquement régressive si l'opposition de phase n'intervient pas. Dans cette double symétrie, les ondes s'opposent en se croisant au centre du *dance-floor*, dans le *sweet-spot*. Les phases diffusées entre les deux haut-parleurs de gauche ou ceux de droite ne s'opposent pas de manière frontale, mais convergente, dans un champ plus large que le *sweet-spot*. Cette opposition de phase s'entend mieux en octophonie circulaire (anti-horaire), car elle est jouée dans la profondeur du champ entre les deux haut-parleurs situés à l'avant-centre et l'arrière-centre. Entendue depuis le *sweet-spot,* cette opposition de phase est symétrique par rapport à une droite qui s'étend dans la largeur, alors que les oppositions de phase entre les autres haut-parleurs sont symétriques par rapport à un point : l'opposition de phase entre les haut-parleurs orientés à 0° et 180 peut s'entendre depuis un *sweet-spot* plus large. La disposition en X de la quadriphonie est liée à la composition d'espaces sonores au format B, mais la composition en ambisonie d'ordre supérieur remet en question cette configuration dans les *lives* postérieurs.

Le format B cubique dédié à la 3D laisse également son empreinte dans la production des *lives* en 2D quadriphonique. Certains *lives* sont enregistrés en 3D comme pour une octophonie cubique, mais les traitements spatiaux se limitent à la 2D et peuvent être réécoutés sur une quadriphonie en X : je voulais développer un seul environnement logiciel pour jouer aussi bien en 2D qu'en 3D, mais l'étude des traitements hypersphériques 4D et 6D met en évidence des différences dans le caractère opératoire des espaces sonores paradoxaux selon le nombre de dimensions : les traitements 4D et 6D sont finalement implémentés dans deux maquettes logicielles distinctes.

Dans ce *live*, le *lead* est traité par deux lignes à retard ambisoniques, qui surviennent en parallèle après le double traitement spatial des deux sources en opposition de phase, et avant le traitement dans le domaine hypersphérique. Cette spatialisation sur le *lead* suit des retards aléatoires et interpolés, pendant que les effets de *glissando* mêlés aux retards plus lents créent un champ sonore riche et imprévisible dans ses modulations. Ce traitement propre au *lead* exploite la composition de l'espace sonore en tant que procédé neuro-perturbateur.

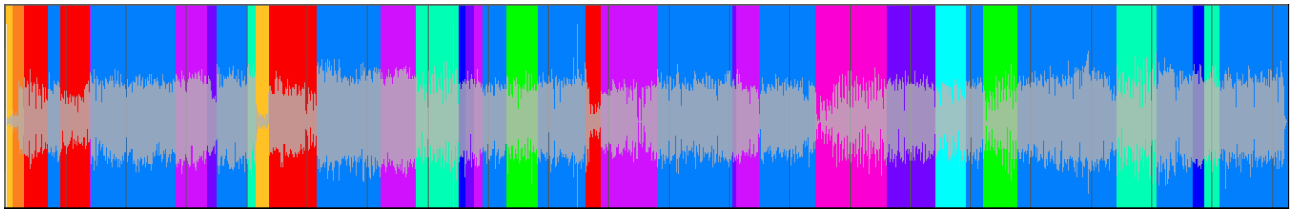


Fig. 9.4.1 Durées de résistance à l'entropie des énergies musicales du *live* Udiwaqau.



0, AMBIENT 0s 229ms;

L'introduction du *live* est jouée par des nappes dont la durée permet d'apprécier la continuité de déplacement des sources. Le matériau stable des nappes suggère une très basse quantité de mouvement dansé, et instaure un effet endorphinergique dépresseur. L'altération lente et continue de la position de la nappe sur le *dance-floor* transmet un effet légèrement neuro-perturbateur, modéré par le temps périodique de la boucle spatiale. Le déplacement des sources ponctuelles devient prévisible avec la répétition de la boucle. Cet équilibre neuro-perturbateur qui éveille l'attention par le déplacement de la source est un rôle noradrénergique ; l'attention est maintenue par la continuité du déplacement à un niveau modéré par le rôle sérotoninergique de la répétition de la boucle.

1, TEKNO 12s 906ms;

La durée de la boucle spatiale est périodiquement décomposée par la cymbale *hi-hat* qui joue sur tous les contretemps et entraîne ainsi une stimulation dansante, bientôt renforcée par l'entrée du *kick* régulier sur tous les temps. Les fréquences graves du *kick* sont des composantes spatiales plutôt

discernables vers le centre du *dance-floor* ; cette place centrale dans l'espace sonore sonne de manière familière aux oreilles habituées aux dispositifs non-ambisoniques et permet par là de retrouver un même confort d'écoute. La fin de l'enveloppe du *kick* est courte. La rapidité de la boucle spatiale du *kick* la rend peu discernable en tant que source. Ce manque de détermination dans la position et la vitesse maintient le *kick* dans une énergie neuroleptique. L'effet dopaminergique du jeu des instruments de percussion s'oppose à la basse énergie dansante posée par la nappe. Les instruments de percussion, notamment par leur attaque brève, provoquent une réaction immédiate du système dopaminergique ; cette sensation de surprise en contraste avec la nappe prévisible est cependant assez vite érodée par la sérotonine. L'entrée des instruments de percussion entraîne une énergie dansante et neuroleptique tekno.

2, ACID 38s 970ms;

L'entrée de la *bassline* ajoute une énergie neuro-perturbatrice semblable à celle de la nappe, et jouée dans la même boucle spatiale. Toutefois l'interaction entre la continuité du déplacement de la source et celle du jeu instrumental alimente une énergie globalement plus dansante. La *bassline* contient des fréquences plus graves que la nappe. Ces fréquences renforcent le confort d'écoute instauré par le *kick* régulier en sonnant plutôt vers le centre du *dance-floor*. Le phénomène cognitif de regroupement semble permettre de corréler ces fréquences graves aux fréquences moyennes et aiguës du spectre de la *bassline*, plus audibles comme composantes spatiales des sources ponctuelles. Le confort d'écoute des fréquences graves est dansant et lié à l'énergie perturbatrice véhiculée par l'interaction de la continuité du jeu instrumental avec la continuité de son traitement spatial.

Le *lead* est également exposé. Son jeu mélodique en valeurs brèves ponctue régulièrement tous les temps forts. Cette phrase musicale est simple à mémoriser ; elle pose une énergie neuroleptique peu résistante à l'effet d'érosion, tout comme le jeu régulier du *kick* et des cymbales. Les notes du *lead* sont toutefois jouées selon différentes positions dans l'espace, dans une boucle de la même durée que celle qui regroupe la *bassline*, la nappe et les cymbales, mais décalée de quatre temps. Quand ces trois instruments jouent dans la largeur du *dance-floor*, le *lead* joue dans la profondeur. Les deux boucles spatiales se relaient ainsi à mi-chemin par leurs sources ponctuelles. Chaque zone de l'espace sonore est remplie par différents instruments. Cet effet immersif est à la fois dansant par son confort d'écoute et neuro-perturbateur par sa mise en mouvement des sources sonores.

La formule rythmique jouée par les cymbales change pour renouveler l'énergie dansante rapidement érodée du jeu en contretemps.

3, ACIDCORE 1mn 29s 470ms;

Les cymbales sont traitées par un *flanger*, lui-même traité par une ligne à retard. Ce traitement remplit le silence entre les coups de cymbales, et fait émerger un matériau continu en interaction avec le déplacement des sources. Par le caractère émergent et imprévu des ces traitements, une énergie neuro-perturbatrice se crée à partir du caractère dansant du rythme, riche en doubles croches, joué par les cymbales. Le caractère continu des traitements s'oppose à l'érosion de l'énergie dansante et maintient l'attention en une relative vigilance par la réaction continue et modérée du système noradrénergique.

Le *kick* devient *hardcore*. L'allongement de la fin de son enveloppe remplit l'espace inoccupé de sa boucle spatiale, et renforce l'effet immersif de la répartition des instruments dans l'espace. L'énergie dansante stimulée par la régularité du *kick* s'érode rapidement, et n'est maintenue que pendant une carrure, afin de ne pas habituer la mémoire à une trop grande résistance à l'entropie dès le début du *live*.

4, ACID 1mn 55s 388ms;

L'orchestration et les traitements sont alors rétablis comme lors de l'exposition de la *bassline* dans la précédente énergie *acid*. Cette partie est l'occasion de jouer la *bassline* directement au clavier pour développer le matériau la boucle séquencée. Varier la *bassline* en la jouant au clavier permet de résister très temporairement à l'érosion de l'énergie dansante, c'est du moins ce que j'imagine si j'entendais cet extrait sur un dance-floor. Les nouvelles notes jouées sont rapidement mémorisées comme nouvelle phrase musicale et ne laissent prévoir que d'autres changements sur un système de hauteur tempéré, donc déjà connu. Dans ce *live*, le jeu de la *bassline* au clavier souffre d'un défaut de programmation qui intervertit le début et la fin de certains événements MIDI.

5, ACIDCORE 3mn 0s 46ms;

Le retour du *kick hardcore* stimule l'énergie dansante, dans un contexte *acidcore* qui s'oppose durablement à érosion du jeu régulier du *kick hardcore*. Le *lead* est joué au clavier avec des valeurs de plus en plus longues et des variations sur la fréquence d'un filtre résonnant contrôlé depuis l'aftertouch. Le jeu au *lead* ne souffre pas du défaut de programmation sur la *bassline* et permet de maintenir l'énergie neuro-perturbatrice *acidcore* sur un temps plus important. Le *lead* est par la suite traité par une ligne à retard. Les notes brèves de la phrase semblent alors s'allonger et entrent en interaction avec la continuité de la lente boucle spatiale. Des variations sur la *bassline* sont directement jouées au clavier, l'instrument répond cette fois comme prévu, et contribue à entretenir l'énergie *acidcore* sur la durée.

Diverses durées de lignes à retard de réinjection entière et positive traitent uniformément les instruments, directement jouées au clavier. Le caractère discret des instruments de percussion devient immédiatement un matériau continu. L'interaction de ces transformations sonores radicales avec la continuité des sources est noradrénergique, immédiatement neuro-perturbatrice, et également opposée à l'érosion de l'énergie dansante par sa manière de ponctuer les fins de phrases. Durant ces traitements, la disparition intempestive du *kick* crée un désir dopaminergique de retour à la régularité endorphinergique des événements.

6, HARDCORE 5mn 59s 454ms;

La somme des derniers retards joués est répétée en boucle dans un retard égal à la durée d'une phrase de huit. Le caractère périodique de ce dernier traitement sur l'ensemble des retards laisse l'énergie dansante s'éroder. Alors que la boucle des retards est conservée, le *kick hardcore* est joué en outrepassant l'effet qui continue de traiter les autres instruments. Une compression *side-chain* module l'amplitude du traitement par ligne à retard des autres instruments selon l'amplitude du *kick*. Alors que la stimulation dansante de la régularité de la boucle des retards s'érode, elle est renforcée par le jeu du *kick* qui la compresse. Ce *kick hardcore* régulier est endorphinergique car il maintient un confort d'écoute et survient après les coupures intempestives de la ligne à retard à la fin de la précédente partie *acidcore* : il peut être désormais longuement répété avec une résistance à l'érosion supérieure à celle de ses précédentes interventions. Le confort d'écoute du *kick* tient aussi au caractère immersif et central de ses composantes spatiales jouées dans sa boucle rapide. Elles sont particulièrement mises en valeur par la compression *side-chain* sur les autres instruments. Alors que la compression intervient avant la spatialisation, la boucle spatiale rapide du *kick* semble compresser la boucle spatiale lente des autres instruments. La ligne à retard compressée est enrichie par d'autres retards, eux mêmes pris dans un traitement granulaire, qui interfère avec le caractère périodique des retards et véhicule une énergie neuro-perturbatrice sur l'énergie dansante du *kick*. Les cymbales et la caisse claire viennent ensuite jouer par-dessus leur propre ligne à retard pour renforcer l'énergie dansante du *kick* et la maintenir sur la durée. La lenteur de l'évolution des traitements granulaires laisse entendre des textures de plus en plus rugueuses, un timbre de plus en plus complexe, vers des fréquences stridentes qui tendent à s'opposer au confort d'écoute et ne peuvent être trop longtemps maintenues. Cette évolution est légèrement plus lente que le processus d'érosion. L'énergie accumulée entraîne un désir dopaminergique de confort d'écoute, d'une résolution spectrale plus harmonieuse agréable à entendre sur le long terme.

7, HARDTEK 7mn 6s 218ms;

Les traitements granulaires disparaissent en ne laissant entendre que la ligne à retard. Le *lead* est joué par parallèlement à son propre traitement. Le *kick* disparaît, et fait entendre dans la ligne à retard un spectre grave et complexe joué en contretemps dans la boucle spatiale rapide du *kick*. Les fréquences graves contenues dans ce contretemps sont moins fortes que celles du *kick* et sont entendues dans un espace plus lointain, retardé d'une croche, ce qui crée un désir dopaminergique de proximité avec ces fréquences graves sur le temps fort. Ce passage d'énergie stimulante *hardtek* conclut la partie *hardcore* précédente. Depuis la précédente partie *acidcore*, l'érosion de l'énergie dansante est étirée et accompagnée, notamment par le contraste entre les lentes boucles spatiales remplies de traitements granulaires compressés en *side-chain* par l'amplitude du *kick* depuis sa boucle spatiale courte. Ce court passage *hardtek* joue sur les dernières quantités de mouvement en déclin depuis la fin de la précédente partie *acidcore*, avant que l'entropie ne vienne à bout de la stimulation dansante.

8, ACIDCORE 7mn 28s 117ms;

La réinjection du retard sur les instruments, positive et entière depuis la fin de la précédente partie *acidcore* redevient nulle. Le matériau de la précédente partie *acidcore* est alors ré-exposé comme récompense endorphinergique à l'entropie, utilisée depuis les deux précédentes parties comme désir dopaminergique à travers les stimulations dansantes opérées autour du *kick* et de la ligne à retard.

9, BREAKCORE 8mn 31s 836ms;

La ligne à retard interrompt le caractère cyclique de cette dernière partie *acidcore*, et traite toutes voies pendant un changement d'instruments et de partition.

10, AMBIENT 8mn 51s 36ms;

La nouvelle boucle instrumentale est exposée par la nappe, en solo, comme au début du *live*. L'interaction des continuités du matériau et de la source en mouvement est enrichie par des variations sur la fréquence d'un filtre résonnant, jouées depuis la modulation de la keytar. Ce léger apport neuro-perturbateur s'oppose à la stricte répétition de la structure éventuellement prévue si elle a été mémorisée au début du *live*.

11, ACID 9mn 17s 334ms;

Le *kick* joue régulièrement et instaure son énergie dansante. Contre l'entropie de cette énergie, je joue directement la *bassline* au clavier, mais les données MIDI s'intervertissent : alors que je relâche le Mi qui ne jouait pas, il commence à jouer et sans doute par une nouvelle interversion due

au changement de menu afin de couper *kick*, je ne parviens plus à l'arrêter. Joué dans la durée, il interagit avec la continuité de la boucle spatiale. Certaines automations comme l'oscillation de basse fréquence sur le filtre sont actives : l'enrichissement continu du timbre de la *bassline* interagit avec la continuité de la lente boucle spatiale. Les composantes spatiales deviennent plus aiguës et semblent remplir un espace de plus en plus large. Le Mi incontrôlable alimente alors un fort désir dopaminergique, partiellement récompensé par la réintroduction des cymbales et de la caisse claire. Cette réintroduction des instruments de percussion permet de patienter un peu plus longtemps avant le retour du *kick*.

12, ACIDCORE 10mn 59s 436ms;

L'entrée du *kick hardcore* régulier est une forte récompense endorphinergique, qui, sous l'influence de l'érosion, doit devenir de moins en moins satisfaisante pour devenir un désir dopaminergique de plus en plus impatient d'une récompense toujours plus grande. Cette entrée du *kick* est accompagnée par l'entrée du *lead*, dont toutes les automations modulent le timbre de façon continu. Par leur rôle neuro-perturbateur, les interactions créées par la cascade de traitements du *lead* renforcent l'effet noradrénergique de l'entrée du *kick* ; la perception surveille alors l'évolution des deux instruments à la fois : l'un va évoluer, l'autre pas. Les traitements sur le *lead* maintiennent l'effet neuro-perturbateur sur la durée, et entretiennent une relative vigilance de l'écoute pendant que le *kick* peut se répéter avec une résistance accrue contre l'entropie. La *bassline* ne joue pas pendant cette partie. Les fréquences graves du *kick* sont seules à occuper l'espace central associé au confort d'écoute.

Pendant quelques phrases, le *kick* redevient tekno. Tout en conservant l'énergie dansante, il sonne en retrait par rapport au *kick hardcore*, et laisse entendre l'interaction de deux boucles spatiales lentes, décalées de quatre temps l'une de l'autre. La première joue le *lead*, l'autre la nappe. Les deux instruments contiennent des fréquences aiguës qui sonnent dans un espace lointain. Les composantes spatiales les plus éloignées sont issues des rangs ambisoniques supérieurs, qui sont traités comme un champ particulièrement lointain grâce aux harmoniques hypersphériques. Les fondus enchaînés des deux boucles se relaient, l'espace sonore est en mouvement alors qu'il est constamment rempli de toutes parts et va toujours d'avant en arrière sans jamais se retourner, grâce au principe d'espace sonore paradoxal. L'absence de *bassline* et la brève durée du *kick* tekno laissent l'espace central plus vide qu'en présence de *bassline* ou de *kick hardcore*. Ce jeu plus modéré sur les fréquences basses depuis l'avant-centre de l'espace contribue à mettre en valeur les composantes spatiales lointaines jouées par le *lead* et la nappe.

13, HARDCORE 13mn 13s 632ms;

L'énergie de la précédente partie *hardcore* est à nouveau jouée avec les mêmes procédés de ligne à retard parfois granulaire compressée en *side-chain* par le *kick* qui joue par-dessus le traitement. Par l'intermédiaire de la compression *side-chain,* l'interaction entre la boucle rapide dansante du *kick* et celle, plus lente, des traitements neuro-perturbateurs, permet d'exprimer l'impatience dopaminergique issue de l'entropie de l'énergie dansante avec des sons complexes, bruyants, grinçants, stridents. La ligne à retard uniformise la durée des boucles spatiales des instruments quand ils n'outrepassent pas le traitement ; l'espace sonore est donc moins rempli de toute part que dans la partie précédente. Or, dans la dernière partie *acidcore*, l'interaction entre les deux boucles lentes a possiblement été mémorisée comme valeur ajoutée à la récompense endorphinergique qui accompagnait l'entrée du *kick*. Le désir dopaminergique devient alors un désir d'occupation de la totalité de l'espace sonore, désormais associé au confort d'écoute et à l'énergie dansante du *kick hardcore* régulier.

14, BREAKCORE 14mn 30s 759ms;

Pour répondre à un désir dopaminergique de récompense toujours plus forte, il est possible de créer un effet de surprise en provoquant une réaction noradrénergique par un événement sonore imprévu. Une nouvelle partie musicale est exposée sur un rythme *drum'n bass* enrichi par de nombreux *breaks* déclenchés depuis la ligne à retard. Ces traitements musicaux véhiculent une énergie neuro-perturbatrice *breakcore* intense, où l'attention est maintenue par le caractère aléatoire des traitements, autant à l'échelle discrète que continue.

Cette nouvelle partie musicale est exposée avec tous ces instruments dont les boucles spatiales, libérées de la ligne à retard, se relaient à nouveau. Les boucles libérées répondent en partie au désir de récompense par occupation totale de l'espace sonore, mais sans le contexte du *kick* régulier. Les rythmes semi-cycliques du *kick* sont joués dans une boucle lente ; seule la boucle rapide du *kick hardcore* régulier a le privilège de remplir l'espace de la manière la plus constante : la spatialisation valorise ainsi l'énergie dansante du *kick hardcore* régulier dans le système de récompense.

15, SPEEDCORE 16mn 0s 275ms;

Joués en croches, deux *kicks* se succèdent dans une seule boucle rapide. Le *kick speedcore* est régulier et répond au désir de pleine occupation de l'espace sonore, mais la manière dont il décompose la boucle spatiale lors de son entrée crée un sursaut noradrénergique supérieur à la récompense attendue. Ce sursaut de l'énergie dansante s'érode, en revanche, plus vite que le *kick* joué à la noire. La caisse claire passe du jeu sur les temps faibles à un jeu sur les contretemps, pour donner l'illusion que le *kick* en croches joue à la noire deux fois plus vite. Quand la caisse claire

joue sur les contretemps, sa boucle spatiale est d'une durée égale à celle du *kick*. L'énergie *speedcore* requiert une résistance neuro-perturbatrice assez importante pour demeurer dansante dans la durée[126]. En revanche, elle intervient ici de manière brève, comme une accélération de l'entropie de l'énergie dansante.

16, HARDTEK 16mn 12s 829ms;

L'énergie dansante semble épuisée avant la fin de carrure et ne peut donc pas immédiatement être récompensée par le retour d'un *kick* à la noire, qui sonnerait comme une trop maigre récompense après cette stimulation *speedcore*. La ligne à retard intervient alors souvent en marquant tous les temps. Pendant ces quelques mesures, la décomposition de la boucle spatiale du *kick* traité correspond à celle d'un *kick* régulier pourtant absent. Cette énergie modérément dansante *hardtek*, conclut l'entropie accélérée de la précédente transition *speedcore* par un temps d'attente pendant lequel beaucoup d'éléments musicaux associés au sentiment de récompense sont présents, à l'exception du *kick* et de ces composantes spatiales de fréquence grave associées au confort d'écoute. La ligne à retard uniformise les boucles spatiales des instruments traités. L'absence de la pleine occupation de l'espace sonore s'ajoute au sentiment d'attente. Cette moindre occupation de l'espace renforce les procédés dopaminergiques de cette transition *hardtek*.

17, HARDCORE 16mn 32s 125ms ;

Le *kick* hardcore régulier vient répondre à l'attente d'une nouvelle énergie dansante. La ligne à retard parfois granulaire traite les instruments dans une seule boucle spatiale lente. Ce traitement entraîne un comportement aléatoire dans les transformations sonores qui interviennent sur la longue durée de la boucle spatiale. Cette modération constante de l'imprévisibilité peut être qualifiée de sérotoninergique. L'effet légèrement neuro-perturbateur de ce traitement s'oppose à l'érosion de l'énergie dansante du *kick* hardcore, tout en exposant un matériau sonore au timbre complexe, inharmonieux, bruyant, sensible à l'érosion par excès d'information. L'interaction de cette érosion avec celle de l'énergie dansante du *kick* peut aussi être considérée comme dopaminergique. La caisse claire outrepasse l'effet de ligne à retard granulaire pour entretenir l'énergie dansante de ce court passage hardcore.

18, ACIDCORE 16mn 51s 614ms ;

La réinjection de la ligne à retard redevient nulle, libérant ainsi les boucles spatiales propres à chaque instrument. Seuls les instruments de boucle spatiale lente sont joués ; leur timbre

[126] Je recommande l'écoute de *Alice in wonderland*, de Neurocore. https://www.youtube.com/watch?v=nawHdKumIVU

relativement harmonieux et le caractère tonal de la phrase créent un contraste spectral et spatial avec leur traitement par ligne à retard. Ce contraste est neuro-perturbateur, l'effet de surprise est noradrénergique, et doit s'éroder à partir du moment où la phrase se répète. C'est sur cette répétition qu'entre le *kick* hardcore régulier. La réaction noradrénergique est cette fois associée à une énergie dansante. Le retard de huit temps sur l'exposition du *kick* permet de distribuer la récompense en deux temps différés : d'abord l'espace sonore lent, lointain et neuro-perturbateur, puis l'espace sonore rapide, proche et dansant. Ce passage d'énergie *acidcore* ne s'étend pas sur la durée alors que les procédés musicaux semblent finalement réunis pour le permettre. Le retard de huit temps du *kick*, sa dé-synchronisation d'avec le moment de libération des boucles spatiales, amenuisent son énergie dansante plus vite que prévu.

19, TRIP_HOP 17mn 42s 992ms ;
L'énergie dansante est donc laissée au repos avec les rythmes lents et semi-cycliques *trip-hop* joués par le *kick* et la caisse claire dans des boucles spatiales lentes. L'énergie neuro-perturbatrice est cependant conservée. Ce passage développe l'énergie exposée dans les 8 premiers temps avant l'entrée du *kick* dans la précédente partie *acidcore*.

20, ACIDCORE 18mn 46s 992ms;
Le *kick* régulier revient après une longue absence. La précédente énergie *acidcore* peut désormais être rejouée avec une stimulation dansante plus résistante à l'entropie. Durant cette partie, la *bassline* est jouée avec un arpège rythmique riche en doubles croches, qui alimentent ainsi une énergie stimulante discrétisant la lenteur de la boucle spatiale.

21, ACID 20mn 28s 948ms;
Une nouvelle boucle instrumentale est exposée, en commençant par la la discrétisation de la boucle lente opérée par les doubles croches de la *bassline*. L'espace sonore est peu occupé, mais toutefois riche en composantes spatiales de fréquence grave, plutôt centrales sur le *dance-floor*. Une interversion entre la détection du début et de la fin des événements MIDI entraîne involontairement l'interruption de l'arpège rythmique au moment où je veux jouer les notes de cet arpège : la dernière note jouée ne veut à nouveau plus s'arrêter. Je parviens pourtant à la couper en jouant d'autres notes, puisque le synthétiseur que j'ai programmé pour la *bassline* est monophonique. Je joue un chromatisme descendant, traité par la ligne à retard en valeurs courtes et croissantes, donc de plus en plus graves, pour surenchérir sur la diminution de l'énergie dansante, comme pour accélérer son entropie.

22, HARDCORE 21mn 2s 148ms;

Le *kick hardcore* régulier est exposé, totalement seul. C'est l'occasion d'entendre la manière dont sa boucle spatiale rapide répartit l'enveloppe du *kick* en composantes spatiales. Les cymbales et la caisse claire viennent ensuite renforcer l'énergie dansante. Les nappes jouent des accords immédiatement relâchés, la fin de leur enveloppe est longue et jouée dans la continuité des sources ponctuelles : par les points de repères spatio-temporels qu'elles établissent à travers leur lente boucle spatiale, les nappes sont à la fois neuroleptiques et dansantes. Pendant un bref instant (à 21'25''), le *lead* est exposé par erreur, avec un traitement de *flanger* au balayage discrétisé. Ce traitement assigné à l'*aftertouch* de la keytar, largement érodé dans la dernière partie *acidcore*, ne semble pas pouvoir maintenir l'énergie *acidcore* dans la durée et sera mis de côté pendant les futurs *lives*.

Les parties suivantes ne présentent pas de nouvelles interactions entre la spatialisation et les diverses résistances à l'entropie. Dans la partie *hardtek* à 31mn 8s 935ms, le *kick* devient spiralien. La continuité du balayage de son *flanger* est lente. Reportée dans la boucle spatiale courte, elle module les composantes spatiales du *kick*, sans toutefois être corrélée à la distance comme le serait un effet Doppler. Le *flanger* est donc plus utilisé ici pour colorer le champ diffus. Cette méthode permet de véhiculer une énergie neuro-perturbatrice depuis l'énergie dansante du *kick*.

Les minutes suivantes ré-exposent des matériaux et procédés précédemment énoncés, chronométrés en suivant le discours musical de ce live.

Minutage chronométrique des énergies musicales dans les dernières minutes enregistrées du live « Udiwaqau":

23, ACIDCORE 0 23 2 629 l;

24, HARDCORE 0 25 48 783 l;

25, ACIDCORE 0 26 37 943 l;

26, GABBER 0 28 35 817 l;

27, HARDTEK 0 31 8 935 l;

28, TRANCE 0 32 51 200 l;

29, ACIDCORE 0 33 55 442 l;

30, TRIP_HOP 0 34 33 774 l;

31, ACIDCORE 0 35 44 729 l;

32, BREAKCORE 0 39 15 475 l;

33, ACIDCORE 0 40 40 44 l;

34, SPEEDCORE 0 41 57 355 l;

35, BREAKCORE 0 42 23 668 l;

36, ACIDCORE 0 42 53 216 l;

9.5 « Bfadafei », février 2022

(Fichier audio : Bfadafei_4HP+.aif, orientations des haut-parleurs : 0°, 90°, 180°, 270°, sens anti-horaire)

Ce *live* est enregistré sans public en février 2022. Il a été produit parallèlement à la publication d'un article pour les Journées de l'Informatique Musicale qui se sont déroulées en 2022 dans la ville de Saint-Etienne. Cet article fait la synthèse des premières années de recherches, et met en évidence le rôle des harmoniques locaux dans le traitement hypersphérique.

L'ambisonie d'ordre supérieur permet de changer la valeur de l'angle qui traite le canal décodé, alors qu'elle est constante au format B. La quadriphonie peut alors être disposée en forme de +, dans l'ordre suivant : 0° en avant, 90° à gauche, 180° en arrière, et 270° à droite. Cette disposition permet aux ondes de s'opposer de manière frontale sur le *sweet-spot*. Un tel changement de configuration reflète la place de plus en plus importante accordée à l'idée de symétrie pour composer des espaces sonores paradoxaux en ambisonie d'ordre supérieur par traitement hypersphérique. L'effet de paradoxe sur la distance est renforcé par l'opposition frontale des ondes sur le *sweet-spot* et met en valeur la dimension de la profondeur du champ composé des sources en symétrie de charge. Dans la profondeur du champ, l'opposition entre phases est symétrique à une droite orientée dans le sens de la largeur. Cette symétrie permet aux composantes spatiales impaires d'entrer en collision frontale, créant depuis le *sweet-spot* une zone de silence orientée dans la profondeur de l'espace sonore. La quadriphonie en forme de + procure une qualité plus proche de l'octophonie. La réduction des différences entre ces deux conditions d'écoute conserve un équilibre spatial plus constant, ce qui améliore la qualité des modifications apportées aux instruments et traitements d'un *live* à l'autre. L'implémentation des harmoniques hypersphériques commence à inclure le traitement du signal audionumérique entrant par un signal de variations hyperangulaires, alors qu'elles traitaient le signal entrant par des données ponctuelles dans les *lives* précédents. Le polynôme de Gegenbauer, qui traite les harmoniques sphériques non-locaux par l'hyperangle, est donc programmé en *gen~*[127] pour que le traitement hyperangulaire s'opère sous forme de signal audionumérique.

Le mixage n'entraîne plus la saturation de l'enregistrement du domaine circulaire : la qualité de la spatialisation du *kick* peut dorénavant être estimée à l'écoute. L'attaque du *kick* intervient toujours dans la largeur de l'espace, au moment où l'hyperangle est pleinement orienté vers la source. Cet état de champ diffus est la somme des amplitudes de sources en opposition de phase jouées par les

[127] Cette interface présente dans Max-msp permet de regrouper plusieurs opérations audionumériques dans un seul objet. Elle sera utilisée dans plusieurs *lives* avant d'être remplacée par l'interface *faustgen~*.

canaux impairs dans la profondeur du champ : ce champ est composé par symétrie de charge. La somme des amplitudes de sources en phase, mais de *spin* opposé, constitue également un champ diffus joué par tous les canaux dans le sens de la largeur : ce champ est composé par symétrie de parité. La boucle spatiale peut être entendue comme une interpolation entre ces deux états du champ diffus, mais si chaque paire est prise séparément, il s'agit d'une interpolation entre l'espace sonore à l'état de source ponctuelle et l'état de champ diffus.

La fin de l'enveloppe du *kick* a un contenu énergique qui est cependant altéré par ce nouveau fondu enchaîné. Une chute d'amplitude persiste pendant l'opposition de phase et estompe périodiquement les fréquences jouées pendant la fin de l'enveloppe. La boucle spatiale transforme le *kick hardcore* en *kick frenchcore*.

L'intervention des transitoires d'attaque dans le sens de la largeur semble favoriser le confort d'écoute. À cet instant du fondu enchaîné, les sources sont jouées sur tous les canaux : toutes les composantes spectrales du *kick* sont audibles comme composantes spatiales. Cependant le confort d'écoute en *free-party* prend comme point de repère spatial l'avant du *dance-floor* pour la provenance du *kick*. Il serait utile de chercher une autre interaction entre la boucle spatiale et le jeu instrumental, pour que les transitoires d'attaque proviennent de l'avant dans l'espace sonore paradoxal.

L'automatisation de la durée des boucles spatiales doit être corrigée. La taille de ces boucles varie selon la durée du retard qui traite souvent les instruments pendant les *breaks*. Alors que cette ligne à retard peut traiter tous les instruments de manière uniforme, chacun d'entre eux peut rejouer par-dessus ce traitement. C'est généralement le *kick* qui outrepasse la ligne à retard, mais après avoir été traité par elle. Le *kick* joue outre ce traitement, qu'il traite alors par une compression *side-chain*. La traitement par ligne à retard change la taille de la boucle spatiale : quand le *kick* joue par-dessus son propre traitement, la boucle spatiale doit retrouver la taille déterminée par la partition du *kick*.

9.6 « Ikomofao », mars 2022

(Fichier audio : Ikomofao_4HP+.aif, orientations des haut-parleurs : 0°, 190°, 180°, 270°, sens anti-horaire)

Cette séance est enregistrée sans public en mars 2022 et constitue une répétition générale d'un *live* de 2h joué en octophonie dans l'amphithéâtre X de l'université de Paris VIII, dans le cadre du bal de l'université. L'installation, le transport et le financement de l'octophonie ont été organisés par mes propres moyens avec le matériel mis à ma disposition par mon camarade *liver Djé*[128], de notre

[128] Monsieur Jérome Lelay Delorme.

sound-system laHP[129]. Le seul regret lié à cette prestation réside dans le système d'enregistrement qui s'est montré totalement inopérant. «Ikomofao» est le *live* le plus contemporain de cette prestation et donne une idée de l'état des recherches et du résultat sonore.

Dans ce *live*, la composition de la boucle spatiale du *kick* exploite autrement l'état de champ diffus pendant l'opposition de phase entre les sources. Le *kick* est attaqué pendant l'opposition de phase, dans la profondeur du champ diffus, alors qu'il était dans le *live* précédent attaqué hors de l'opposition de phase, dans la largeur, et à l'état de source ponctuelle. La fin de l'enveloppe du *kick* bénéficie alors du traitement à l'état de source entre deux moments d'opposition de phase. Durant cette fin de l'enveloppe, un *kick hardcore* peut véhiculer une énergie neuro-perturbatrice quand il est traité par différents filtres ou *flangers* en interaction avec l'enveloppe. Le *tempo* lent favorise la composition de la fin de l'enveloppe. La spatialisation semble pouvoir interagir avec les énergies du *kick*.

Cette nouvelle relation entre le champ et la source améliore l'interaction entre la boucle instrumentale et la boucle spatiale. Ce traitement hypersphérique, où la variable hyperangulaire est non-nulle dans les harmoniques locaux, procure un autre confort d'écoute pendant le fondu enchaîné : les boucles spatiales lentes interagissent avec l'énergie neuro-perturbatrice des traitements continus, en reportant leur continuité dans celle du fondu enchaîné. Ce confort d'écoute repose en grande partie sur une réduction de l'écart d'amplitude durant le fondu enchaîné sur les fréquences moyennes-basses, qui remplissent alors toujours l'espace sonore dans le sens de la profondeur. Les espaces sonores paradoxaux de la *bassline*, et de tous les instruments qui jouent dans une boucle spatiale lente sont audibles. Cependant, l'état d'amplitude du fondu enchaîné demeure trop important et rend la spatialisation trop prépondérante, au détriment des énergies portées par les instruments et du confort d'écoute. Les instruments sonnent de manière subordonnée à la spatialisation, et non pas interactive. La spatialisation ne doit en rien détériorer l'énergie, son rôle agoniste émerge par interaction avec les instruments. Le *design* sonore des *kicks* reflète ce déséquilibre persistant dans la spatialisation. Pour combler la trop grande chute d'amplitude causée par le fondu enchaîné, l'attaque du *kick* est sur-mixée par rapport à la fin de l'enveloppe. Or, cette fin de l'enveloppe est la partie la plus audible en tant que source ponctuelle et permet une interaction particulière de la spatialisation avec le jeu instrumental quand le *kick* est *hardcore*. La *bassline* est mixée pour ne pas écraser le *kick,* mais elle manque alors de fréquences basses. L'attaque sur-mixée du *kick* gomme la fin de l'enveloppe où les transitoires d'attaque se stabilisent autour de fréquences basses pourtant primordiales pour le confort d'écoute et l'énergie dansante.

[129] ces initiales signifient: la Horde-Pershitude, du nom des deux collectifs qui se sont réunis dans ce *sound-system*.

Améliorer la qualité du fondu enchaîné consiste à le rendre plus composable, plus modulable dans sa courbure et son interaction avec le déplacement des sources.

9.7 « Live4SMC », avril 2022

(Fichier audio : Live4smc_4HP+.aif, orientations des haut-parleurs : 0°, 190°, 180°, 270°, sens anti-horaire)

Ce *live* est enregistré en avril 2022. L'amélioration du caractère interactif de la spatialisation avec les instruments consiste à composer des variations dans la vitesse de déplacement des sources et du fondu enchaîné. Les notations de *spin* et de charge jouent alors un rôle plus élaboré dans la composition de l'espace sonore, par l'introduction de la conjugaison des symétries PT et CT. Optimisation4D.

Dans une paire de sources entendues simultanément pendant le fondu enchaîné, l'une accélère pendant que l'autre ralentit. La différence de vitesse entre les sources s'exprime par une asymétrie entre les distances qui les séparent sur l'azimut, et par une asymétrie temporelle si la mesure de vitesse prend comme points de repères deux coordonnées azimutales diamétralement opposées pour chaque source. La symétrie de parité implique des comportements identiques pour les deux sources : même si dans une même paire de sources leurs *spins* sont anti-parallèles, leur symétrie de charge implique une symétrie de temps qui fait adopter aux deux sources un comportement parallèle. Les deux sources accélèrent et ralentissent dans les mêmes coordonnées spatiales, mais dans des temps différents : les symétries de parité et de temps sont alors reportées vers la conjugaison PT. Cette conjugaison traite l'espace sonore du *kick* et de la caisse claire. L'instrument ainsi traité ralentit quand il s'approche par l'avant et accélère quand il s'éloigne par l'arrière. L'attaque de ces instruments survient pendant le ralentissement de la source qui s'approche par l'avant de l'espace sonore.

Quand je mesure l'amplitude des deux sources à un instant du fondu enchaîné où une source sonne plus proche que l'autre, je constate que les amplitudes sont différentes, alors qu'elles sont en constante opposition de phase avant le traitement hypersphérique. La différence d'amplitude entre les sources entraîne un déphasage continu entre l'espace à l'état de source et à l'état de champ construit par l'opposition de phase en les deux sources. La périodicité du déphasage reporte dans le temps l'asymétrie de charge vers la conjugaison de la symétrie CT.
J'implémente une première forme de conjugaison CT en traitant les coordonnées cartésiennes de l'hyperangle par un exposant qui module la courbure du fondu enchaîné à la manière d'un overdrive. Ce traitement s'entend comme une modulation sur l'éloignement entre les deux sources

pendant le fondu enchaîné. Une source peut donc s'éloigner et s'approcher selon une vitesse composable. Cette variation de vitesse fonctionne comme une variation sur la distance par un traitement des valeurs cartésiennes de l'hyperangle, donc sur l'amplitude de la source. Mais avant ce traitement, le temps demeure linéaire dans les coordonnées hypersphériques de l'hyperangle, et n'intervient pas dans le changement de vitesse. Dans les ordres ambisoniques supérieurs, les valeurs cartésiennes de l'hyperangle sont également traitées des exposants égaux à la valeur absolue de l'ordre ambisonique. La modulation de la courbure du fondu enchaîné se répercute dans les ordres supérieurs pendant les fondus enchaînés, où seule la symétrie de charge est transgressée et reportée vers la conjugaison CT, sans asymétrie de temps. Les ordres supérieurs traitent des valeurs cartésiennes entre 0 et 1, mais les coordonnées hypersphériques de l'hyperangle traite la première moitié d'une onde cosinusoïdale qui se mesure de -1 à 1. Les courbes négatives sont temporairement traitées en valeur absolue pour que l'exposant leur donne la même incurvation que les courbes positives. La somme de ces courbes détermine toujours une échelle d'amplitude comprise entre -1 et 1 : elle est donc réduite et transposée pour être comprise entre 0 et 1 afin d'être traitée par les valeurs hyperangulaires des ordres supérieurs. L'opposition de phase intervient entre deux sources à la moitié de leur amplitude maximum. Les instruments sonnent deux fois plus fort à l'état de sources qu'à l'état de champ en opposition de phase. L'incurvation du fondu enchaîné opérée par cette conjugaison CT permet de prolonger la durée pendant laquelle l'hyperangle est proche de la pleine orientation vers une des deux sources, donc de réduire la durée de la chute d'amplitude qui nuit au confort d'écoute et uniformise les énergies par une composition trop linéaire de l'illusion de distance.

Le fondu enchaîné est écourté sur le *kick* et la caisse claire, de manière à ce que ces instruments soient traités par un espace qui tend plus vers l'état de source ponctuelle quand elle ralentit en s'approchant par l'avant du *dance-floor*. L'attaque de ces instruments a moins besoin d'être sur-mixée pour sonner dans cet espace sonore paradoxal où se conjugue la symétrie CT. Les conjugaisons de symétries viennent s'ajouter à la différence de durée entre les boucles spatiales qui traitent chaque instrument.

9.8 « MZTK », 18 juin 2023

(Fichier audio : MZTK_4HP+.aif, orientations des haut-parleurs : 0°, 190°, 180°, 270°, sens anti-horaire)

Ce *live* a été joué sur un système stéréophonique en *free-party*, mais il est enregistré au format ambisonique circulaire pour être écouté sur un système de diffusion. Les deux enregistreurs multicanaux se relaient toutes les 226 secondes. Cette durée correspond à la mémoire mobilisable dans le disque dur pour enregistrer des fichiers audiophoniques en 11 canaux pour l'ambisonie 2D.

L'opération peut se répéter à l'infini pour enregistrer des *lives* entiers, mais des erreurs d'implémentation du système de relais persistent et certaines parties de 226 secondes sont coupées.
Plusieurs séquences en boucles sont utilisées dans ce *live*. Chacune a sa propre partition, ses propres instruments et son propre mixage. L'enchaînement des séquences maintient entre elles un niveau sonore homogène grâce à une dernière amplification du volume général avant la spatialisation. Aucun traitement spatial ambisonique n'était audible durant cette prestation en stéréophonie, et ne pouvait donc pas jouer son rôle interactif en *live*. Ses automations sont cependant demeurées actives et rendent audible le traitement ambisonique quand on écoute l'enregistrement. La profondeur du champ où s'opère l'opposition de phase entre les sources s'aplatit et oppose les également les composantes spatiales impaires qui devraient pourtant demeurer audibles pendant les fondus enchaînés. La spatialisation est réduite à une variation périodique sur l'amplitude, comme dans « Droxareo », mais cette nuisance n'était pas flagrante pendant le *live*, et je ne m'en suis d'ailleurs pas aperçu quand je jouais. Ce *live* a même été apprécié pour la qualité de sa production par une communauté d'écoute composée de personnes que j'ai rencontrées quand j'ai découvert l'univers de la *free-party* à la fin des années 90[130], et habituées dans leurs souvenirs à l'absence de mixage dans la production de mon *live*.
Les effets de crête sont moindres que dans les précédents *lives*, mais de plus en plus nombreux au fur et à mesure que le *live* évolue vers le *hardcore*. C'est sur les *kicks hardcore* que l'effet de crête est le plus audible. Pendant la fin de leur enveloppe, leur texture sonore semble écrasée par l'attaque. Réciproquement, les transitoires d'attaques semblent s'étouffer dans les fréquences basses de fin de l'enveloppe. La corrélation entre l'attaque et la fin de l'enveloppe n'est pas assez confortable à l'écoute pour des *kicks hardcore*. À l'inverse, l'enveloppe de la caisse claire est mise en valeur par la réverbération ambisonique qui traite le domaine hypersphérique. L'intervention de ce traitement par-dessus le fondu enchaîné fait perdurer un peu la réverbération de la caisse claire quand la diffusion stéréophonique aplatit la profondeur du champ où se produit l'opposition de phase. Certains traitements ont un défaut d'implémentation qui crée des fréquences trop hautes pour la fréquence d'échantillonnage. Les traitements granulaires intègrent une ligne à retard à la durée parfois plus courte que deux échantillons. De même, la fréquence du modulateur en anneau dépasse parfois supérieure la moitié de la fréquence d'échantillonnage, connue en audionumérique comme seuil de Nyquist[131]. Des replis de phases, très visibles dans le support visuel du fichier audiophonique, perturbent le spectre sonore pratiquement à chaque fois que ces types de traitements interviennent dans le *live*.

---

130 Ce *live* a été joué lors d'une *free-party* organisée pour les 25 ans de mon premier *sound-system*, les Mazatek.

131 Roads, Curtis, *L'audionumérique, Musique et informatique, op cit*., chapitre 1, Concepts audionumériques, 1.4 Représentation numérique du son, 1.4.7 Le théorème de l'échantillonnage, Fréquence d'échantillon idéale,

La synthèse instrumentale et le mixage dépendent de l'équilibre spatial dans lequel ils sont composés. Comparé aux précédents enregistrements, ce *live* marque un retour vers les énergies *hardcore* et *speedcore*, avec des pulsations plus élevées et la mise en valeur de la fin de l'enveloppe du *kick hardcore*. Cette fin de l'enveloppe est jouée à l'état de source ponctuelle dans chaque paire de sources. L'aisance à se ré-approprier l'espace sonore pour composer des *kicks hardcore,* aux sonorités complexes, provient de l'habitude de composer dans une configuration de l'espace sonore qui demeure la même d'un *live* à l'autre : l'implémentation des harmoniques hypersphériques reste globalement telle que décrite dans l'article que j'ai publié pour les JIM, en 2022. Cette habitude d'écoute interactive avec un environnement spatial familier détermine des choix de composition et constitue un cas d'énaction. Le traitement 4D est implémenté en Faust, ce qui semble améliorer la qualité du signal audionumérique. Afin de bénéficier de cette même qualité de signal pour le traitement 2D, j'implémente également en Faust[132] le domaine circulaire. Dans ce *live, le* domaine hypersphérique est, par contre, toujours toujours décodé avec l'objet fourni dans la bibliothèque *hoa v2.2*.

L'implémentation des traitements 2D et 4D en Faust intègre la composition des variables angulaires et hyperangulaires en faisant appel aux formes d'ondes présentes dans la bibliothèque *osc* de Faust. Ce pilotage dans l'espace sonore était jusqu'à présent externe aux traitements 2D et 4D. La synchronisation des variables de signal dépendait alors entièrement d'un système de métronomie sur la donnée ponctuelle qui contrôle les paramètres de traitement audionumérique. Faust permet de synchroniser tous les traitements parallèles : ce n'est donc plus la donnée ponctuelle qui est le métronome du *live* mais une forme d'onde périodique programmée en Faust. La période et la phase de cette forme d'onde sont les mêmes dans tous les traitements sur l'espace et l'hyperespace sonores, qui demeurent alors synchrones. Afin de prendre la fonction de métronome, la forme d'onde est discrétisée en données pour jouer les partitions, écrites sous forme de données. Les instruments jouent alors de manière synchrone avec leur boucle spatiale. La discrétisation de la donnée est moins régulière avec un métronome construit par une forme d'onde en comparaison avec un métronome construit par des données ponctuelles, mais cette irrégularité est infime et périodique : ce champ d'indétermination constitue un *groove* numérique. Se servir de cette indétermination constitue une méthode pour discrétiser un temps physique dont la continuité est une illusion produite par notre perception auditive. Notre perception auditive est bornée à environ 20 événements par seconde et 20000 variations par événement. Ses seuils interagissent avec notre temps cérébral à environ 120 battements par minute, ce qui nous permet d'entendre à la fois des modulations de rythme et de hauteur. Le jeu rythmique des instruments peut renforcer cette subtile

[132] Cet encodeur 2D m'a été généreusement procuré par Alain Bonardi, alors qu'*abc.lib 1.1* était encore en développement.

altération dans la perception auditive qui réagit au groove numérique, notamment grâce à cette échelle d'indétermination périodique dans la régularité du *tempo*.

9.9 « Previledge », juillet 2023

(Fichier audio : Previledge_4HP+.aif, orientations des haut-parleurs : 0°, 190°, 180°, 270°, sens anti-horaire)

Cet enregistrement est le premier où le système de relais entre les enregistreurs semble opérationnel et permet d'écouter le *live* dans son intégralité. Les effets de crêtes sont peu nombreux et sont causés par une manipulation maladroite ou excessive de certains traitements. La réussite de cet enregistrement valide une correction que j'espère pérenne après un dernier échec lors d'une fête estivale annuelle organisée par une communauté issue de plusieurs *sound-systems* : *laHP, NSX, Buissons Hurlants, et K-bal*. Il s'agissait d'un *live* en stéréophonie où je jouais en façade avec une table de mixage à ma disposition. En cherchant un mixage intelligible adapté à la salle, j'ai pu m'apercevoir que l'aplatissement de la profondeur du champ provoque l'annulation de phase entre les sons en provenance des canaux ambisoniques impairs, donc un silence pendant le fondu enchaîné. J'ai pour ce *live* utilisé le mode stéréophonique d'un nouveau type de décodeur ambisonique *abc.lib*.

Dans « Previledge », le domaine hypersphérique est décodé par l'objet *iBasicDecoder*, implémenté en Faust, et présent la bibliothèque *abc.lib v1.1*. L'amélioration du signal audionumérique apportée par ce décodeur est considérable et change radicalement la perception de l'espace sonore produit par les traitements 2D et 4D. La composition du *design* sonore des instruments et leur mixage semble devenir plus interactifs avec la boucle spatiale grâce à la manière dont la qualité du signal audionumérique restitue les composantes spatiales durant l'opération de décodage. Ce décodeur permet d'entendre clairement la différence entre la présence et l'absence de traitement hypersphérique 4D. Le traitement 4D semble réduire le champ diffus ; l'espace sonore paradoxal peut alors être ressenti comme moins immersif, mais plus directionnel qu'en l'absence de traitement.

Les composantes spatiales valorisées par le nouveau décodage me permettent un travail de composition plus poussé, d'une part sur la restitution par la spatialisation de l'énergie dansante du *kick*, d'autre part sur la restitution des énergies *acidcore* et *breakcore* par l'interaction de leurs autodéterminations instrumentales avec leurs boucles spatiales lentes.

Alors que le format stéréophonique transformait le fondu enchaîné en simple oscillation sur l'amplitude des instruments, le *live* en joué lors de la fête annuelle antérieure à l'enregistrement semble avoir touché un public plus large par la qualité de sa production.

Le travail de mixage, favorisé par la qualité de l'espace sonore décodé Faust, met en évidence le rôle interactif du compresseur avec la spatialisation. Le compresseur possède une enveloppe tout comme la synthèse instrumentale. Pour le *kick*, la fin de l'enveloppe des enveloppes de la synthèse interagit avec la fin de l'enveloppe du compresseur pendant que le fondu enchaîné traite l'espace à l'état de source ponctuelle dans chaque paire de sources. La courbure de la conjugaison CT allonge la durée où l'hyperangle est orienté vers l'état de source ponctuelle. La courbure de la conjugaison PT accélère pendant la fin de l'enveloppe. Les conjugaisons CT et PT mettent ainsi en valeur la fin de l'enveloppe du compresseur sur le *kick* et la caisse claire dans leur spatialisation. En intervenant avant la spatialisation, la compression devient un traitement sur les proportions de l'objet sonore afin de rendre sa dynamique plus homogène avant la spatialisation. L'homogénéité de la dynamique du *kick* assure un équilibre entre ses transitoires d'attaque et la fin de son enveloppe. Ses transitoires d'attaque interviennent dans le ralentissement de la courbure PT, quand la courbure CT s'oriente vers l'état de source ponctuelle, et à l'avant du *dance-floor*. La fin de son enveloppe s'étend pendant toute l'accélération déterminée par l'incurvation PT, jusqu'à ce que l'incurvation CT s'oriente vers l'état de champ diffus dans la profondeur du *dance-floor*. L'interaction entre la compression du *kick hardcore* et sa boucle spatiale est mise en évidence par l'opération de décodage implémentée en Faust. Cette interaction valorise certaines composantes spectrales comme composantes spatiales, particulièrement dans les fréquences basses, importantes au confort d'écoute.

Les filtres utilisés dans le travail de mixage sont également présents dans cette transformation. Le critère de confort d'écoute augmente avec la qualité de la restitution des énergies par la spatialisation. Les instruments qui véhiculent l'énergie *acidcore,* comme la *bassline* et le *lead,* doivent sonner comme des synthèses analogiques. Utilisé comme synthétiseur, le Virus TI permet d'émuler ce comportement analogique sur des instruments numériques, mais il ne joue pas dans ce *live* : c'est donc entre la synthèse d'instruments par modulation de fréquence, le mixage et la spatialisation que s'opère l'interaction qui peut produire un effet chronotrope.

Les filtres sonnent de manière plus interactive quand ils traitent un instrument dont la boucle spatiale est décodée en Faust. La qualité de l'espace composable permet de choisir dans les filtres les fréquences constantes du mixage d'instruments comme la *bassline*, le *lead* et les nappes. Leur effet neuro-perturbateur s'exerce souvent par la variabilité des fréquences de filtres résonnants mises en valeur par les filtres de mixage. Le système de synthèse instrumentale intègre un traitement par deux filtres parallèles qui sont ensuite mixés. Le premier filtre est un passe-bas, l'autre un filtre résonnant. Le rôle du premier est de valoriser la fréquence fondamentale jouée par l'instrument, dont le filtre résonnant dessine les variations continues qui portent l'énergie *acidcore*. Le mixage doit à la fois mettre en valeur la note fondamentale jouée par les instruments et la

variation du timbre. L'intervention des filtres dans le mixage d'instruments au jeu *acidcore* a pour objet d'équilibrer le caractère hétérogène de leur composantes spectrales en tant que composantes spatiales. Tous les instruments portent à leur manière l'énergie *acidcore* à différents niveaux dans la forme musicale. Leur singularité sonore contient donc cette part d'hétérogénéité que le travail de mixage doit conserver tout en rendant les dynamiques instrumentales assez homogènes pour que leur spatialisation interagisse musicalement avec elles.

Durant le *live*, certains traitements qui précédent la compression, peuvent entraîner de fortes hausses d'amplitude. En conséquence, la fin de l'enveloppe du compresseur peut entraîner une chute d'amplitude quand le pic cesse. Les compresseurs ne peuvent pas à la fois prendre en compte toute l'hétérogénéité du comportement de la forme d'onde quand un traitement provoque un pic d'amplitude et maintenir un niveau constant.

Dans « Previledge » les traitements autodéterminés sur les cymbales provoquent parfois cette baisse durable de l'amplitude pendant la compression. Dans leur ligne à retard, le taux de réinjection demeure autodéterminé quand l'instrument est muté. Le compresseur peut alors être amené à traiter une réinjection persistante sur un instrument qui ne joue plus. Quand les cymbales jouent à nouveau, leur entrée peut dès lors être sur-mixée ou sous-mixée selon la manière dont le compresseur a traité les réinjections sur les résidus de traitement granulaire des cymbales mutées. Le problème étant lié à la fin de l'enveloppe, certains mixages sont parfois enregistrés alors que la fin de l'enveloppe du compresseur traite un instrument à un niveau trop bas après un pic. Contrairement aux cymbales, dont les traitements auto-déterminés sont souvent granulaires, le caractère hétérogène des nappes est beaucoup plus étalé dans le temps. En cas de pic d'amplitude sur les nappes, je peux prendre beaucoup de temps à entendre que la réaction du compresseur les fait sonner au mauvais niveau, et valider entre-temps un mixage comportant ce genre d'erreur. Les nappes de « Previledge » sonnent souvent de manière sous-mixée.

Chaque boucle est séquencée pour différents instruments et différents mixages. Cette boucle peut changer à tout moment du *live* sur le premier temps de la phrase musicale. Cette transition discrète doit s'opérer entre des mixages assez homogènes pour éviter que la compression ne laisse entendre des artefacts causés par la transition discrète entre eux amplitudes trop distinctes. Or les transitions sont souvent précédées par des *breaks* pouvant contenir une somme abondante de traitements en interaction les uns avec les autres, et donc produire des pics d'amplitude qui déstabilisent les compresseurs juste avant la transition. Les paramètres du compresseur sont toujours automatisés dans le même ordre pour exclure toute interaction de la transition discrète d'amplitude avec un facteur aléatoire, et chaque compresseur traite toujours le même type d'instrument quelle que soit la boucle. Le seuil de compression doit être toujours proche de 0 dB pour éviter qu'un pic d'amplitude ne soit considéré comme seuil maximum d'amplitude par le compresseur, car, après un pic,

l'amplitude est jouée à un niveau plus bas qu'elle ne l'était avant lui, selon l'échelle déterminée par le pic d'amplitude dans le seuil de compression. Les énergies *breakcore* et *acidcore* véhiculées par les instruments de synthèse demandent un long travail d'homogénéisation par le mixage pour être restituées sous forme de boucles spatiales.

« Previledge » est le premier de mes enregistrements qui donne à entendre toutes les boucles composées depuis la programmation du nouvel environnement logiciel qui permet de composer les partitions, les instruments, le mixage et les traitements spatiaux dans un même *patch*.

Autres lives de la période 2023-2024

Le *live* « Mxodofee », enregistré quelques mois après, est consultable pour entendre l'évolution des choix de mixage où le confort d'écoute attendu de la part des basses fréquences n'est pas encore suffisant.

(Fichier audio : Mxodofee_4HP+.aif, orientations des haut-parleurs : 0°, 190°, 180°, 270°, sens anti-horaire)

Dans autre live, « Pwopifao », enregistré en avril 2024, une correction importante est apportée dans l'implémentation de la symétrie CT : sa courbure modérait de façon excessive les contributions de tous les canaux, le champ diffus s'entendait alors de manière trop lointaine. Cette correction améliore l'équilibre sonore entre l'état de source directionnelle et celui de champ diffus. Cette moindre différence dynamique pendant le fondu enchaîné fait sonner plus forte l'attaque du *kick* et améliore le confort d'écoute. Dans ce *live*, des variations de l'orientation de la boucle spatiale sur l'azimut sont parfois jouées en suivant l'angle indiqué par le *pitch-bend*, mais cet effet ne me satisfait pas dans son interaction avec la boucle spatiale courte du *kick*. Cet objet sonore semble perdre facilement son confort d'écoute quand il n'est pas joué dans le sens la profondeur.

(Fichier audio : Pwopifao_4HP+.aif, orientations des haut-parleurs : 0°, 190°, 180°, 270°, sens anti-horaire)

9.10 « Human Error », 20 juillet 2024

(Fichier audio : Human_Error8HP_faceA.aif, Human_Error8HP_faceB.aif, orientations des haut-parleurs : 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°, sens anti-horaire)

Ce *live* est enregistré en public à Paris, au Théâtre du temps, dans le cadre du festival « Human Error[133] ». Ce lieu est dédié aux concerts en ambisonie et dirigé par Michaël Sabbah, qui suit mes activités musicales depuis l'époque où je jouais dans le groupe *Plato2frui2mer*. Cette salle, bien qu'assez petite par rapport aux *dance-floors* sur lesquels j'ai l'habitude de jouer, est équipée d'un système de diffusion en 11.1. L'orientation des haut-parleurs épouse la forme trapézoïdale du plafond où ils sont suspendus au-dessus du public. Les quatre haut-parleurs frontaux sont plus gros

[133] https://www.theatredutemps.net/human-error

et peuvent se poser au sol pour que l'espace sonore puisse se jouer 3D, mais ils restent en ligne pendant ma prestation. Les récents objets de la bibliothèque *abc.lib* peuvent décoder le domaine circulaire ; je me concentre alors sur l'amélioration apportée par ces décodeurs à la qualité de la spatialisation pour une diffusion ambisonique en 2D : c'est toujours l'objet *ho.iBasicdecoder* que j'utilise dans ce *live* pour décoder le domaine hypersphérique. Il s'agit de mon troisième *live* en public joué en ambisonie depuis que j'utilise l'ambisonie d'ordre supérieur pour explorer les possibilités du domaine hypersphérique. Je dois cette fois m'adapter à un lieu doté d'un système de diffusion auquel je ne suis pas habitué, car j'avais joué sur une couronne octophonique régulière lors des deux précédents *lives* en public. Dans cette salle, les huit sorties de ma carte-son sont traitées par le logiciel SPAT qui simule les orientations de 8 haut-parleurs virtuels sur le système 11.1. Ces orientations virtuelles sont déterminées par une VBAP octophonique régulière.

J'ai remarqué pendant les balances d'importantes différences sonores avec ce que j'entendais en quadriphonie ou en octophonie, et que je ne suis pas parvenu à corriger avant de jouer. La correction aurait nécessité la mobilisation de toute l'équipe du Théâtre du temps sur un temps trop long, et je devais partager les temps de balance avec les autres artistes du festival « Human error ». Après avoir écouté l'enregistrement, j'ai décidé de m'intéresser au décodage en VBAP proposé dans la nouvelle bibliothèque *abc.lib* pour comprendre et corriger ces différences sonores. En comparant les résultats sonores et les observations du comportement des vecteurs d'énergie et de vélocité, j'ai constaté que le décodage du domaine hypersphérique par une VBAP quadriphonique régulière optimise la détermination de la vitesse et de la position des sources sonores, mais j'ai aussi constaté que cette détermination est plus incertaine en l'absence de traitement hypersphérique. Ce choix de décodeur, décisif dans la confirmation du rôle des harmoniques hypersphériques, est la conséquence de l'adaptation nécéssaire au terrain de jeu en *live*, potentiellement différent pour chaque *dance-floor* ambisonique, comme c'est le cas au Théâtre du temps.

9.11 « Ibaqefoi », 15 août 2025

(Fichier audio : Ibaqefoi_4HP+FaceA.aif, Ibaqefoi_4HP+FaceB.aif, orientations des haut-parleurs : 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°, sens anti-horaire)

Ce *live* est joué en public sur un système stéréophonique, mais il est enregistré en 2D et peut donc s'écouter en quadriphonie. Aucune spatialisation n'était audible pendant la prestation ; néanmoins son interaction avec la qualité du mixage fut conservée. Habituellement, quand je joue en quadriphonie, les quatre sorties de ma carte-son sont branchées sur quatre haut-parleurs. Dans ce *live*, c'est la sortie destinée à l'écoute au casque qui est branchée sur le système stéréophonique. Ce procédé est préférable au décodage stéréophonique, qui superpose les sources en opposition de

phase sans les différencier dans la profondeur de l'espace sonore, absente en stéréophonie. Cette superposition s'entend comme un silence périodique sur chaque instrument à des moments où ils devraient sonner. L'écoute par la sortie destinée au casque permet d'entendre chaque instrument sans cette opposition de phase.

L'enregistrement au format sphérique peut s'écouter avec un décodage quadriphonique régulier qui inclut la VBAP. Ce type de décodage met particulièrement en valeur le traitement hypersphérique dans l'optimisation des sources, dont la vitesse et la position sont déterminées en réduisant le principe d'incertitude de Heisenberg. Le traitement hypersphérique modère les ordres ambisoniques pairs et réduit alors la différence d'amplitude entre leur état silencieux et leur état audible pendant le fondu enchaîné. Cette réduction de la différence d'amplitude assure plus de continuité dans l'espace sonore oscillant périodiquement entre l'état de source ponctuelle et l'état de champ diffus.

Ce *live* est le premier qui laisse pleinement entendre l'apport du traitement hypersphérique quand il est décodé en VBAP quadriphonique. L'équilibre de l'espace sonore permet alors de composer la synthèse sonore et le mixage en produisant une meilleure qualité d'écoute. Pendant la prestation sur le système stéréophonique, la diffusion par la sortie destinée au casque conserve l'interaction entre le mixage et le traitement hypersphérique décodé en VBAP quadriphonique, ce qui permet au public de profiter de cette qualité d'écoute. Cette qualité d'écoute crée une meilleure interaction entre le jeu en *live* et les réactions du public et amène à mieux comprendre comment le faire danser plus longtemps. Ce *live* est également le premier où je réintroduis l'usage du synthétiseur Virus-TI, pour l'instant limité au rôle de contrôleur par ses potentiomètres qui permettent de traiter le son de manière continue, alors que les touches de la keytar traitent le son de manière plus discrète. L'équilibre entre ces deux types de jeu offre des moyens musicaux pour résister durablement à l'érosion de l'énergie dansante, notamment par des procédés neuro-perturbateurs issus des traitements continus.

Alors que *lead* était joué dans les *lives* précédents par une boucle spatiale indépendante des autres instruments, il échange désormais son rôle avec la cymbale qui était jouée dans la même boucle spatiale que la *bassline* et les nappes. Les cymbales ont désormais leur propre boucle spatiale, qui peut devenir un simple tour de l'azimut, sur simple pression d'une touche ou par automation. Par ce procédé, l'instrument se singularise dans l'espace sonore et véhicule un effet neuro-perturbateur en discrétisant par son jeu la continuité de son lent déplacement pendant lequel il peut s'affranchir de la symétrie des autres boucles spatiales. Cet instrument stimule l'énergie dansante de manière immédiate par son jeu rythmique. Quand il fait le tour de l'azimut, son asymétrie entre temporairement en contraste avec le caractère périodique des rythmes qu'il joue et contribue ainsi à produire un effet neuro-perturbateur depuis une énergie dansante. L'alternance entre les tours sur l'azimut et la boucle spatiale paradoxale est pilotée depuis la symétrie de parité. Quand l'espace

sonore est paradoxal, les *spins* des sources de même charge sont anti-parallèles et l'hyperangle oscille entre elles et les sources de charges opposées ; quand la cymbale fait le tour de l'azimut, les *spins* des sources sont, au contraire, parallèles et l'hyperangle est toujours orienté vers les sources de même charge.

Ce *live* a rassemblé sur le *dance-floor* un public plus large, plus jeune, et même plus extérieur à la communauté d'écoute de *free-party* que d'habitude. Le noyau dur de mon public est plutôt constitué de personnes très ouvertes aux musiques dans lesquelles l'expérimentation sonore compte plus que la qualité de production. L'amélioration de la qualité de production permet non seulement de conserver ce caractère expérimental, mais aussi de lui donner un rôle neuro-perturbateur plus résistant à l'érosion qui amenuise toujours l'énergie dansante, pourtant valorisée par la qualité de production. Ce *live* est le plus long que j'aie joué jusqu'à présent.

L'écoute de ces lives m'invite à une rétrospective sur l'évolution de mes travaux, notamment à travers le matériel de travail et la programmation de l'interface logicielle.

Les différences entendues entre les lives 2D quadriphoniques et octophoniques m'amènent à choisir un format quadriphonique avant-gauche-arrière-droite, qui remet en question mes premiers lives au format B, arrière-gauche/avant-gauche/avant-droite/arrière-droite.

Au départ prévu pour la *bassline*, l'espace sonore paradoxal ne traite le *kick* qu'à partir du moment où l'ambisonie d'ordre supérieur remplace le format B dans la spatialisation du live. La spatialisation du *kick* n'était au départ qu'un essai pour repousser les limites du traitement appliqué à la *bassline* quand la boucle spatiale est plus rapide : le Live@MSH est la conséquence de cet essai concluant.

Le choix entre la quadriphonie et l'octophonie pour le live 2D accompagne une recherche sur l'orientation du *kick* dans l'hyperespace, où s'esquisse la notion de symétrie, jusqu'à la généralisation des conjugaisons de charge/parité/temps dans les boucles spatiales de chaque instrument.

La qualité du signal audiophonique, meilleure avec Faust, permet une écoute plus fine qui s'exprime par davantage de soin apporté au mixage pour son rôle interactif avec la qualité du traitement spatial.

Le langage musical gagne en cohérence par la plus grande importance accordée aux traitements continus dans la résistance à l'érosion de l'énergie dansante. Ce choix musical m'amène à utiliser les potentiomètres de Virus TI en plus de la keytar et des pédaliers.

Après avoir écouté leur évolution pendant ces années de doctorat, je joue désormais mes lives avec la méthode que j'ai développée en commentant leur énergie dansante, ce qui me permet de prendre

du recul sur la structure du live et de choisir sur le long terme quand le son doit être transformé de manière discrète ou continue.

10 Le *dance-floor* ambisonique

La composition du *live* ambisonique par les espaces sonores paradoxaux réitère une transformation de l'espace sonore de la *free-party*, dans la continuité de celle qui se produit quand l'acoustique saturée du hangar explose et se répand en teknival. Cette réitération est une mise en abîme de la première transformation, et suit une mécanique de libération de l'énergie sonore dans l'espace. Sur un *dance-floor* classique, plus un mur d'enceintes est haut et large, plus sa puissance sonore peut assurer le confort d'écoute. Dans un *dance-floor* ambisonique, plus le dispositif de diffusion spatiale est vaste, plus il peut assurer le confort d'écoute. Dans sa forme symbolique, la culture de l'excès du volume sonore devient une culture de l'excès de la distance. En ambisonie, le son donne l'illusion et le désir de pouvoir aller plus loin que la portée du système de diffusion ne le permet. Le son semble provenir de plus loin que le dispositif ambisonique, donnant l'illusion que le *dance-floor* est plus vaste qu'il ne l'est réellement.

10.1 Le jeu de scène sur un *dance-floor* ambisonique

Contrairement aux claviers sur pied sur lesquels j'ai joué de 2001 à 2017, la keytar est un instrument qui, pour être joué, se porte à la manière d'une guitare : l'espace de cet instrument est mobile et se déplace avec l'espace de l'instrumentiste. Un clavier sur pied est un espace qui impose son immobilité à l'instrumentiste : sa position, face au système de diffusion stéréophonique, définit un confort d'écoute, mais aussi un confort visuel pour le public si l'instrumentiste joue sur scène, ce qui est rare en *free-party*.

Les *dj's* jouent derrière le mur d'enceintes, sur un retour, et synchronisent leur disques à l'aide d'écouteurs : ils ne partagent pas l'espace sonore du *dance-floor*, et leurs disques ont déjà reçu des traitements de mixage et de *mastering* qui assurent un confort d'écoute quel que soit le système de diffusion.

Pour les *livers,* il est beaucoup plus confortable de jouer sur le *dance-floor*, de partager le même espace sonore que le public, et d'assurer le confort d'écoute en ré-égalisant les niveaux en temps réel. Cette position de jeu peut, par contre, être moins confortable pour les *dj's* qui mixent des disques en vinyle, car les têtes de lecture des platines peuvent capter le son diffusé et créer des effets de Larsen. Le *mix* sur platines virtuelles supprime cette contrainte. De ce point de vue, le *mix*

sur des platines virtuelles s'apparente au *live*, et remet en question les disciplines instrumentales du *mix* et du *live*.

Partager le même espace sonore que le public est indispensable quand le *live* est ambisonique. La position immobile du *live*, face à un système de diffusion stéréophonique, assure un confort d'écoute quand les sources sonores sont immobiles, ou quand leurs traitements spatiaux se limitent à la stéréophonie; La transformation de la forme symbolique de la tekno par sa spatialisation ambisonique n'oblige pas les *livers* à rester immobiles dans leur position d'écoute et leur ouvre un espace d'interaction avec le son : les *livers* peuvent alors préférer jouer avec des instruments qui se prêtent à la mobilité. En jouant avec une keytar, je peux varier mon orientation sur le *dance-floor* pour suivre une source sonore, mais toujours depuis le *sweet-spot*, qui est le nouveau critère de confort d'écoute pour le *live* en ambisonie. La keytar peut être alimentée par piles, et la transmission des données midi passer par le *bluetooth* : il est ainsi possible pour l'instrumentiste de se mouvoir librement dans l'espace tout en jouant, sans s'emmêler dans les câbles. Je joue néanmoins, pour l'instant, avec mes instruments branchés : je ne me produis pas encore assez souvent en public pour me servir régulièrement de connexions sans fil.

C'est aussi ma formation instrumentale qui m'a toujours fait choisir des instruments à clavier pour contrôler mon *live*. En tant que jeune pianiste, j'étais d'ailleurs fasciné par Franz Liszt, qui était nomade et composait en voyageant de concert en concert, comme les *travelers* de *free-party*. Ce choix de vie prend une valeur morphophorique dans la composition musicale qui module en permanence à la recherche de nouveaux mondes sonores. Dans un *live* ambisonique, les sons cessent d'être statiques, sédentaires, et deviennent extatiques[134], nomades. L'espace sonore paradoxal crée l'illusion d'un déplacement continu, incessant, en marche avant, dans le sens d'une route dessinée par les sources sonores. Les *travelers* vivent soit sur la route, soit sur le *dance-floor* : la mise en mouvement des sons dans la boucle spatiale fait symboliquement fusionner le *dance-floor* et la route, comme s'il était possible de voyager sans débrancher les haut-parleurs.

Sur les *dance-floors* ambisoniques, je joue toujours proche du *sweet-spot* pour mon confort d'écoute ; je laisse toutefois la place la plus centrale du *sweet-spot* libre pour le public. Si je choisis de jouer face à la route dessinée par les sources sonores, je peux faire intervenir les traitements spatiaux dans les conditions où j'ai composé, mais le public peut choisir de tourner le dos à la route pour me regarder jouer et entendre l'image ambisonique à l'envers. Quand je joue en tournant le dos à l'orientation de la boucle spatiale sur l'azimut, le public peut me voir jouer tout en entendant la spatialisation dans le sens où elle a été composée, tandis que l'image spatiale est inversée pour

[134] J'oppose cet adjectif à « statique »: l'extase *sort de la stase*. Le *live* en ambisonie explore l'espace sonore, hors de la monophonie qui demeure, elle, dans le même état spatial.

moi. Je peux à loisir changer de position sur le *dance-floor* grâce à la mobilité que permet le jeu sur la keytar, sans toutefois m'éloigner trop du *sweet-spot* et du reste des machines.

Souvent, le *live* est visuellement hermétique quand il n'est pas pensé pour la scène, mais son caractère ésotérique peut devenir un spectacle : un groupe pionnier de la scène électronique comme *Kraftwerk* met en scène cette sobriété un peu austère pendant ses concerts. Jean-Michel Jarre a contribué à populariser la musique électronique par le spectacle visuel, quitte à recourir parfois à des artifices comme la harpe laser, mais aussi en jouant sur des keytars. Dans le *live science-core*, le jeu sur la keytar permet d'autres approches musicales que celle de la hauteur de note. Jouer avec des traitements clairement audibles et musicalement efficaces rend également caduc tout artifice de scène. L'expérience de la scène du groupe de rock progressif Emerson Lake and Palmer peut être prise en compte dans le choix du matériel de live. jeu au clavier sur scène peut être prise en compte. La configuration de leurs synthétiseurs est à la fois spectaculaire et inouïe pour le public, mais elle requiert des moyens considérables, surtout quand le groupe part en tournée. Le matériel utilisé par le groupe en studio est difficile à transporter d'un concert à l'autre, car il est non seulement volumineux, mais le branchement entre les synthèses analogiques modulaires peut évoluer entre chaque prestation : il ne peut être totalement débranché et rebranché entre chaque concert. Mon choix dans le matériel de *live* doit permettre la facilité de transport et d'installation pour une prestation où c'est l'efficacité des traitements qui rend spectaculaire le geste d'exécution.

10.2 Du confort d'écoute du *live* en ambisonie au langage musical *« science-core »*

L'intervention d'un ingénieur du son pendant la diffusion d'un *live* ambisonique peut servir à assurer l'intelligibilité des sons dans un contexte acoustique potentiellement contraignant, mais les éventuels traitements qu'il utilise ne doivent prendre en aucun cas le rôle de post-production : en effet, cela détruirait la composition spatiale du *live*. Le mixage du *live* doit donc intervenir avant la spatialisation. Seul le traitement hypersphérique du son intervient après la spatialisation, pour contribuer au *design* sonore et au mixage.

Le *live* ambisonique que j'ai analysé dans mon mémoire de Master 2 ne contenait pas d'espaces sonores paradoxaux, et je ne composais pas l'espace de la *bassline*, ni du *kick*. Je n'imaginais pas comment composer l'espace pour les fréquences graves de ces instruments. Je les diffusais donc de manière uniforme sur tous les haut-parleurs du dispositif ambisonique, ce qui m'exposait à un phénomène de hors-phase quand les fréquences basses convergent vers le *sweet-spot* : comme l'instabilité dans la diffusion des fréquences graves nuit au confort d'écoute, il convient donc de composer l'espace sonore de chaque instrument. Dans les boucles spatiales, le rôle de la conjugaison CPT est précisément de composer l'annulation de phase sur un son joué sur deux

enceintes qui se font face, et les harmoniques hypersphériques y jouent un rôle d'optimisation par la modération des décompositions spatiales paires.

La saturation acoustique détruit également la composition de l'espace : l'acoustique des hangars dans lesquels se déroulent beaucoup de *free-parties* sature facilement, ce phénomène est fréquent car le nombre de kilowatts est un critère important pour le confort d'écoute. Cette saturation acoustique devient une forme d'esthétique qui influence à son tour le traitement des réverbérations dans les lives et les disques. J'ai d'ailleurs eu le privilège de vivre, à la fin des années 90, les *free-parties* du *sound-system Heretiks*, dont l'esthétique musicale orientée vers la saturation acoustique a influencé mon *live* dans le choix de sonorités bruyantes. Le langage musical *science-core* reprend le *design* sonore des *kicks hardcore* : la richesse de son spectre sonore, entendue dans la durée une enveloppe longue, se prête à la spatialisation. Le *science-core* est également influencé par l'a*cidcore*, surtout celui joué par les *lives* du *sound-system Spiral Tribe,* dont les procédés dansants et neuro-perturbateurs sont particulièrement créatifs et efficaces.
La pratique du *live* en ambisonie est plus envisageable en plein air, afin que la puissance des amplificateurs soit poussée à un niveau satisfaisant : pour un bon confort d'écoute, les fréquences graves et médium doivent sonner assez fort pour être perceptibles dans l'ensemble du corps ; les fréquences aiguës doivent être brillantes sans devenir trop stridentes, même dans les sonorités les plus bruyantes. Le son doit pouvoir donner l'illusion d'être assourdissant sans jamais nuire à notre système auditif, et nous permettre de résister au sentiment d'érosion pour danser plus longtemps.

La pratique du *live* ambisonique dans les hangars est envisageable en repensant la composition de l'espace du *live* selon des environnements acoustiques à forte réverbération. La pièce d'Anne Sèdes *Electrified out of the coma,* composée pour être jouée dans ce type d'environnement, peut inspirer les *livers* qui veulent tenter ce genre d'expériences : la plus sèche des impulsions obtenues par une forme d'onde en dent de scie devient une détonation fulgurante quand elle est diffusée dans le lieu adéquat. Un camarade *liver*[135] a assisté à cette pièce et a reconnu comme moi des codes musicaux que nous identifions, avec notre oreille habituée à la *free-party,* comme de la *tekno-hardcore* et *speedcore* : nous entendons dans cette pièce une forte stimulation dansante et il est d'ailleurs difficile pour nous de l'écouter assis tant elle ressemble au point culminant d'un *live hardcore*. Diffusé dans un espace à forte réverbération, un *kick* tekno tend à devenir un *kick hardcore*. L'acoustique des lieux de diffusion a vraisemblablement contribué à ce que la forme symbolique de la *tekno* devienne la forme symbolique *tekno-hardcore* au fil du temps : le *kick hardcore* contient

[135] Monsieur Geoffrey Pons, *alias Pawa*, avec qui je jouais en *free-party* dans le *live* collectif *Plato2frui2mer*

dans son *design* l'espace sonore saturé des hangars tout comme le *kick science-core* contient dans son *design* l'espace sonore paradoxal des teknivals.
Un changement dans la forme symbolique du *kick* s'opère avec l'introduction de la profondeur comme nouvelle dimension de composition spatiale du son. Afin que soit retrouvé un confort d'écoute par des repères spatio-temporels, le repère azimutal est choisi pour que l'impact du *kick* tombe face à l'auditoire. Peu de différences sont alors audibles avec un *kick* de type tekno qui se résume à une attaque sèche. Mais dans le cas d'un *kick* plus *hardcore*, l'attaque est suivie d'un long relâchement dans les fréquences graves sur lesquelles des fréquences plus hautes, enrichissant le spectre, rendent le *kick* apte à recevoir des traitements continus de filtres et de *flanger*, dans le cas d'un *kick spiralien,* mais aussi des traitements spatiaux. La boucle spatiale courte met en valeur ce long relâchement qui suit l'impact des *kicks hardcore*. Ce relâchement est spatialisé par deux sources aux *spins* anti-parallèles qui enveloppent le public depuis la zone d'impact et s'en vont derrière lui : c'est par cette mise en relief du moment où l'enveloppe du *kick* se relâche que s'opère un changement dans la forme symbolique du *kick*. La composition spatiale du *kick* intègre son *design* sonore et le détermine par interaction avec les dynamiques de son enveloppe : le *kick* composé avec l'espace sonore paradoxal prend désormais le nom de *kick science-core*.

Jouer sur un dispositif ambisonique en public reste une expérience rare. J'ai d'abord joué quatre fois en public sur une quadriphonie assez peu régulière : les modèles de haut-parleurs étaient différents entre l'arrière et l'avant, et ne convergeaient pas vers le *sweet-spot*, mais l'illusion spatiale était tout de même assez efficace pour faire réagir le public, représentant largement la communauté de *free-party*. Je ne composais pas encore l'espace en ambisonie d'ordre supérieur, et les tentatives de composition d'espaces sonores paradoxaux par duplication du format B ne donnaient pas le résultat sonore espéré.
Dans les locaux de la MSH Paris-Nord et de l'Université Paris 8, j'ai joué deux fois en octophonie régulière. La composition de l'auditoire représentait assez peu la communauté de *free-party,* mais le caractère populaire de la tekno et l'expérimentation de l'ambisonie éveillent facilement l'intérêt du public.
J'ai joué au Théâtre du temps sur un système en 11.1, où l'octophonie régulière peut être simulée par un SPAT. Ce système utilise une VBAP circulaire, ce qui altère le résultat sonore des sources qui ne sont pas traitées avec les harmoniques hypersphériques: toutes les sources semblent traitées de manière hypersphérique quand la VBAP intervient dans leur diffusion. La disparition de certaines composantes spatiales et la présence d'un puissant caisson de basse impliquent un travail de brillance dans le mixage pour exploiter le confort d'écoute de l'acoustique du Théâtre du temps. Cette fois, le public était plutôt constitué de la communauté d'écoute habituée à la tekno de club,

beaucoup plus sobre dans ses procédés neuro-perturbateurs. Ce public est particulièrement sensible à la qualité de la production sonore, particulièrement dans l'attaque du *kick*. L'effet dansant du *kick* tekno mixé en studio avec du matériel toujours plus sophistiqué touche un public plus large que la *free-party*. La qualité de la production du *live* ambisonique est donc importante pour rendre le public sensible à l'interaction entre les traitements spatiaux et les formes d'énergie.

La différence de qualité de production du *kick* est le principal critère de confort d'écoute qui différencie la tekno de club et celle de *free-party*. Il n'y a pourtant pas de frontière infranchissable ni entre les deux communautés, ni entre les moyens musicaux qui orientent la tekno vers l'écoute en club ou en *free-party*. La tekno de type *trance* utilise comme la tekno de club un format de *kick* précis, produit en studio selon les critères reconnus comme dansants par la communauté d'écoute. Le *kick* tekno est bref, sec, mais ses fréquences graves ont une longueur d'onde importante. Les traitements sur l'amplitude comme la compression mettent en valeur ces fréquences qui ne sont pas partagées par les autres instruments, à l'exception de la *bassline* qui peut contenir certaines fréquences communes avec le *kick*. La compression *side-chain* a souvent pour fonction d'équilibrer les deux instruments.

La richesse du *kick hardcore* en fait un matériau plus singulier que le *kick* tekno : la qualité de la production du *kick hardcore* dépendant plus de son rôle expressif dans un contexte musical également plus singulier que celui de la tekno habituellement diffusée en *night-club*. L'expressivité de la *tekno-hardcore* appelle des émotions plus profondes, voire extérieures au contexte festif[136]. Le style *frenchcore* transforme les dynamiques des *kicks hardcore*, selon d'autres critères de production qui définissent musicalement le *frenchcore* comme un style où l'énergie dansante dépend abondamment de la qualité de la production propre aux dynamiques de ce *kick*.

Le nombre de battements par minute est corrélé aux choix de production des différents styles de tekno. Plus le *tempo* est lent, plus les fréquences graves du *kick* ont le temps d'être traitées pour donner au *kick* son caractère expressif. Cette différence dans la pulsation est un marqueur culturel : d'un côté le *kick* tekno, lent, bénéficiant d'importants moyens de production, et destiné à être joué en club ; de l'autre le *kick hardcore*, rapide, auto-produit, et destiné à être joué en *free-party*. La *high-tek trance*, la *tribe* et le *frenchcore* sont des styles au *tempo* plus rapide que la tekno de club. Ces styles apparaissent plus tardivement dans l'histoire de la tekno, et leur qualité de production

---

136 Des séries de disques comme *Rouge de colère (*de Shrui Kahn*), Peur bleue 12* (de Tekno's 23), *Acid orange 005* (de R-Zac) évoquent par leur titre toute une gamme d'émotions musicalement exprimées par la tekno de *free-party*. Certaines expressions musicales peuvent difficilement trouver leur place en *night-club* : le label *hardcore* engagé *Neverforget Records* édite des disques dédiés à la mémoire de la Shoah, ce qui remet en question le caractère exclusivement festif des conditions d'écoute. Je me permets ici de raconter à ce sujet un moment que j'ai vécu durant l'été 1999, lors du teknival de l'éclipse. Le premier *sound-system* prêt à jouer, D-Pha-Zé, inaugura le teknival avec un *mix hardcore* aux rythmes très mécaniques, dont les disques étaient choisis, synchronisés, et enchaînés avec une minutie froide, efficace, comme l'aurait fait une machine bien programmée : en l'écoutant, j'avais alors le sentiment étrange que nous dansions comme des soldats marchant comme un seul homme d'un pas parfaitement synchronisé. Pris dans cet imaginaire guerrier, je regardais le Dj au crâne rasé, très concentré sur ses platines, qui n'esquissait aucun sourire et nous dévisageait parfois d'un oeil inquisiteur, comme un militaire gradé qui surveille ses troupes. À cet instant, une personne que je ne connais pas, et qui est censée ignorer totalement ce à quoi je pense, se tourne vers moi et me dit en souriant : « ça prête à confusion, tu trouves pas? ».

bénéficie de moyens plus modernes que le *hardcore old-school*. La modernisation des moyens de production accentue la qualité de production en tant que procédé dansant reconnu par les nouvelles générations de la communauté d'écoute de *free-party*. Cette qualité de production doit se retrouver quand le *kick* est spatialisé afin de conserver son énergie dansante et l'immédiateté de la satisfaction qu'il procure chez la communauté d'écoute. Suivre cette condition de départ dans le matériau sonore doit permettre de faire apparaître pendant le temps du *live* n'importe quelle forme musicale en toute liberté, surtout celle de composer l'espace.

La composition de l'espace sonore du *live* pose les problèmes d'intelligibilité du discours spatial, confrontée à une esthétique bruyante, à la saturation acoustique, et à une culture de l'excès caractéristiques de la musique en *free-party*. En son sein même, la communauté d'écoute se scinde en plusieurs catégories pour qui l'équilibre entre le confort d'écoute et la culture de l'excès peut varier. La popularité du *live*, la qualité de son énergie dansante, changent selon les personnes présentes sur le *dance-floor*.

La communauté d'écoute *speedcore* apprécie les pulsations jugées trop rapides pour danser par la plupart des teufeurs. La vitesse comme matériau musical prend également des propriétés morphophoriques singulières, avec notamment une complexification de la carrure[137], où les phrases musicales ne durent pas forcément huit temps; l'esthétique *speedcore* peut alors tendre vers le *breakcore,* prenant toutes les libertés avec la pulsation régulière pour mieux y revenir. Cette communauté d'écoute se montre particulièrement sensible à l'énergie que produisent l'expérimentation musicale et la remise en cause des codes musicaux, donc parfois au détriment des critères de confort d'écoute. La qualité de l'auto-production de disques et de *lives* dépend des moyens dont disposent les musiciens, de leur savoir-faire, et de leurs intentions dans la composition musicale. Cette qualité peut être considérée comme limitée quand on la compare avec la tekno produite par les grands circuits de distribution, mais la musique est libérée de toute contrainte liée à son éventuel rendement économique, qui déterminerait à l'avance sa popularité. La musique auto-produite peut à loisir tenter de nouvelles expériences dans le matériau musical, la forme qu'il porte, et redéfinir de nouveaux critères dans la qualité de production. Les critères d'écoute en *free-party* sont proches du *punk,* ceux de la communauté d'écoute *speedcore* rappellent parfois le *black-metal*[138]. La culture de l'excès est constituée d'illusions causées par des artifices sonores. Plus l'équilibre sonore est pris en compte, plus l'illusion d'excès est efficace. Elle devient aliénante dans la composition si l'on oublie qu'elle est une illusion à composer. La représentation de distance sous

---

137 Je pense précisément à Neurocore, *La relativité du sommeil paradoxal*. à écouter sur https://www.youtube.com/watch?v=yn7Cc0l2SyI

138 On peut penser à Dj La Peste, *Drugstore core-boy*, à écouter sur https://www.youtube.com/watch?v=xbhj1UkrKN4&t=569s. Le sur-mixage des nappes par rapport au *kick* peut rappeler l'album *In the Nightside Eclipse,* du groupe Emperor.

forme de rayon constitue une méthode qui peut limiter la composition de l'espace sonore à l'illusion qu'elle doit produire. Heureusement, cette illusion peut être créée de différentes manières :

> « Dans le cas de la critique de la représentation, au contraire, ce qui est mis en avant c'est le fait que les représentations n'ont pas de réalité intrinsèque : elles ne sont que des outils qui pointent vers une émergence contextuelle, correspondant à une *situation,* ou, comme dit Varela, à un couplage structurel[139]. »

Formaliser un espace sonore où la taille du rayon devient nulle, donc l'amplitude infinie, empêche la source de se rapprocher jusqu'au centre de l'espace sonore. Si distance est calculée comme un rayon, la source se rapproche à l'infini. Non seulement le procédé est destructeur, mais il est également paradoxal : les proportions de l'objet tendent vers l'infini au fur et à mesure qu'il s'approche. Ce changement dans les proportions de la source interagit avec sa distance qui devrait pouvoir, au contraire, se composer sans changer les proportions de l'objet. Dans notre environnement, un son constant peut être lointain au point d'être silencieux à nos oreilles ; cependant il sonne dans son environnement proche. Il est possible de conserver son volume sonore même quand il s'approche jusqu'au centre de l'espace sonore : sa distance n'est plus composée comme un rayon, mais comme un hyperangle, c'est-à-dire comme une orientation dans l'hyperespace. Deux sources aux coordonnées azimutales symétriques donnent l'illusion d'occuper aussi le centre de l'espace sonore. Elles procurent l'illusion s'approcher jusqu'au centre de l'espace sonore quand l'hyperangle s'oriente vers elles. Inversement, elles créent l'illusion de s'éloigner depuis le centre de l'espace sonore quand l'hyperangle s'oriente vers celles d'un autre domaine sphérique.

La culture de l'excès du volume sonore provient paradoxalement d'une grande finesse du traitement des dynamiques dans la production du son[140]. La relation entre la dynamique et la variation de distance peut être travaillée grâce aux compresseurs, en amont de la spatialisation, pour obtenir un objet sonore entendu comme excessif : j'entends par là bruyamment expressif. L'illusion de distance peut être ensuite recomposée, après la spatialisation, comme orientation de l'hyperangle.

---

[139] Vaggione, Horacio, « Composition musicale : représentations, granularités, émergences » *cit.* , Critique de la représentation, p. 161.

[140] Je considère de ce point de vue les choix musicaux d'Atari Teenage Riot, ou de Nine Inch Nails (dans des albums comme *Pretty Hate Machine* ou *The Downward Spiral*), comme des cas d'école.

10.3 Formes symboliques spatiales portées sur le *dance-floor* par le matériau sonore du *kick*.

La symétrie des espaces paradoxaux est restreinte aux traitements hyperangulaires sur l'azimut par les contraintes du système de diffusion ambisonique. Si la boucle spatiale est orientée selon un angle d'élévation, sa provenance ou sa destination sous jouées sous le *dance-floor*, où il est difficile, voire impossible, d'installer des haut-parleurs. Dans un avenir probablement lointain, où la gravité pourrait être modifiée pour permettre de danser en apesanteur, les traitements hyperangulaires orientés vers le zénith deviendraient pleinement audibles. Cependant, la disparition de la gravité remet en question la notion même de *dance-floor*, cadre de réalisation et d'écoute du *live* : que reste t-il de la danse sans la piste où l'on danse ? La notion de gravité, ou au moins la perception que nous en avons, pourrait être porteuse de forme, notamment dans la synthèse du *kick*.
Le terme *Hard-floor* peut d'ailleurs être utilisé pour désigner une forme musicale où une pulsation assez lente (de 120 à 150 bpm) est marquée par un *kick* « lourd », qui tend vers le *hardcore*[141]. En *free-party*, les murs d'enceintes sont érigés en superposant les haut-parleurs, les plus graves en bas, les plus aigus en haut : cette disposition implique une spatialisation dans le sens de la hauteur (Fig. 10.3.1).



Fig. 10.3.1 Un *sound-system* stéréophonique : si le nombre d'étages varie selon les colonnes, les haut-parleurs sont toujours disposés du plus grave, au sol, vers le plus aigu, vers le ciel. Image consultée sur https://unitewfree.wordpress.com/about/ Ce site contient beaucoup d'informations sur l'histoire des *free-parties*.

[141] Je pense précisément au titre *Denogginizer*, de Converter pour les étapes d'évolution du *kick*.

Le *kick* peut être synthétisé par une chute de fréquence et s'entend habituellement comme un rapide déplacement vers le bas, comme s'il chutait autant en fréquence qu'en altitude. Le composer en 2D consiste à le faire tomber de l'avant vers l'arrière : « Les murs renversés deviennent des ponts »[142]. Même diffusé sur un système monophonique, le *kick* semble tomber, s'écraser au sol, se répandre sur le *dance-floor*. La notion de gravité peut donc facilement être associée au *kick*. Vivre dans un monde où s'exerce la gravité est un facteur important dans la construction de nos repères culturels. Considérons que la forme symbolique du *kick* pourrait exprimer la conséquence de la chute d'un corps sous l'attraction d'une interaction fondamentale : la gravité. La pratique du *live* en ambisonie implique un approfondissement de cette forme symbolique, qu'elle fait évoluer du stade quasi monophonique à l'ambisonie grâce aux harmoniques hypersphériques ; cette méthode est utilisée pour étudier une autre force fondamentale, l'interaction nucléaire forte. Cette interaction semble pouvoir se substituer à la gravité pour courber avec réalisme un environnement sonore où la chute des corps est musicalement composée.

Une source en mouvement peut être composée comme un corps qui chute indéfiniment sous l'attraction d'une interaction fondamentale. Il y a, de ce point de vue, encore une continuité entre mon utilisation des espaces paradoxaux et celle des hauteurs paradoxales par J.-C. Risset pour illustrer la chute de la première bombe A dans *Suite from little boy*. Le *kick*, est à la fois la forme symbolique de la chute d'un corps et une source composée comme un corps en chute. Dans l'enveloppe d'un *kick hardcore*, c'est surtout la fin de l'enveloppe qui est audible en tant que source en mouvement. L'attaque est la cause de cette fin de l'enveloppe : la relation de l'enveloppe et de la symbolique du *kick* dans le temps cyclique de l'espace sonore paradoxal crée une boucle où le *kick* est la cause et la conséquence de sa propre chute. C'est l'interaction entre le temps cyclique et le temps linéaire qui est paradoxale, et c'est ce paradoxe que nous entendons dans les espaces sonores paradoxaux.

La masse courbe l'espace-temps : sans cette courbure, les particules suivraient un mouvement inertiel, rectiligne, à vitesse constante, dans le sens indiqué par leur *spin*. Dans les harmoniques hypersphériques, le centre de masse est l'équivalent d'un centre de gravité, mais appliqué à l'étude de l'interaction nucléaire forte. Les harmoniques sphériques décomposent, eux, les orbitales du nuage électronique où s'exerce l'interaction électromagnétique. Composer un espace sonore selon les propriétés de ces modèles atomiques et subatomiques trouve une pertinence dans la mesure où le principe d'incertitude de Heisenberg s'applique à la fois à notre environnement et à notre perception quand cet environnement est sonore. Nous ne percevons pourtant pas l'échelle atomique de notre

[142] Davis, Angela, *J'étais devenue un symbole à détruire*, entretien à *L'Express*, 08-03-2013,

environnement. L'observation des particules détermine leur vitesse et leur position, la composition de l'espace sonore détermine une vitesse et une position pour chaque source. L'écoute de cette source implique la perception de sa vitesse et de sa position. Plus l'espace sonore tend vers le champ diffus, moins la vitesse et la position peuvent être déterminées. Dans la décomposition sphérique de l'espace sonore, l'état de source ponctuelle est composé par l'interaction du canal omnidirectionnel avec les canaux de premier ordre. Plus l'ordre augmente, plus l'espace sonore est indéterminé et entendu comme champ diffus. La qualité opératoire des traitements spatiaux en ambisonie d'ordre supérieur repose sur la relation entre le champ et la source. Le traitement hypersphérique simule l'interaction entre deux forces fondamentales : l'interaction nucléaire forte et l'électromagnétisme. L'interaction nucléaire forte traite certains canaux d'ordre supérieur (les harmoniques sphériques locaux) d'après des mouvements virtuels immobilisés dans le canal omnidirectionnel. Ces mouvements virtuels sont reportés dans le domaine sphérique et le modulent comme l'interaction nucléaire forte du noyau atomique interagit avec l'électromagnétisme du nuage électronique. L'écriture des espaces sonores paradoxaux s'appuie sur cette relation établie entre le canal central et les canaux directionnels par le traitement hypersphérique, pour faire évoluer l'espace sonore de manière continue entre l'état de source ponctuelle et l'état de champ diffus, avec une conservation de la direction, notamment par la modération des harmoniques pairs. Ce traitement hypersphérique contribue ainsi à ordonner l'espace sonore sous forme d'une boucle périodique. Son caractère prévisible renforce la stimulation dansante de certains événements sonores comme le *kick*. Son caractère continu renforce la stimulation neuro-perturbatrice qui s'oppose à l'érosion de l'énergie dansante.

CONCLUSION

CONCLUSION

La production de *lives* en 3D est encore à l'état de chantier dans cette thèse, et peu de *sound-systems* pourraient d'ailleurs disposer des structures nécessaires pour orienter des haut-parleurs selon un angle d'élévation. L'espace sonore paradoxal a été imaginé comme un traitement sur l'espace à l'état de source directionnelle ; il peut être réalisé au format B, sur une octophonie cubique. Cette disposition permet d'orienter les haut-parleurs pour que la source sonore sonne au-dessus ou en dessous du *dance-floor*, mais ces haut-parleurs sont également orientés dans le sens de l'azimut. Il n'est pas possible de les orienter pleinement vers le haut : les haut-parleurs seraient alors situés sous le *dance-floor,* qui interfèrerait alors avec leur champ de diffusion. En 3D, le fondu enchaîné entre les deux sources pourrait s'opérer dans la dimension de la hauteur, mais si deux haut-parleurs ne peuvent pas être orientés pleinement dans le sens de la hauteur, ils ne se font pas face quand ils jouent en opposition de phase.

En 2D, l'orientation de la quadriphonie en losange permet au enceintes de se faire face pour que l'opposition de phase se produise de manière frontale, symétrique à une droite perpendiculaire à l'orientation de la boucle spatiale sur l'azimut. Mais en 3D octophonique cubique, l'opposition de phase s'opère par la convergence des ondes opposées vers le *sweet-spot*, comme au format B en 2D où la quadriphonie est orientée en carré. Quand l'ambisonie d'ordre supérieure est décodée pour une quadriphonie en losange ou un octophonie cubique, l'opposition de phase s'opère entre des composantes spatiales impaires. La duplication de la méthode de spatialisation double le nombre de composantes spatiales impaires : pendant l'opposition de phase, l'espace sonore est donc décomposé de manière paire, par la duplication des composantes spatiales impaires.

L'optimisation de l'espace sonore comme source ponctuelle permet d'entendre le son se déplacer de manière continue entre les haut-parleurs ; or, le fondu enchaîné transforme les sources directionnelles en champ diffus. L'opposition de phase a lieu dans ce contexte de champ diffus qui est composable en ambisonie d'ordre supérieur, où le traitement hypersphérique met en valeur les composantes spatiales impaires en modérant plus longtemps les contributions des canaux pairs pendant le fondu enchaîné. Le traitement hypersphérique modère également les composantes impaires dans les ordres ambisoniques supérieurs, ce qui permet au champ diffus de conserver le caractère directionnel des sources qui le composent. L'opposition de phase frontale des composantes impaires contribue davantage à la conservation de ce caractère directionnel que leur opposition de phase par convergence vers le sweet-spot. L'octophonie cubique ne permet pas aux composantes impaires de s'opposer de manière frontale, ni sur l'azimut, ni sur le zénith. Le traitement hypersphérique 6D devrait cependant déterminer suffisamment la position et la vitesse des sources, pour conserver leur caractère directionnel pendant le fondu enchaîné. Au moment où

j'écris, il n'est possible d'apprécier l'optimisation apportée par le traitement hypersphérique 6D qu'en ayant recours au décodeur 3D de la bibliothèque *hoa* v2.2 : les angles de ce décodeur peuvent être paramétrés de manière irrégulière pour correspondre à une octophonie cubique. Les nouveaux décodeurs 3D de la bibliothèque abc.lib sortie pendant l'été 2025 sont des décodeurs réguliers. Le décodage irrégulier est un champ de recherche dans lequel je pourrais m'investir à l'avenir afin de faire avancer mes recherches sur l'hyperespaces sonore 6D.
L'opposition de phase, quand elle est frontale ou convergente, est toujours composée de manière symétrique, mais dans les boucles spatiales 3D, l'hyperangle pourrait interpoler des sources asymétriques, l'une sur azimut l'autre au zénith.

Un certain nombre de nouvelles approches de l'espace sonore se sont accumulées pendant ces années de recherche pour que je parvienne à composer les espaces sonores paradoxaux comme des boucles spatiales interactives avec les rythmes de la tekno. La recherche sur la vitesse du fondu enchaîné m'a conduit à implémenter les harmoniques hypersphériques dans ma maquette logicielle. J'ai d'abord cherché à trouver un rôle au fondu enchaîné comme dimension supérieure à l'espace 3D, d'après les coordonnées cartésiennes de l'hypersphère : chaque coordonnée correspond à une dimension, et cette figure géométrique semble pouvoir en contenir une infinité. J'ai donc commencé par comparer ces coordonnées à celles du traitement de chaque dimension en ambisonie d'ordre supérieur.
Cette comparaison m'a conduit à m'intéresser aux travaux d'A.V. Meremianin, car il construit son raisonnement en partant d'une hypersphère au nombre de dimensions indéterminé, exprimées en coordonnées cartésiennes. J'ai pu consulter son article, où il propose plusieurs types d'harmoniques hypersphériques, dont les formules algébriques contiennent les mêmes opérations qu'en ambisonie d'ordre supérieur, exceptée une : l'hyperangle. J'ai entrepris alors de remplacer les opérations contenues en ambisonie d'ordre supérieur par les opérations analogues présentes dans les harmoniques hypersphériques, tout en y ajoutant l'hyperangle. Afin de simplifier leur implémentation j'ai remplacé l'une des opérations présentes, le polynôme de Jacobi, par celui de Gegenbauer. Je n'ai pas alors entendu de différence notable entre les deux traitements polynomiaux. J'ai intégré le polynôme de Jacobi jusqu'au second degré, mais il existe un degré n du polynôme que je peux intégrer au domaine hypersphérique afin d'écouter comment sonne le champ diffus quand les degrés n du polynôme traitent la valeur λ.
Le domaine hypersphérique est limité au cinquième ordre en 4D, et au troisième ordre en 6D. Cette limite est imposée par la présence de factorielles dans la normalisation 4D et de doubles factorielles dans la normalisation 6D ; ces opérations sont difficiles à calculer pour la puissance des processeurs actuels. Ces limites de l'ordre ambisonique sont les mêmes dans les décodeurs 2D et 3D de la

bibliothèque *abc.lib 2.2* avec lesquels les deux traitements hypersphériques sont donc compatibles. Ces limites ne sont pas indépassables, d'une part parce que les processeurs deviennent plus puissants, d'autre part parce que certaines méthodes d'encodage simplifient les opérations ; dès la première version d'*abc.lib*, l'opération d'encodage 3D remplace la racine carrée des produits par le produit de racines carrées : le résultat est le même, mais l'opération est plus facile à exécuter pour le processeur. Je pourrais donc, à l'avenir, chercher comment augmenter l'ordre ambisonique en 4D et 6D par la simplification du calcul des factorielles et des double factorielles.

Le contexte dans lequel sont utilisés les harmoniques hypersphériques m'a amené à déduire que le fondu enchaîné doit s'opérer depuis l'hyperangle. J'ai d'abord eu l'opportunité d'étudier le problème posé par les systèmes quantiques à 3 corps et de comprendre en quoi les harmoniques hypersphériques le résolvent. Je me suis à cette occasion familiarisé avec le modèle standard où sont répertoriées les différentes particules connues. J'en ai conclu que le centre de masse du système à 3 corps constitue un *sweet-spot* virtuel, à partir duquel l'orientation de l'hyperangle se substitue à la notion de distance dans l'écriture de la source.

Ma composition de l'hyperespace sonore s'est depuis inspirée de certaines propriétés des particules, pour écrire les boucles spatiales comme un ensemble de symétries dans l'espace, liées à un temps dont la périodicité est exprimée comme symétrie temporelle et interagit en tant que telle avec les autres symétries. J'ai fait correspondre l'opposition de phase à la symétrie de charge, positive pour la première source, négative pour l'autre, et j'ai mis en relation la position des sources avec la symétrie de parité. J'ai donc d'abord considéré les boucles spatiales comme des conjugaisons charge/parité.

Le fondu enchaîné interpole deux sources à la fois opposées sur l'azimut et par leur amplitude, selon une vitesse modulable depuis l'hyperangle, que j'ai par la suite associée à la symétrie temporelle des particules. Ma composition des boucles spatiales s'est alors inspirée de la conjugaison charge/parité/temps pour déterminer le comportement des sources. J'ai ainsi pu imaginer comme modèle une forme de cristal temporel, dans lequel les particules semblent évoluer selon une boucle spatiale, comme dans les espaces sonores paradoxaux.

La recherche sur les espaces sonores paradoxaux a abouti à leur formalisation en boucles spatiales, composées de sources symétriques dans l'espace et le temps. Le jeu périodique des boucles spatiales s'inspire du temps cyclique des boucles instrumentales qui composent la tekno. Le cristal temporel est un modèle qui a permis d'appliquer ce temps cyclique à la spatialisation, par la formalisation d'une symétrie temporelle en interaction avec des symétries spatiales. La configuration du cristal temporel a été imaginée comme contexte atomique dans lequel les harmoniques hypersphériques traitent un système à 3 corps qui reproduit l'interaction entre une

position d'écoute mobile et les dynamiques de deux sources, en les simulant dans hyperespace sonore virtuel. Le fonctionnement du cristal temporel imaginé illustre les symétries à l'oeuvre dans ce système à 3 corps. Sa transformation périodique entre l'état de matière et d'anti-matière constitue un mécanisme spatio-temporel que j'ai pu reprendre pour faire varier la position d'écoute simulée entre les deux sources sonores, et qui a alors rendu possible la composition d'espaces sonores paradoxaux sous forme de boucles spatiales. Ces boucles spatiales ont alors pu être jouées en *live* non seulement en s'intégrant au langage musical tekno, mais aussi en renforçant sa résistance au sentiment d'érosion, car le *live* se joue et s'écoute longtemps en *free-party* : cette longue durée doit comprendre une spatialisation constante des sons du *live* afin qu'il contribue à résister au sentiment d'érosion.

La portée interdisciplinaire du champ de recherche exploré dans cette thèse a permis de répondre à des questions spécifiques posées par le *live* en *free-party* et les possibilités d'y traiter l'espace sonore avec plusieurs apports et emprunts entre sciences et arts interagissant avec le sonore et le musical.

L'apport des sciences cognitives dans la perception du temps musical m'a permis de comprendre comment la forme périodique de la musique tekno interagit avec un temps cyclique présent dans le fonctionnement du cerveau d'une personne qui danse en *free-party*. Cette forme périodique a pu alors s'appliquer aussi dans la spatialisation du son pour interagir avec ce temps cyclique cérébral.

L'apport des travaux en psychoacoustique dans la perception de l'espace sonore m'a confirmé la nécessité de dupliquer la méthode de spatialisation des sons, donc le nombre de dimensions de l'espace sonore audionumérique, afin de conserver le fonctionnement périodique des sons paradoxaux de J.-C. Risset dans les espaces sonores paradoxaux : le paradoxe d'un son qui monte ou descend infiniment en fréquence devient le paradoxe d'un son qui s'éloigne ou s'approche infiniment.

L'apport de la recherche nucléaire sur l'interaction entre plusieurs ondes sphériques m'a amené à comprendre comment superposer les dimensions spatiales de plusieurs espaces sonores en un seul hyperespace virtuel, où l'illusion de distance est désormais composée comme une variation de la position et de la vitesse des sons, entre un état déterminé proche et un état indéterminé lointain.

Le degré de pré-audibilité, décrit par G. Grisey comme chair du temps, m'a permis d'expliquer comment le phénomène d'écho peut se confondre en teknival avec les dynamiques sonores émises par les *sound-systems* et comment le déplacement de la position d'écoute altère l'interaction entendue entre les sources sonores : deux pulsations égales jouées ou réfléchies selon différentes provenances peuvent s'entendre de manière synchrone ou déphasée selon la position d'écoute. Il devient alors possible d'imaginer ce qu'entend une personne qui se déplace toujours vers l'avant entre deux *sound-systems* situés devant et derrière elle quand ils jouent exactement la même

musique. Le degré de pré-audibilité entre la position d'écoute et ces deux *sound-systems* peut alors se composer comme une variation continue sur deux distances : une source s'éloigne au fur et à mesure que l'autre se rapproche. Comme les musiques jouées par les deux *sound-systems* sont exactement les mêmes, il m'est possible de les intervertir sans que cela ne s'entende depuis la position d'écoute : la source sonore qui s'est approchée par l'avant s'éloigne par l'arrière, pendant que la source qui s'est éloignée par l'arrière s'approche par l'avant, le degré de variabilité de la position d'écoute peut alors se composer en se répétant en boucle. Cette relation spatiale entre deux musiques identiques peut se composer pour chaque paire d'instruments dont le jeu est le même dans les deux musiques. L'espace sonore peut dès lors différemment être composé pour chaque instrument, selon la qualité du sentiment exprimé par son type de jeu.

Pour composer l'espace sonore de chaque instrument, il m'a semblé primordial de considérer chaque affect reproduit par les styles musicaux en *free-party*. Leurs noms peuvent évoquer l'état du coeur, ou *core,* qui peut être « brisé » en *breakcore*, être « dur comme pierre » en *hardcore*, ou « battre vite » en *speedcore* : ces images ne sont que des suggestions de l'expressivité de chaque style, qui peut tout à fait être autrement ressenti, mais qui est toujours ressenti intensément par la personne qui danse. Prendre en compte ce rôle central, nucléaire, des sentiments reproduits en musique m'a ensuite permis d'imaginer comment les reproduire par la spatialisation du son.

Reproduire chaque affect consiste à s'inspirer de l'action des neuro-transmetteurs grâce auxquels une personne éprouve ces sentiments. La personne qui danse en *free-party* éprouve un sentiment qui la pousse à danser davantage. Ce sentiment semble trop singulier pour qu'elle parvienne à se l'expliquer, et le communiquer par ses propres mots. Cette altération de la perception est aussi incertaine à décrire qu'à atteindre, même en s'administrant toutes sortes de molécules psychotropes. Cette altération peut d'ailleurs s'opérer sans ces agents chimiques exogènes, à la simple condition que la musique soit appréciée par la personne qui danse. Cette condition est musicale; elle peut déterminer l'action de psychotropes exogènes, mais ne peut en revanche pas être directement induite par leur action. Cette altération de la perception peut donc se produire par l'interaction entre la musique et une chimie possiblement endogène de la perception. L'action prévue et souhaitée à travers une molécule psychotrope peut se reproduire musicalement par son temps d'action, immédiat ou émergent, et le rôle qu'elle joue pour s'opposer soit au manque, soit à l'excès d'informations. La reproduction de cette chimie en musique cherche à jouer un rôle agoniste par des moyens que je qualifie de chronotropes, d'après le sens que G. Grisey semble donner à ce terme : un temps musical qui rend la qualité du sentiment résistante à l'érosion causée par le manque ou l'excès d'information. Cette approche du temps m'a semblé pertinente pour expliquer la longue durée pendant laquelle le public peut danser sur un *live* : j'ai donc entrepris de l'appliquer à l'espace sonore pour en faire en moyen musical chronotrope. Le caractère périodique des boucles musicales

jouées en *free-party* est un procédé chronotrope auquel la spatialisation doit contribuer. Par cette répétition en boucle, la spatialisation résiste à l'excès d'information, soit à court terme, soit à long terme, selon le type d'instrument spatialisé. Ces deux échelles de durées ont permis à la spatialisation de s'adapter au temps d'érosion porté par la forme musicale, et d'établir quelques codes musicaux précis à partir de ces traitements spatiaux.

Quand le *kick* régulier intervient, il satisfait immédiatement le désir de danser, la spatialisation suit la période rapide de la pulsation jouée par l'instrument, mais cette satisfaction s'érode assez vite, par paliers, tous les 16 temps. Elle est procurée par les endorphines dont l'action s'érode sour l'effet modérateur de la sérotonine, qui transforme la satisfaction de danser en désir de danser d'avantage. Un sentiment de manque contrarie la satisfaction de manière émergente, suivant la continuité de l'action de la sérotonine, mais cette émergence s'approche musicalement de manière discrète, par périodes de 16 pulsations régulières.

Ces 16 pulsations sont regroupées en 4 mesures de 4 temps, dont la métrique est rendue audible par la caisse claire, qui joue régulièrement sur les temps faibles. Elle intervient deux fois moins souvent que le *kick*, sa boucle spatiale dure donc deux fois plus longtemps. Pourtant le temps d'érosion est le même pour les deux instruments spatialisés, puisque les points de repères musicaux sont déterminés pour chaque instrument par la répétition de 4 mesures de 4 temps. C'est le manque d'information sonore qui érode par paliers la satisfaction de danser.

Il m'est possible d'introduire des variations rythmiques pour résister à ce manque d'information. Des décompositions plus rapides que la pulsation interviennent dans des rythmes parfois plus complexes, et se distinguent alors également du jeu régulier par le ralentissement du déplacement de la source sonore dans une période plus longue pour la boucle spatiale. Ce traitement intervient comme un compte à rebours plus ou moins long, qui annonce le retour de la pulsation régulière. Ce compte à rebours peut être régulièrement décomposé en strettes ou par des rythmes plus complexes. La décomposition en strettes résiste au manque d'information sonore en la répétant plus rapidement. Ce procédé reproduit l'action de plusieurs neurotransmetteurs. Une plus haute fréquence de discrétisation du temps permet de résister à la sensation d'ennui en reproduisant l'action de la noradrénaline, qui doit maintenir la vigilance à la moindre variation sonore selon une fréquence supérieure à la pulsation régulière.

Mais l'érosion est rapide avec ce type de procédé. Par ce caractère répétitif du jeu en strettes, la fréquence du manque d'information augmente avec la discrétisation du temps. Si cette strette est jouée pendant une longue durée, elle reproduit la sensation de manque par laquelle la satisfaction de danser laisse place au désir de danser davantage: la sérotonine modère progressivement l'action de l'endorphine au profit de celle de la dopamine. Le jeu en strettes est joué par une source sonore plus lente. Cette lenteur, en contraste avec la décomposition plus rapide, reproduit la continuité de

l'érosion par le seul traitement spatial, alors que le jeu instrumental la reproduit de manière discrétisée. Le même jeu en strette peut reproduire deux sentiments opposés selon la taille de la boucle spatiale. Si elle est lente elle reproduit le désir de danser qui augmente selon un compte à rebours. Mais si elle aussi rapide que la valeur de décomposition de la strette, elle transforme la décomposition de la pulsation en une nouvelle pulsation très rapide, qui satisfait immédiatement l'envie de danser dans une forme musicale devenue *speedcore*.

La continuité valorisée par la lenteur des boucles spatiales transforme les valeurs entières du temps discrétisé pendant le compte à rebours en valeurs décimales. Si l'instrument spatialisé joue des rythmes plus complexes, il résiste cette fois au manque d'information, car la noradrénaline doit permettre de rester attentif à un temps musical moins prévisible que le jeu en strette. La fin du compte à rebours annonce alors le retour à la satisfaction de danser en résistant à l'excès d'information produit par le rythme complexe spatialisé par une source directionnelle au déplacement lent. Dans un rythme complexe, des événements sonores courts et imprévisibles sont chacun entendus selon une provenance différente, ce qui entretien l'attention du public sur le changement de repères sonores spatio-temporels.

La profusion d'informations sonores spatialisées dans la lenteur du déplacement des sources reproduit une lenteur de l'érosion vers le manque d'information. Si la profusion d'informations sonore augmente immédiatement, comme c'est le cas avec les traitements granulaires, le long terme d'érosion porté par la lenteur de la source ne peut pas, en revanche, résister à l'érosion vers l'autre pôle d'ennui produit par cet excès d'information. Traiter alors les grains par des sources rapides au point d'être entendues comme des champs diffus peut renforcer la variété de leur sonorités, et accélérer temps d'érosion, dans le but de réexposer le *kick* régulier le plus vite possible.

Quand la lenteur de la boucle spatiale traite une moindre profusion sonore, notamment les traitements continus sur le spectre de sons relativement harmonieux, elle maintient une relative vigilance du public à l'égard des transformations sonores constantes, mais dont le caractère imprévisible perdure sur un temps long, comme pour reproduire le temps long de l'action modératrice de la sérotonine. Cette boucle spatiale lente traite des instruments comme la *bassline*, le *lead*, et les nappes. Elle se superpose aux boucles spatiales du *kick* et de la caisse claire et résiste à leur manque d'information pendant qu'elles résistent à son excès d'information.

Les différentes méthodes de spatialisation sur les sons paradoxaux de J.-C. Risset ont permis de déterminer les conditions qui rendent possible la composition d'espaces sonores paradoxaux, jusqu'à aboutir à l'idée d'hyperespace sonore.

Le paradoxe contenu dans les sons composés par Risset est étudié en psychoacoustique pour mettre en évidence le principe selon lequel les deux fréquences différentes d'une octave s'entendent

comme fusionnées dans un seul spectre. Or, ces différentes composantes spectrales doivent s'entendre selon deux provenances différentes pour que ce paradoxe puisse s'appliquer à l'espace sonore.

La méthode stéréophonique a mis pour moi en évidence la nécessité de traiter en opposition de phase les deux canaux droite et gauche, afin de dissocier les composantes spatiales sur un même spectre. Cette opposition de phase permet de déplacer la source sonore soit de gauche à droite, soit de droite à gauche, et de faire correspondre cette direction la variation suivie par les fréquences du paradoxe sonore, toujours vers l'aigu ou vers le grave. La méthode stéréophonique a également mis en avant la nécessité de traiter les deux sources sonores par le même fondu enchaîné qui interpole les fréquences des sons paradoxaux.

La méthode quadriphonique au format B a rendu évidente la nécessité de dupliquer la méthode de spatialisation. Le fondu enchaîné interpole les deux espaces sonores issus de cette duplication, et module les dimensions du premier espace selon les dimensions du second, sans pouvoir se rattacher à aucune de leurs dimensions. Ce fondu enchaîné répond pourtant à une mesure angulaire, mais séparée de l'azimut et du zénith. Alors que le format B permet de composer l'espace sonore sous forme de source directionnelle, le fondu enchaîné laisse entendre le même son en deux états spatiaux superposés. Il s'agit d'un champ diffus qu'il m'a semblé alors possible de composer en modulant la vitesse du fondu enchaîné.

La méthode de l'ambisonie d'ordre supérieur a donc rendu possible la composition de l'espace sonore paradoxal comme source ponctuelle, mais aussi comme champ diffus. Le fondu enchaîné peut interpoler ces deux états de l'espace sonore, simultanément présents grâce à la duplication de la méthode de spatialisation, appliquée cette fois en ambisonie d'ordre supérieur. L'ambisonie d'ordre supérieur ne peut toutefois être optimisée que pour composer soit la source, soit le champ : il est alors apparu nécéssaire de chercher une méthode d'optimisation afin d'interpoler les deux états.

Grâce à la méthode des harmoniques hypersphériques, j'ai pu interpoler les deux états d'après la courbure du fondu enchaîné, par son accentuation dans les ordres ambisoniques supérieurs qui décomposent le champ diffus. Les harmoniques pairs disparaissent par opposition de phase pendant l'état de champ, et sont modérés à l'état de source par une forme d'optimisation contenu dans les harmoniques hypersphériques. Le traitement hypersphérique a eu pour effet de déterminer ainsi une forme de continuité entre les deux états de l'espace sonore. Les canaux d'ordre supérieur sont toutefois encore plus modérés qu'avec l'optimisation *inPhase*, au point de se rapprocher du format B. L'optimisation issue du traitement 4D m'a donc semblé tout de même plus orientée vers la composition de sources ponctuelles que de champs diffus.

En recherche nucléaire, la méthode des harmoniques hypersphériques permet d'identifier les quarks d'après leur quantité de mouvement : il faut donc pouvoir connaître leur vitesse et leur position malgré le principe d'incertitude de Heisenberg. En *live*, cette réduction est audible car elle détermine simultanément la vitesse et la position des sources, particulièrement quand le domaine hypersphérique est décodé par une opération qui inclut la VBAP, une autre méthode spatialisation du son comme source directionnelle.
Le choix de décoder en VBAP quadriphonique régulière un domaine hypersphérique 4D me permet de fixer désormais un équilibre sonore dans les boucles spatiales qui traitent les instruments. C'est avec une oreille habituée à cet équilibre de l'espace sonore où les décompositions paires sont modérées que je synthétise et mixe chaque instrument. Le confort d'écoute progresse considérablement entre le premier et le dernier enregistrement que je donne à écouter dans cette thèse, mais également la qualité de jeu. La réflexion sur les manières de reproduire l'action des neurotransmetteurs pour contrebalancer les deux pôles d'ennuis m'aide également à opérer de meilleurs choix dans les procédés musicaux que je fais intervenir pendant le *live*, notamment par le recours aux nombreux contrôleurs continus du Virus-TI qui me permettent de tendre de manière infiniment lente vers le manque d'information alors que je peux au contraire en produire immédiatement à l'excès depuis les touches de la keytar.

Décoder le domaine hypersphérique intégral en 4D ou 6D implique des constantes hyperangulaires qui déterminent l'orientation de haut-parleurs virtuels répartis selon les angles d'un hyper-polyèdre régulier. Puisque dans le décodage du domaine hypersphérique les angles 3D et l'hyperangle sont constants, l'implémentation de la VBAP pourrait poser la question de sa relation avec l'hyperangle. L'hyperangle interpole un hypervecteur 4D ou 6D constitué d'une paire de vecteurs. Une VBAP qui déterminerait les constantes de l'hyperangle deviendrait une *Hyper Vector Based Amplitude Panning*. Une simple HVBAP hypercubique pourrait être obtenue par la duplication d'une VBAP cubique ; encore faut-il comprendre comment déterminer les constantes de l'hyperangle pour vraiment parler de HVBAP : 6 rotations sont possibles entre les 6 faces des des 2 cubes qui constitue l'hypercube. C'est pour l'instant avec ces seuls éléments que je peux m'aventurer dans ce champ de recherche, dans des perspectives futures.
Un autre champ de recherche reste à explorer dans le domaine hypersphérique où l'hypervecteur pourrait être constitué de vecteurs différents par leur nombre de dimensions. Ces modèles d'harmoniques hypersphériques sont proposés par A.V. Meremianin dans son étude de la matière exotique où la multitude de systèmes à plus de 2 corps requiert plusieurs façons de paramétrer les harmoniques hypersphériques. Le domaine hypersphérique 4D peut ainsi être constitué d'un vecteur 3D et d'un vecteur 1D : l'hyperangle interpole alors un espace 3D avec un espace stéréophonique. Il

existe un domaine hypersphérique 5D où l'hyperangle interpole un domaine sphérique et un domaine circulaire. Il existe aussi un domaine 6D où 3 domaines circulaires sont interpolés par 2 hyperangles. Chacun de ces 3 domaines circulaires pourrait être décodé en 2D, sur des couronnes composées de différents nombres de haut-parleurs, et disposées l'une au-dessus de l'autre. L'un des deux hyperangles pourraient se substituer à l'angle d'élévation en interpolant les 3 espaces circulaires. Cette perspective est une autre option pour produire des *lives* en 3D.
L'hyperespace sonore est donc encore vaste à explorer dans une quête de distorsions spatio-temporelles audibles. Cet espace-temps virtuel est lui-même composable de plusieurs manières. La forme en boucle spatiale des espaces sonores paradoxaux est pensée dans le cadre du *live* en *free-party*, mais il est possible d'imaginer de nouvelles sonorités issues de la synthèse hyperspatiale.

Disposer de moyens efficaces pour traiter l'espace sonore m'a donné l'occasion, lors de quelques prestations, de faire découvrir la pratique de l'ambisonie au public et à d'autres *livers*. Réussir à faire de la spatialisation un procédé chronotrope a, entre autres, pour dessein de créer le désir de renouveler l'expérience d'écouter des *lives* ambisoniques. Rendre populaire le *live* ambisonique m'amène à jouer plus souvent, pour le rendre encore plus populaire.
Je souhaite également partager cette pratique avec d'autres *livers*. Je compte mettre à jour mes codes en *open source* afin que d'autres *livers* puissent les comprendre et les utiliser. Cette thèse peut, à ce sujet, être consultée par les *livers* qui s'intéressent à la musicalité que la spatialisation du son peut apporter à leur *live*. J'ignore évidemment si les espaces sonores paradoxaux peuvent faire école, et je souhaite d'ailleurs découvrir des *livers* qui me fassent entendre d'autres traitements de l'espace sonore (comme R-zac dans *Immersive live session mix*) ; néanmoins, je pense que la boucle spatiale est une forme d'écriture pertinente car elle est composée en relation avec le caractère périodique de la forme musicale du *live*.
Il y a sans doute d'autres phénomènes psycho-acoustiques possibles à entendre en teknival que les espaces sonores paradoxaux. L'écoute active de ces phénomènes peut donner des idées à d'autres *livers*. Pour que ces phénomènes deviennent audibles, les *sound-systems* doivent pouvoir décider du lieu où ils s'installent, et même pouvoir se concerter collectivement pour expérimenter des dispositions nouvelles, favorables à l'émergence de phénomènes comme les espaces sonores paradoxaux: lors de mon premier *live* en public[143], plusieurs dizaines de *sound-systems* étaient répartis en suivant deux cercles, l'un à l'intérieur de l'autre. Cette disposition a produit beaucoup de

[143] Le 1er Mai 2001, au teknival de Marigny, dans la Marne, j'ai joué sur le *sound-system*, P4-anti-6TM.

cas de désorientation[144], et mis en évidence l'importance de repères spatio-temporels, autant visuels que sonores, afin que l'on parvienne à s'orienter en teknival. Les normes imposées par les autorités extérieures à la *free-party,* quand les teknivals sont légalement organisés, peuvent au contraire devenir nuisibles à la libre disposition de l'espace sonore, et restreindre ainsi le nombre et la variété des phénomènes psycho-acoustiques possibles, comme les espaces sonores paradoxaux. La spatialisation du son en *live* peut symboliser, voire exprimer cette liberté des *sound-systems* à disposer de l'espace sonore.

[144] J'ai moi-même mis plusieurs heures à retrouver mon chemin après avoir joué : j'ai alors fait plusieurs fois le tour du teknival dans un temps qui m'a semblé d'autant plus long que je devais transporter mes instruments. J'ai croisé pendant ce périple beaucoup d'autres personnes perdues : cet effet de désorientation était systémique.

ANNEXES

ANNEXES

A.1 IMPLÉMENTATION DES HARMONIQUES HYPERSPHÉRIQUES 4D.

```
import("stdfaust.lib");
import("maths.lib");
import("basics.lib");
import("signals.lib");

//signal;
x= _,_;
// Ambisonic Order;
encoder4D (N, x, Beta) = par(i, 2*N+1, x: y(order(i), Beta))
with {
    order(index) = int((index+1)/2);
// Hyperspherical Harmonics;
        y (m, Beta) = (_*((sin(Beta))^(1, abs(m):max))+_*((cos(Beta))^(1, abs(m):max)))* k(l,m) *
abs(c(Clambda, m, Betazhs))
    with {
        l= abs(m);
// Zonal Spherical Harmonics;
                Clambda = Clambdacalcul (int((l-abs(m)*(-1)-abs(m))*0.5) == float((l-abs(m)*(-1)-
abs(m))*0.5)&(int((l-abs(m)*(-1)-abs(m))*0.5)>=0))
                            with {
                                Clambdacalcul(0) = 0;
                                Clambdacalcul(1) = (int(l-abs(m)*(-1)-abs(m))*0.5);
                                };
// Gegenbauer polynomial;
            c(Clambda, m, Betazhs) = ccalcul ((Clambda == 1)+(Clambda >= 2)*2, Clambda, m,
Betazhs)
        with {
            ccalcul(0, Clambda, m, Betazhs)= 1;
            ccalcul(1, Clambda, m, Betazhs)= 2 * abs(m) * Betazhs;
                ccalcul(2, Clambda, m, Betazhs)= (1/Clambda) * (2*Betazhs * (Clambda+abs(m)-1) *
c(Clambda-1, abs(m),Betazhs) - (Clambda+2*abs(m)-2) * c(Clambda-2, abs(m),Betazhs));
            };
// 4Dn normalisation;
        k(l, m) = kcalcul((m != 0), l, m)
                            with {
                                kcalcul(0, l, m) = 1;
                                 kcalcul(1, l, m) = ((((l+1)*fact(lambda)*(fact(lambda+abs(m)+abs(m))))/
(fact(2*(lambda+abs(m)))*fact(lambda+abs(m))))^(1/2))*(1/ma.PI)
                            with {
// Zonal Spherical Harmonics;
                            fact(0) = 1;
                                fact(n) = n * fact(n-1);
                                        lambda = lambdacalcul (int((l-abs(m)*(-1)-abs(m))*0.5) == float((l-
abs(m)*(-1)-abs(m))*0.5)&(int((l-abs(m)*(-1)-abs(m))*0.5)>=0))
                            with {
                                lambdacalcul(0) = 0;
                                lambdacalcul(1) = int((l-abs(m)*(-1)-abs(m))*0.5);
```

```
                        };
                    };
                };
            };
        };
//Gegenbauer to Jacobi equivalence;
gegtojac4D (N, x, Betazhs) = par(i, 2*N+1, x* y(order(i), Betazhs))
with {
    order(index) = int((index+1)/2);
    y (m, Betazhs) = polyeq(m, Betazhs)
    with {
        polyeq(m, Betazhs) = polyeqcalcul ((abs(m) == 2), m, Betazhs)
        with {
            polyeqcalcul(0,  m, Betazhs)= 1;
            polyeqcalcul(s,  m, Betazhs)=((((abs(Betazhs))*((1, abs(m):max)+1)*(-4))-1+2*(abs(m)))/
(((1, abs(m):max)^2)+2))*(-1)*CtoJ+(1-CtoJ);
            };
        };
    };
process = encoder4D (5, x, Beta):gegtojac4D (5, _, Betazhs);
```

A.1.1 Contrôle de la symétrie parité/temps dans l'encodage des harmoniques hypersphériques 4D

```
f = hslider("freq", 0, -100, 100, 0.001);
p = hslider("phase", 0, 0, 1, 0.001);
ip = hslider("interphase", 0, 0, 1, 0.001):si.smoo;
a = hslider("azimut", 0, 0, 2*ma.PI, 0.001);
as = hslider("speed", 1, 1, 65024, 1);
s = hslider("spin", 1, 0, 1, 1);
PT = hslider("PT", 1, 0.5, 2, 0.001);
fade= hslider("fade", 0, 0, 1, 0.001);
lfo = hslider("lfo", 0, -1, 1, 0.001);
wt = hslider("wt", 0, -1, 1, 0.001);
az = (os.phasor(wt, lfo))*2*ma.PI+a;

clip(l, h, _) = max(l, min(h, _));
z = (os.phasor(1, f), p, 1) : (+, _) : fmod;
ex  =  ((((abs(s-z)*as)+ip*((1-fade)*0.5+0.5))%1)*(fade+1)<:(_%1)*((clip(1,2,_)-1)*(((1/
(fade:clip(0.001,1,_)))^2)-1)+1));
infsup= ex*2-1<:(1-abs(clip(-1,0,_)))^PT-(1-(clip(0,1,_)))^PT;
theta = (infsup+1)*ma.PI+az;
x= _;
process = _<:encoder(5-1, x, theta), x*sin(5*theta), x*cos(5*theta),theta;
```

En 2D, le paramètre *PT* (en bleu) contrôle la courbure dans la variation de vitesse de l'angle azimutal *Theta*, notée comme symétrie PT. Dans la ligne de code *infsup, v* est la valeur de l'exposant qui traite les variations angulaires avec plus ou moins d'*overdrive*.

A.1.2 Contrôle de la symétrie charge/temps dans l'encodage de l'hyperangle Beta en 4D

```
f = hslider("freq", 0, -100, 100, 0.001);
p = hslider("phase", 0, 0, 1, 0.001);
speed= hslider("speed", 1, 0, 65024, 1);
fade = hslider("fade", 0, 0, 1, 0.001);
CT = hslider("CT", 0.5, 0.5, 2, 0.001);
ip = hslider("interphase", 0, 0, 1, 0.001):si.smoo;
hyperangle = hslider("hyperangle", 0, 0, 1, 0.001);
hyperphase = hslider("hyperphase", -1, -1, 1, 0.001);
x1= fade*0.5;
x2= (1-fade)*0.5+0.5;
fun = bpf.start(0,0) : bpf.point(x1,fade) : bpf.point(x2,1-fade) : bpf.end(1,1);
z = ((os.phasor(1, f), p, 1) : (+, _) : fmod:fun:_);
clip(l, h, _) = max(l, min(h, _));
Beta=((sin(((z*speed+ip)%1)*2*ma.PI)<:((((1-abs(clip(-1,  0,_)))^(CT))-((1-clip(0,  1,_))^(CT)))/
2+0.5)*hyperangle+hyperphase)+1);
Betazhs = ((1-Beta)*2-1);
```

En 4D, le paramètre *CT* (en bleu) contrôle la courbure dans la variation de vitesse de l'hyperangle *Beta*, notée comme symétrie CT. Dans la ligne de code *Beta* (en violet), *CT* est l'exposant qui traite les variations hyperangulaires avec plus ou moins d'*overdrive*.

A.1.3 Orientation de la boucle spatiale sur l'azimut

```
f = hslider("freq", 0, -100, 100, 0.001);
p = hslider("phase", 0, 0, 1, 0.001);
ip = hslider("interphase", 0, 0, 1, 0.001):si.smoo;
a = hslider("azimut", 0, 0, 2*ma.PI, 0.001);
as = hslider("speed", 1, 1, 65024, 1);
s = hslider("spin", 1, 0, 1, 1);
PT = hslider("PT", 1, 0.5, 2, 0.001);
fade= hslider("fade", 0, 0, 1, 0.001);
lfo = hslider("lfo", 0, -1, 1, 0.001);
wt = hslider("wt", 0, -1, 1, 0.001);
az = (os.phasor(wt, lfo))*2*ma.PI+a;
clip(l, h, _) = max(l, min(h, _));
z = (os.phasor(1, f), p, 1) : (+, _) : fmod;
ex = ((((abs(s-z)*as)+ip*((1-fade)*0.5+0.5))%1)*(fade+1)<:(_%1)*((clip(1,2,_)-
1)*(((1/(fade:clip(0.001,1,_)))^2)-1)+1));
infsup= ex*2-1<:(1-abs(clip(-1,0,_)))^PT-(1-(clip(0,1,_)))^PT;
theta = (infsup+1)*ma.PI+az;
x= _;
process = _<:encoder(5-1, x, theta), x*sin(5*theta), x*cos(5*theta),theta;
```

Le paramètre azimut, présent dans la ligne de code « az » (en bleu), permet de faire varier la provenance et la destination des sources de la boucle spatiale. L'orientation de la boucle spatiale sur l'azimut peut évoluer de manière continue depuis le *pitch-bend* de la keytar.

A.1.4 Optimisation 4D

```
import("stdfaust.lib");
k = hslider("set",0,0,1,1);
j = hslider("upset",0,0,1,1);
optimInPhase2D(N) = par(i, 2*N+1, InPhase(N, degree(i), _))
with {
   // The degree l of the harmonic[l, m]
   degree(index)  = ((index)+1) + (((index)+1)*0.5 <: int, int, float : _, ==: _*_ :>_*(-2)+
(int((((index)+1)+1 ) * 0.5) *(-1)));
   InPhase(N, l, _)= _ *(((fact(N) * fact(N)) / (fact(N - l) * fact(N + l))*j)+k)
   with {
      fact(0) = 1;
      fact(n) = n * fact(n-1);
   };
};
process=optimInPhase2D(5):_,_*((1.851201*k)+j),_*((1.851201*k)+j),_*((0.203579*k)
+j),_*((0.203579*k)+j),_*((0.68708*k)+j),_*((0.68708*k)+j),_*((0.034141*k)+j),_*((0.034141*k)
+j),_*((0.055752*k)+j),_*((0.055752*k)+j);
```

En bleu, chaque coefficient transforme ordre par ordre l'optimisation 2D inPhase en optimisation 4D. Le traitement hypersphérique peut être activé ou désactivé par les paramètres *k* « set » et *j* « upset » (en magenta).

A.1.5 Équivalence 4D du polynôme de Gegenbauer avec le second degré du polynôme de Jacobi.

```
gegtojac4D (N, x, Betazhs) = par(i, 2*N+1, x* y(order(i), Betazhs))
with {
    order(index) = ((index)+1) + (((index)+1)*0.5 <: int, int, float : _, ==: _*_ :>_*(-2)+
(int((((index)+1)+1 ) * 0.5) *(-1)));
    y (m, Betazhs) = polyeq(m, Betazhs)*d+u
    with {
        polyeq(m, Betazhs) = polyeqcalcul ((abs(m) == 2), m, Betazhs)
        with {
            polyeqcalcul(0,  m, Betazhs)= 1;
            polyeqcalcul(s,  m, Betazhs)=(((abs(Beta*2-1))*((1, abs(m):max)+1)*(-4))-1+2*(abs(m)))/
((((1, abs(m):max)^2)+2)*(-1));
            };
        };
    };
```

Equivalence 4D (en bleu) du polynôme de Gegenbauer avec le second degré du polynôme de Jacobi quand lambda est calculée selon l-|m1|*(-1)-|m2|*(-1).

A.2 Implémentation des harmoniques hypersphériques 6D.

```
import("stdfaust.lib");
import("maths.lib");
import("basics.lib");
import("signals.lib");

f = hslider("freq", 0, -100, 100, 0.00001);
p = hslider("phase", 0, 0, 1, 0.001);
speed= hslider("speed", 1, 0, 65024, 1);
fade = hslider("fade", 0, 0, 1, 0.001);
alphacurve = hslider("alphacurve", 0.5, 0.5, 100, 0.001);
CT = hslider("CT", 0.5, 0.5, 100, 0.001);
hyperangle = hslider("hyperangle", 0, 0, 1, 0.001);
hyperphase = hslider("hyperphase", 0, 0, 1, 0.001);
ip = hslider("interphase", 0, 0, 1, 0.001);
x1= fade*0.5;
x2= (1-fade)*0.5+0.5;
fun = bpf.start(0,0) : bpf.point(x1,fade) : bpf.point(x2,1-fade) : bpf.end(1,1);
z = ((os.phasor(1, f), p, 1) : (+, _) : fmod:fun:_);
clip(l, h, _) = max(l, min(h, _));
Alpha= ((z*speed+ip)%1)*2<:((clip(0,1,_)-((clip(1,2,_)-1)))*2-1)*CT:(clip(-1,1,_)
+1)*ma.PI*1/4*hyperangle+hyperphase*(ma.PI/2);
Alphazhs = (cos(Alpha*2));

x=_,_;
encoder6D (N, x, Alpha) = par(i, (N+1) * (N+1), (_, _):y(degree(i), order(i), Alpha))
with {
    degree(index)= int(sqrt(index));
    order(index)= int(index - int(degree(index) * int(degree(index) + 1)));
// Hyperspherical harmonics;
      y (l, m, Alpha) = (_*((sin(Alpha))^(1, abs(m):max))+_*((cos(Alpha))^(1, abs(m):max)))* k (l,
m)*abs(c(lambdb, m, Alphazhs))
with {
// 6D norm;
        k(l, m) = kcalcul(( l != 0 ), l, m)
              with {
                 kcalcul(0, l, m) = 1;
                              kcalcul(s, l, m) = ((abs(2^(l+3))*(l+2)*(fact(lambda))*(fact(subnorm)))/
abs(twfact(subnorn)*twfact(subnoro)))^(1/2)
            with {
                subnorm = subnormcalcul((lambda+abs(m)*(-1)+abs(m)*(-1)+1)>=1)
                with {
                    subnormcalcul (0) = 1;
                    subnormcalcul (s) = lambda+abs(m)*(-1)+abs(m)*(-1)+1;
                    };
                subnorn = subnorncalcul((int(ma.PI*(l+abs(m)*(-1)-abs(m)*(-1)+1)))>=1)
                with {
                    subnorncalcul (0) = 1;
                    subnorncalcul (s) = int(ma.PI*(l+abs(m)*(-1)-abs(m)*(-1)+1));
                    };
```

```
            subnoro = subnorocalcul((l-abs(m)*(-1)+abs(m)*(-1)+1)>=1)
            with {
                subnorocalcul (0) = 1;
                subnorocalcul (s) = l-abs(m)*(-1)+abs(m)*(-1)+1;
                };
            fact(0) = 1;
                  fact(o) = o * fact(o-1);
                        lambda = lambdacalcul ( ( int(((l-abs(m)-abs(m)))*0.5) == float(((l-abs(m)-
abs(m)))*0.5) ) & ( int((l-abs(m)-abs(m))*0.5)>=0))
            with {
                lambdacalcul(0) = 0;
                lambdacalcul(p) = int((l-abs(m)-abs(m))*0.5);
                };
            twfact(0) = 1;
                  twfact(q) = twfactcalcul ((q>=0)&(q<=1)+(q>=2))
            with {
                twfactcalcul (0) = 1;
                twfactcalcul (1) = q*twfact(q-2);
                };
            };
        };
//Zonal harmonics;
       lambdb = lambdbcalcul ( ( int((l-(abs(m)*(-1))-(abs(m)*(-1)))*0.5) == float((l-(abs(m)*(-1))-
(abs(m)*(-1)))*0.5) ) & ( (l-(abs(m)*(-1))-(abs(m)*(-1)))*0.5>=0))
       with {
            lambdbcalcul(0) = 0;
            lambdbcalcul(1) = int((l-(abs(m)*(-1))-(abs(m)*(-1)))*0.5);
            };
//Gegenbauer polynomial;
       c(lambdb, m, Alphazhs) = ccalcul (((lambdb == 1)  + (lambdb > 1)*2), l, m, Alphazhs)
       with {
            ccalcul(0, lambdb, m , Alphazhs)= 1;
            ccalcul(1, lambdb, m , Alphazhs)= 2 * (abs(m)+0.5) * Alphazhs;
               ccalcul(s, lambdb, m , Alphazhs)= (1/lambdb) * Alphazhs * (lambdb+abs(m)+(0.5)-1) *
c(l-1,abs(m),Alphazhs) - (lambdb+2*(abs(m)+(0.5))-2) * c(l-2,abs(m),Alphazhs);
            };
    };
};
process=encoder6D (3, x, Alpha);
```

A.2.1 Contrôle de la symétrie parité/temps dans l'encodage des harmoniques hypersphériques 6D

```
f = hslider("freq", 0, -100, 100, 0.001);
s = hslider("spin", 1, -1, 1, 1);
pp = hslider("phase", 0, 0, 1, 0.001);
speed= hslider("speed", 1, 0, 65024, 1);
interphase = hslider("interphase", 0, 0, 1, 0.001);
lfofreq= hslider("lfofreq", 0, -65024, 65024, 0.001);
zenith= hslider("zenith", 0, (-2)*ma.PI, 2*ma.PI, 0.001):si.smoo;
thetaz= hslider("thetaz", 0, 0, 1, 1);
vkphazor= hslider("vkphazor", 0, 0, 1, 0.001);
fade= hslider("fade", 0, 0, 1, 0.001);
phicurvephase= hslider("phicurvephase", 0, -0.5*ma.PI, 0, 0.5*ma.PI);
thetalfodomain= hslider("thetalfodomain", 0.5, 0.25, 0.5, 0.25);
thetalfophase= hslider("thetalfophase", 0, 0, 1, 1);
azimut= hslider("azimut", 0, (-2)*ma.PI, 2*ma.PI, 0.001):si.smoo;
thetalfocurve= hslider("thetalfocurve", 0, 0, 10, 1);
thetacurve= hslider("thetacurve", 0, -0.5, 2, 0.5);
philfodomain= hslider("philfodomain", 0.5, 0.5, 1, 0.5);
philfophase= hslider("philfophase", 0, 0, ma.PI, 0.5*ma.PI);
xyray= hslider("xyray", 0, 0, 1, 0.001);
zray= hslider("zray", 0, 0, 1, 1);

clip(l, h, _) = max(l, min(h, _));
z = (os.phasor(1, f), pp, 1) : (+, _) : fmod;
ex= ((((abs(s-z)*speed)+interphase*((1-fade)*0.5+0.5))%1)*(fade+1)<:(_%1)*((clip(1,2,_)-1)*(((1/
(fade:clip(0.001,1,_)))^2)-1)+1));
rounds =((ex*lfofreq)%1);
v = sin((abs(zenith)*2:clip(0.5,1,_)*ma.PI));
thetazcurve= (rounds)*4-2<:(((1-abs(clip(-2,-1,_)+1))^(1/(v+thetaz)))+((1-
abs(clip(-1,0,_)))^(v+thetaz)))-(((1-(clip(0,1,_)))^(v+thetaz))+((1-(clip(1,2,_)-1))^(1/(v+thetaz))));
zenithctrl= (sin(ex*ma.PI*2)*0.5+0.5)*vkphazor;
tzenctrl= int(zenithctrl*2*vkphazor);
thetap= tzenctrl:(clip(0,1,_))*ma.PI+azimut;
inf= zenithctrl:clip(0,0.5,_);
sup = zenithctrl:clip(0.5,1,_);
xyz= (inf+(0.5-(sup-0.5))-0.5);
xyctrl= ((0.5-(sup-0.5))*(-1)+inf)+(tzenctrl*(-2)+1)*0.5;
xycurve= ((xyz*2)^10)*thetalfocurve+1+thetacurve:clip(0.001,100,_);
phi = sin(rounds*ma.PI+phicurvephase)<:(1-abs(clip(-1, 0,_)))^(1/2),(1-(clip(0, 1,_)))^(1/2):((_-
_)*ma.PI+philfophase)*philfodomain:cos(_)*(zray+xyz)*zenith*ma.PI;
theta= sin((thetazcurve*thetalfodomain+thetalfophase)*ma.PI)<:(1-abs(clip(-1, 0,_)))^(xycurve),(1-
clip(0, 1,_))^(xycurve):(_-_)*(xyray+xyctrl)*ma.PI+thetap;
```

En 3D, le paramètre *xycurve* (en bleu) contrôle la courbure dans la variation de vitesse de l'angle azimutal, notée comme symétrie PT : dans la ligne de code theta, *xycurve* (en violet) est l'exposant qui traite les variations angulaires avec plus ou moins d'*overdrive*.

A.2.2 = Contrôle de la symétrie charge/temps dans l'encodage de l'hyperangle Alpha en 6D

```
f = hslider("freq", 0, -100, 100, 0.001);
p = hslider("phase", 0, 0, 1, 0.001);
speed= hslider("speed", 1, 0, 65024, 1);
fade = hslider("fade", 0, 0, 1, 0.001);
alphacurve = hslider("alphacurve", 0.5, 0.5, 2, 0.001);
hyperangle = hslider("hyperangle", 0, 0, 1, 0.001);
hyperphase = hslider("hyperphase", -1, -1, 1, 0.001);
x1= fade*0.5;
x2= (1-fade)*0.5+0.5;
fun = bpf.start(0,0) : bpf.point(x1,fade) : bpf.point(x2,1-fade) : bpf.end(1,1);
z = ((os.phasor(1, f), p, 1) : (+, _) : fmod:fun:_);
clip(l, h, _) = max(l, min(h, _));
Alpha=sin(((z*speed)%1)*2*ma.PI)<:((((1-abs(clip(-1,  0,_)))^(alphacurve))-((1-clip(0,
1,_))^(alphacurve)))/2+0.5)*hyperangle+hyperphase;
```

En 6D, le paramètre "alphacurve" contrôle la courbure dans la variation de vitesse de l'hyperangle *Alpha*, notée comme symétrie CT. Dans la dernière ligne de code, "alphacurve" est la valeur de l'exposant qui traite les variations hyperangulaires avec plus ou moins d'*overdrive*.

A.2.3 Équivalence 6D du polynôme de Gegenbauer avec le second degré du polynôme de Jacobi.

```
gegtojac6D(N, x, Alphazhs) = par(i, (N+1) * (N+1), _ * y(degree(i), order(i), Alphazhs))
with {
 degree(index) = int(sqrt(index));
 order(index) = int(index - int(degree(index) * int(degree(index) + 1)));
   y(l, m, Alphazhs) =  polyeq(m, Alphazhs)*d+u
    with {
        polyeq(m, Alphazhs) = polyeqcalcul ((l == 2), m, Alphazhs)
        with {
            polyeqcalcul(0,  m, Alphazhs)= Alphazhs*0.75;
            polyeqcalcul(1,  m, Alphazhs)=((abs(Alphazhs)*(abs(m)+1)*(-3)+2*(1, abs(m):max))/(((1,
abs(m):max)^2)+2))*(-1);
            };
        };
    };
```

Equivalence 6D (en bleu) du polynôme de Gegenbauer avec le second degré du polynôme de Jacobi quand lambda est calculée selon l-(|m1|*(-1)+(1/2))-(|m2|*(-1)+(1/2)).

A.2.4 Optimisation 6D

```
import("stdfaust.lib");
k = hslider("set",0,0,1,1):si.smoo;
j = hslider("upset",0,0,1,1):si.smoo;
optimInPhase3D(N) = par(i, (N+1) * (N+1), InPhase(N, degree(i), order(i), _))
with {
 degree(index) = int(sqrt(index));
 order(index) = int(index - int(degree(index) * int(degree(index) + 1)));
    };
InPhase(N, l, m,_)= _ *(((fact(N) * fact(N)) / (fact(N - l) * fact(N + l)))*j+k)
   with {
      fact(0) = 1;
      fact(n) = n * fact(n-1);
       };
process= optimInPhase3D(3):_,_*((1.06066*k)+j),_*((1.06066*k)+j),_*((1.06066*k)+j),
_*((0.338847*k)+j),_*((0.352966*k)+j),_*((0.99834*k)+j),_*((0.352966*k)+j),_*((0.338847*k)
+j), _*((1.697056*k)+j), _*((1.697056*k)+j), _*((1.697056*k)+j), _*((1.697056*k)+j),
_*((1.697056*k)+j), _*((1.697056*k)+j), _*((1.697056*k)+j);
```

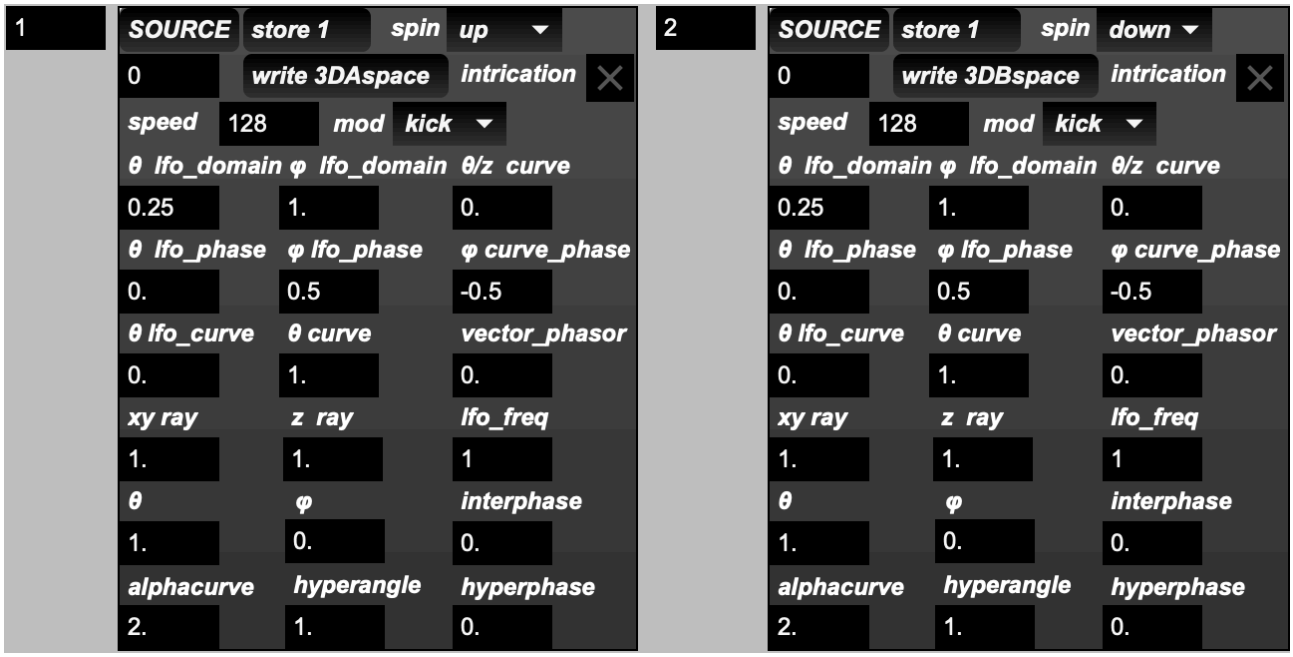
En bleu, chaque coefficient transforme ordre par ordre l'optimisation 3D inPhase en optimisation 6D. Le traitement hypersphérique peut être activé ou désactivé par les paramètres *k* « set » et *j* « upset » (en magenta).

A.2.5 Rôle des paramètres dans la boucle spatiale en spirale

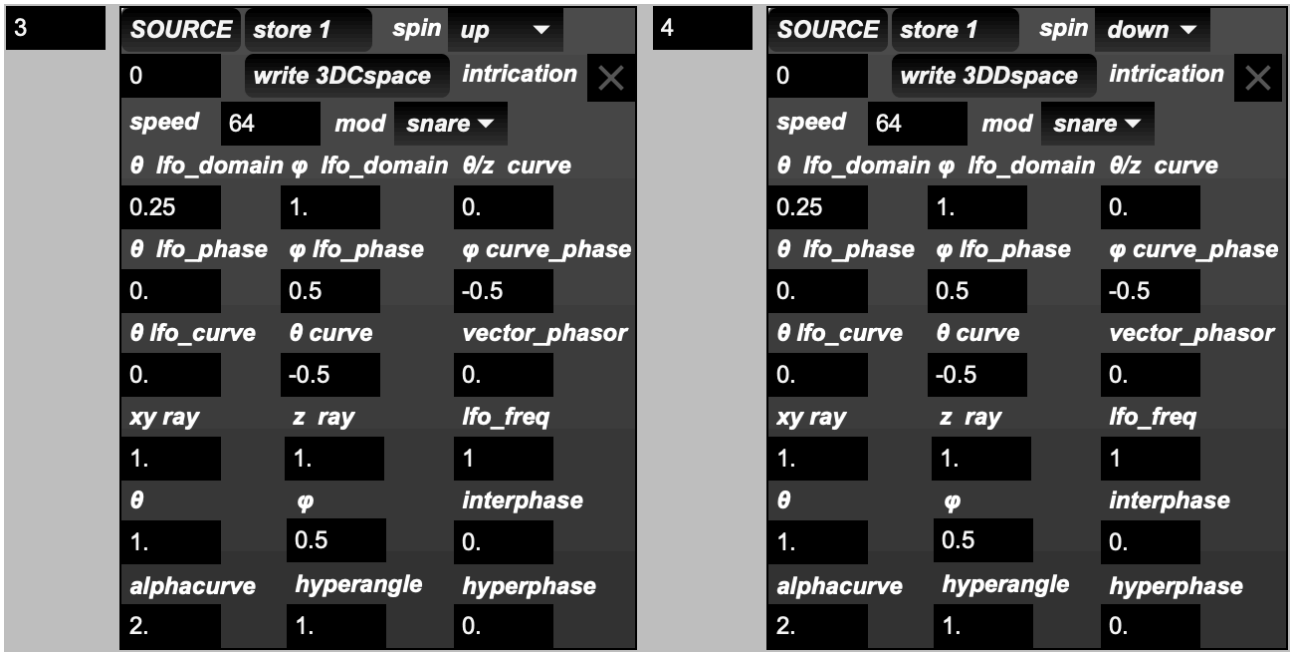
```
f = hslider("freq", 0, -100, 100, 0.001);
s = hslider("spin", 1, -1, 1, 1);
pp = hslider("phase", 0, 0, 1, 0.001);
speed= hslider("speed", 1, 0, 65024, 1);
interphase = hslider("interphase", 0, 0, 1, 0.001);
lfofreq= hslider("lfofreq", 0, -65024, 65024, 0.001);
zenith= hslider("zenith", 0, (-2)*ma.PI, 2*ma.PI, 0.001):si.smoo;
thetaz= hslider("thetaz", 0, 0, 1, 1);
vkphazor= hslider("vkphazor", 0, 0, 1, 0.001);
fade= hslider("fade", 0, 0, 1, 0.001);
phicurvephase= hslider("phicurvephase", 0, -0.5*ma.PI, 0, 0.5*ma.PI);
thetalfodomain= hslider("thetalfodomain", 0.5, 0.25, 0.5, 0.25);
thetalfophase= hslider("thetalfophase", 0, 0, 1, 1);
azimut= hslider("azimut", 0, (-2)*ma.PI, 2*ma.PI, 0.001):si.smoo;
thetalfocurve= hslider("thetalfocurve", 0, 0, 10, 1);
thetacurve= hslider("thetacurve", 0, -0.5, 2, 0.5);
philfodomain= hslider("philfodomain", 0.5, 0.5, 1, 0.5);
philfophase= hslider("philfophase", 0, 0, ma.PI, 0.5*ma.PI);
xyray= hslider("xyray", 0, 0, 1, 0.001);
zray= hslider("zray", 0, 0, 1, 1);

clip(l, h, _) = max(l, min(h, _));
z = (os.phasor(1, f), pp, 1) : (+, _) : fmod;
ex= ((((abs(s-z)*speed)+interphase*((1-fade)*0.5+0.5))%1)*(fade+1)<:(_%1)*((clip(1,2,_)-1)*(((1/
(fade:clip(0.001,1,_)))^2)-1)+1));
rounds =((ex*lfofreq)%1);
v = sin((abs(zenith)*2:clip(0.5,1,_)*ma.PI));
thetazcurve= (rounds)*4-2<:(((1-abs(clip(-2,-1,_)+1))^(1/(v+thetaz)))+((1-
abs(clip(-1,0,_)))^(v+thetaz)))-(((1-(clip(0,1,_)))^(v+thetaz))+((1-(clip(1,2,_)-1))^(1/(v+thetaz))));
zenithctrl= (sin(ex*ma.PI*2)*0.5+0.5)*vkphazor;
tzenctrl= int(zenithctrl*2*vkphazor);
thetap= tzenctrl:(clip(0,1,_))*ma.PI+azimut;
inf= zenithctrl:clip(0,0.5,_);
sup = zenithctrl:clip(0.5,1,_);
xyz= (inf+(0.5-(sup-0.5))-0.5);
xyctrl= ((0.5-(sup-0.5))*(-1)+inf)+(tzenctrl*(-2)+1)*0.5;
xycurve= ((xyz*2)^10)*thetalfocurve+1+thetacurve:clip(0.001,100,_);
phi = sin(rounds*ma.PI+phicurvephase)<:(1-abs(clip(-1, 0,_)))^(1/2),(1-(clip(0, 1,_)))^(1/2):((_-
_)*ma.PI+philfophase)*philfodomain:cos(_)*(zray+xyz)*zenith*ma.PI;
theta= sin((thetazcurve*thetalfodomain+thetalfophase)*ma.PI)<:(1-abs(clip(-1, 0,_)))^(xycurve),(1-
clip(0, 1,_))^(xycurve):(_-_)*(xyray+xyctrl)*ma.PI+thetap;
```

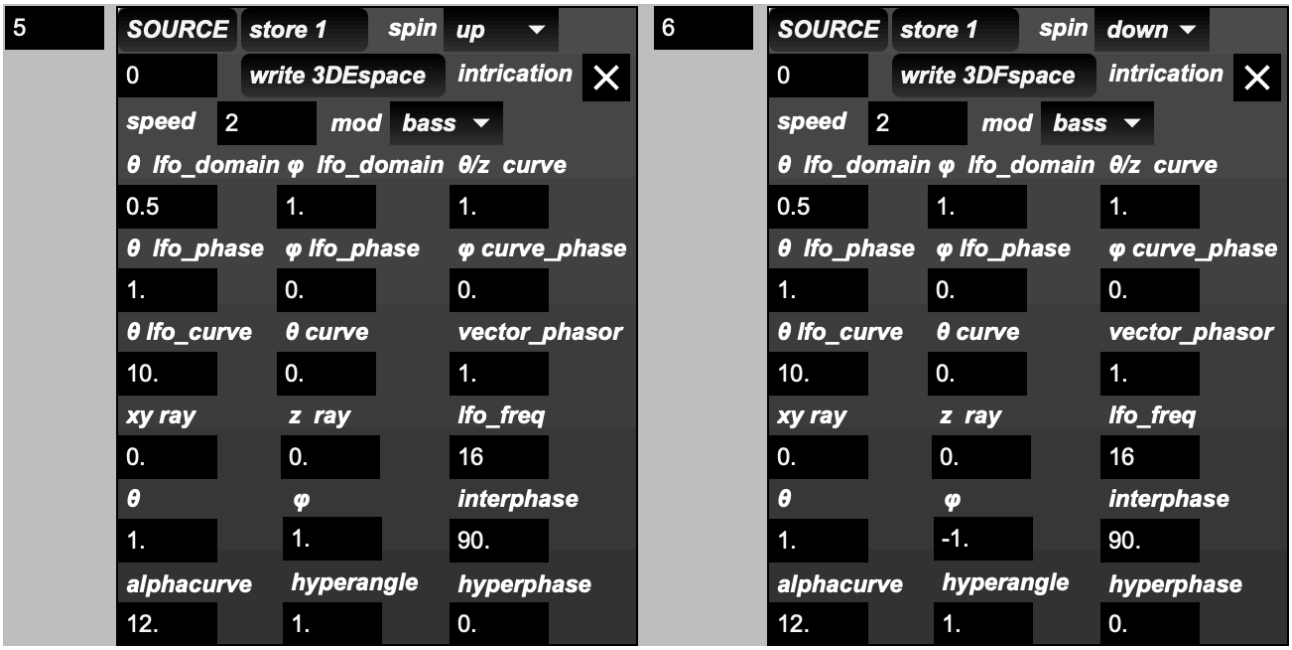
Le paramètre *spin*, en rouge, réagit à l'intrication. Le paramètre *lfofreq*, en bleu ciel, détermine le nombre de révolutions qui décomposent la spirale. En vert, les paramètres *thetaz* (noté *θ/z curve*), *thetalfocurve* (noté *θ lfo_curve*), et *v* (animé par le paramètre *zenith*, noté *ϕ)* déterminent des exposants dans les traitements azimutaux *thetazcurve* et *xycurv*e (en bleu foncé). L'angle d'élévation est borné de 45° à 90° dans la ligne de code *v* pour obtenir la même courbure de variation de la vitesse angulaire quand la source avoisine le zénith. Les traitements azimutaux *thetazcurve* et *xycurv*e réduisent l'interpolation des coordonnées azimutales proportionnellement à l'élévation de la source pour que le mouvement circulaire de la boucle spatiale se retrouve dans chaque révolution de la spirale. En orange, le paramètre *vkphasor* (noté *vector_phasor*) déphase l'azimut par les traitements *xyz*, *xyctrl* et *thetap* (en violet) de manière discrète au moment où la spirale atteint son zénith pour l'inverser la croissance de la spirale vers la coordonnée azimutale opposée à son origine.



Le patch 6D_source19, dédié à la composition d'espaces sonores paradoxaux en 3D, paramétré comme une boucle spatiale sur l'azimut en 2D. Le paramètre *θ curve* contrôle la conjugaison PT, le paramètre *alphacurve* contrôle la conjugaison CT. À gauche une paire de sources *spin up*, à droite une paire de source *spin down*.



Avec le paramètre ϕ à 0.5, la source passe par le zénith entre les moments où elle apparaît et disparaît sur l'azimut.



Pour que les sources se suivent en spirale, le paramètre *intrication* est enclenché. Dans chaque paire, le comportement des sources devient anti-parallèle, ce qui crée un comportement parallèle avec la deuxième paire. L'interversion de l'intrication permet de moduler la symétrie CP de manière discrète selon deux possibilités : soit les sources sont symétriques dans chaque paires, soit elles sont symétriques entre chaque paire. Le paramètre *lfo_freq* indique le nombre de bras de la spirale. Pour maintenir le caractère circulaire dans le mouvement des sources quand elles s'élèvent, les valeurs *θ/z curve* et *θ lfo_curve* sont paramétrées pour réduire l'interpolation des coordonnées azimutales proportionnellement à l'angle d'élévation de la spirale. Le paramètre *vector_phasor* déphase discrètement de 180° l'angle azimutal à mi-chemin de la spirale pour qu'elle redescende vers la coordonnée azimutale diamétralement opposée à celle depuis laquelle elle s'élève.

A.3 L'OBJET *REMIXER*

```
n = 192000;
w = hslider("switch",1, 0, 1, 1);
s = hslider("interpol", 0, 0, n, 1);
d = hslider("delay", 2, 2, n, 1): ramp(s) :_;
g = hslider("grain_delay", 2, 2, n, 1);
r = hslider("fbk", 0, -1, 1, 0.001);
rr = hslider("flg_fbk", 0, -1, 1, 0.001);
f = hslider("freq", 0, 0, 20000,0.001);
p = hslider("phase", 0, 0, 1, 0.001);
o = hslider("drive", 1, 0.5, 10, 0.001);
e = hslider("density", 1, 0, 1, 0.001);
v = hslider("grain", 0, 0,1, 0.001);
b = hslider("bypass", 0, 0, 1, 1);
x = hslider("offset", 0, 0, 1, 1);
ringfreq= hslider("ringfreq",0, 0, 20000, 0.001);
ringgain= hslider("ringgain",0, 0, 1, 0.001);
ringadd= hslider("ringadd",1, 1, 2, 0.001);
b0= hslider("b0", 0, 0, 1, 0.001);
b1= hslider("b1", 0, -2, 2, 0.001);
b2= hslider("b2", 0, 0, 1, 0.001);
a1= hslider("a1", 0, -2, 2, 0.001);
a2= hslider("a2", 0, 0, 1, 0.001);
fc = hslider("fc", 1000, 1, 20000, 0.001);
Q = hslider("Q", 1, 1, 100, 0.001);
gain= hslider("gain", 1, 0, 1, 0.001);
fb1 = hslider("fb1", 0, 0, 1, 0.001):si.smoo;
fb2 = hslider("fb2", 0, 0, 1, 0.001):si.smoo;
damp = hslider("damp", 0, 0, 1, 0.001);
spread = hslider("spread", 0, 0, 256000, 0.001);
a = hslider("amp", 0, 0, 1, 0.001):si.smoo;

clip(l, h, _) = max(l, min(h, _));
phase = os.phasor(f, p);
env = sin(phase*2*ma.PI);
shape = ((1-abs(clip(-1,0,_)))^o-(1-(clip(0,1,_)))^o);
granular = (1-(((env*0.5+0.5)<:shape+e:clip(0,1,_))));
rmx= _<:_*b,(_*w:+~(delay(n, d)*r)<:_,(_*granular:+~(delay(n, g*(1+(x-
abs(phase^o))))*rr)):_*(1-v),_*v):>clip(-1,1,_);
ringmod=(_*(square(ringfreq): 1-((_*0.5+0.5)*ringgain)))*ringadd;
biquad=(_ : tf22(b0,b1,b2,a1,a2) : clip(-1, 1, _));
reson = _: resonlp(fc, Q, gain);
reverb = _ : mono_freeverb(fb1, fb2, damp, spread) : _*a;
rmx= _<:_*b,(_*w:+~(delay(n, d)*r)<:_,(_*granular:+~(delay(n, g*(1+(x-
abs(phase^o))))*rr)):_*(1-v),_*v):>clip(-1,1,_);
process = rmx:biquad<:_*(1-gain)+( reson: clip(-1, 1, _)): ringmod<:_+(reverb);
```

Une ligne à retard (bleu ciel) entre dans un traitement parallèle granulaire (en violet), lui-même traité par une autre ligne à retard (bleu foncé). Les deux voies sont mixées par le paramètre *v* avant de rentrer dans un filtre biquadratique (en orange) traité en parallèle par un filtre résonnant (en vert). Les deux voies vitrées sont mixées par le paramètre *gain* avant de rentrer dans modulateur en anneau (en rouge), puis traitées en parallèle par une réverbération (en rose).

A.4 L'OBJET *GRAIN_DELAY*

rr = hslider("flg_fbk", 0, -1, 1, 0.001);
Le paramètre *flg_fbk* détermine le taux de réinjection de la seconde ligne à retard. Il se déclenche aléatoirement avec une valeur entière positive, négative, ou nulle, à chaque fois que l'instrument est joué.

f = hslider("freq", 0, 0, 20000,0.001);
Le paramètre freq détermine la fréquence d'un oscillateur sinusoïdal dont la forme d'onde sert d'enveloppe granulaire. La fréquence de cet oscillateur est inverse de la période de retard du paramètre *grain_delay*, et son amplitude est échelonnée entre 0 et 1. Cette amplitude traite l'instrument avec ou sans les lignes à retard.

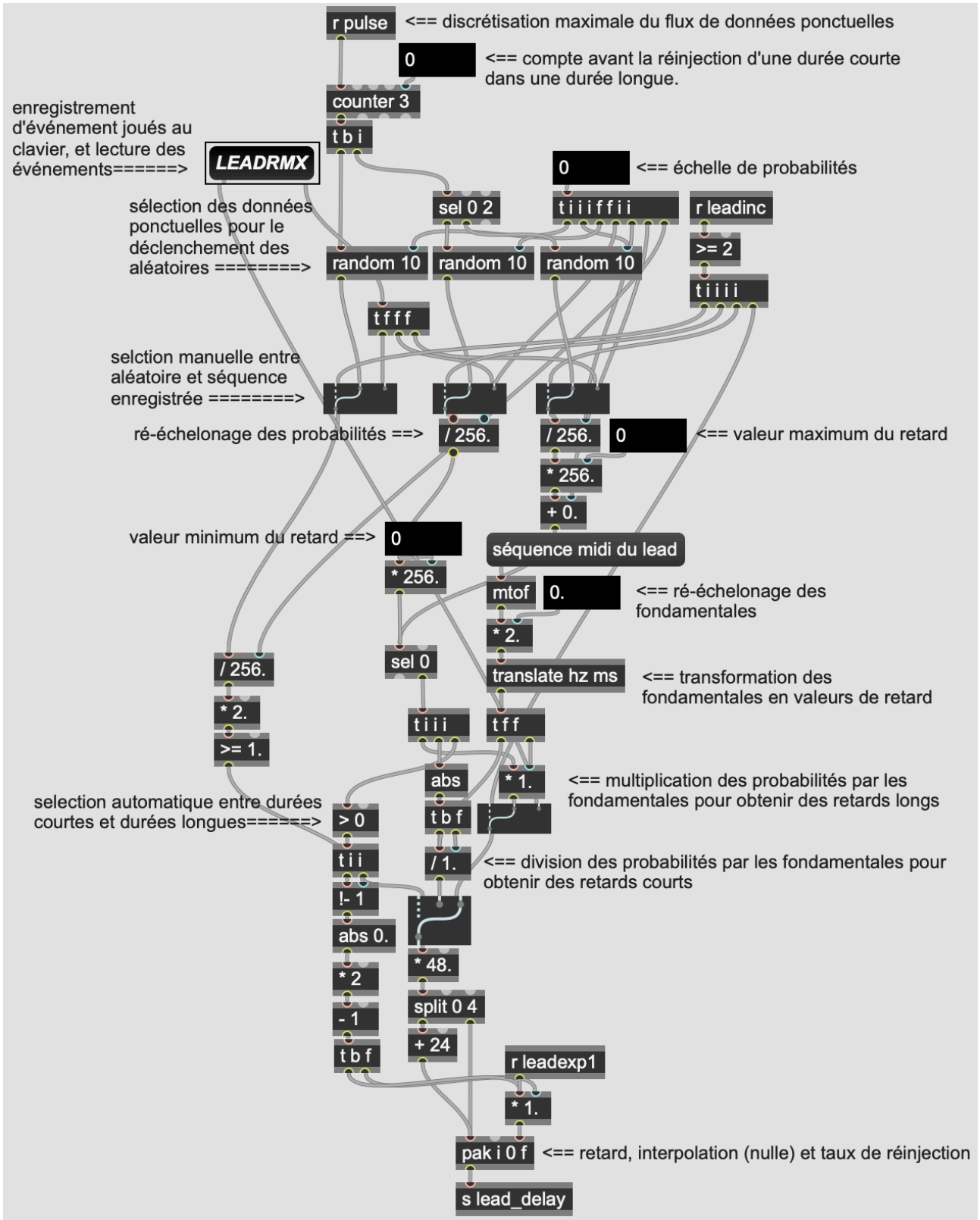
o = hslider("drive", 1, 0.5, 10, 0.001);
Le paramètre *drive* multiplie ou divise la forme d'onde sinusoïdale par elle-même. Ce traitement par *overdrive* fait tendre la forme d'onde sinusoïdale soit vers une forme plus triangulaire, soit vers une forme plus carrée, ce qui change l'enveloppe du grain. Le paramètre « drive » varie de manière aléatoire.

e = hslider("density", 1, 0, 1, 0.001);
Le paramètre *density* détermine la raréfaction du grain, il se déclenche de manière aléatoire à chaque fois que l'instrument est joué.

v = hslider("grain", 0, 0,1, 0.001);
Le paramètre *grain* détermine une valeur aléatoire pour l'amplitude du grain à chaque fois que l'instrument est joué.

```
fc = hslider("fc", 1000, 1, 20000, 0.001);
Q = hslider("Q", 1, 1, 100, 0.001);
gain= hslider("gain", 1, 0, 1, 0.001);
fb1 = hslider("fb1", 0, 0, 1, 0.001):si.smoo;
fb2 = hslider("fb2", 0, 0, 1, 0.001):si.smoo;
damp = hslider("damp", 0, 0, 1, 0.001);
spread = hslider("spread", 0, 0, 256000, 0.001);
a = hslider("amp", 0, 0, 1, 0.001):si.smoo;
g = hslider("grain_delay", 2, 2, n, 1);
```

A.5 AUTO-DÉTERMINATION DU *LEAD*



A.6 L'EFFET *FLANGER*

```
n = 192000;
s = hslider("interpol", 0, 0, n, 1);
f = hslider("fbk", 0, -1, 1, 0.001);
fq = hslider("freq", 0, 0, 20, 0.001);
sah = hslider("sah", 20000, 0, 20000, 0.001);
p = hslider("phase", 2, 2, 100, 0.001);
g = hslider("drive", 1, 0.5, 10, 0.001);
t = hslider("amp", 0, 0, n-2, 0.001);
pp = hslider("reset", 1, 0, 1, 0.001);
clip(l, h, _) = max(l, min(h, _));
z = hsp_phasor(1, sah, 0, pp);
lfo = oscsin(fq)<:(1-abs(clip(-1,0,_)))^g-(1-(clip(0,1,_)))^g:_*0.5+0.5: sAndH(int((1-z)*1.001)):
ramp(s) :_;
process=_:+~(delay(n, lfo*t+p)*f): _;
```

A.7 AUTODÉTERMINATION DES *BREAKS*

w = hslider("switch",1, 0, 1, 1);

Le paramètre *switch* détermine à la fois le taux de réinjection de la ligne à retard et le volume sonore avant son traitement. Quand le taux de réinjection est plein, le gain d'entrée est nul, et inversement. Quand l'autodétermination est active, ce paramètre varie de manière discrète entre 0 et 1 sur des durées aléatoirement déterminées sur chaque double croche pour les cymbales (Fig.A.9.1), ou selon l'échelle spécifique au *lead*.

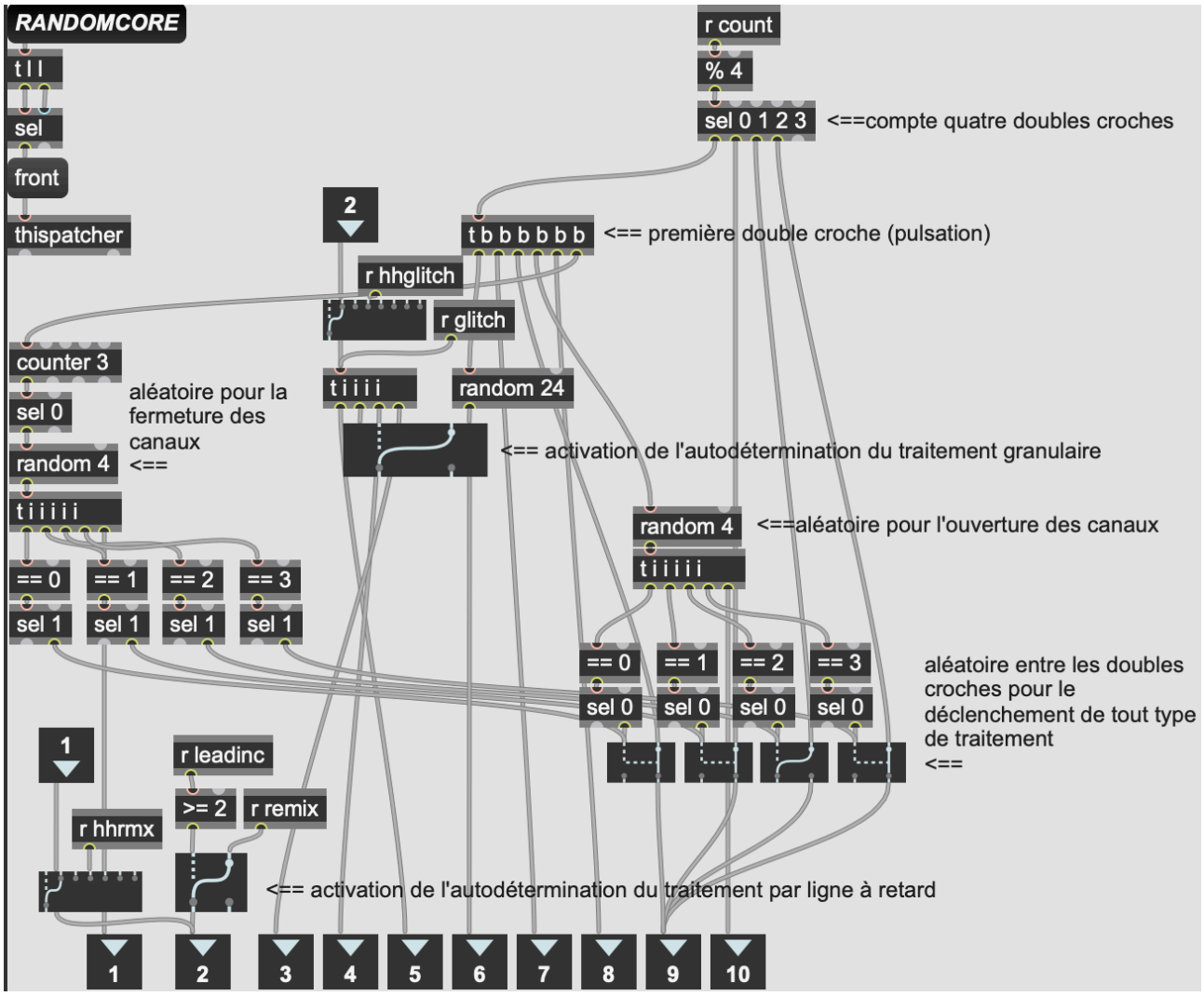


Fig.A.9.1 Le patch *RANDOMCORE* génère des aléatoires issues de la discrétisation du temps en doubles croches.

d = hslider("delay", 2, 2, n, 1): ramp(s) :_;

Cette même aléatoire en provenance de la pulsation ou de l'échelle du *lead* détermine la valeur du paramètre *delay*, qui désigne la durée du retard réinjecté selon le paramètre *switch*.

s = hslider("interpol", 0, 0, n, 1);

Cette même aléatoire détermine la valeur du paramètre *interpol*, qui désigne l'interpolation des valeurs de retard du paramètre *delay*.

Les deux types de déclenchement d'événements aléatoires, le premier par une double croche quelconque, le second à chaque vélocité non-nulle, contrôlent à la fois la première ligne à retard, la vitesse des sources et celle du fondu enchaîné (Fig.A.9.2).

Suite à ces déclenchements aléatoires, la vitesse des sources est telle que l'espace sonore devient un champ diffus. Les variations hyperangulaires suivent cette vitesse, et sont perceptibles comme oscillations de moyenne ou haute fréquence qui se superposent à celles de l'azimut et/ou du zenith. Le champ diffus est alors composable comme hyperespace sonore avec la dimension supplémentaire de l'hyperangle. À l'échelle du champ diffus, les modulations sur les symétrie PT et CT traitent l'onde hypersphérique de moyenne ou haute fréquence avec plus ou moins d'*overdrive* ambisonique pour qu'elle tende vers une forme hypercubique, qui est l'équivalent d'une onde en créneaux en 4D ou 6D. Le travail du timbre par les composantes hyperspatiales du son peut prendre un rôle majeur dans l'autodétermination de certains *breaks* selon le comportement des générateurs de données aléatoires.

Le paramètre *grain_delay* détermine la durée dans une seconde ligne à retard dédiée au traitement granulaire (Fig.A.9.3).

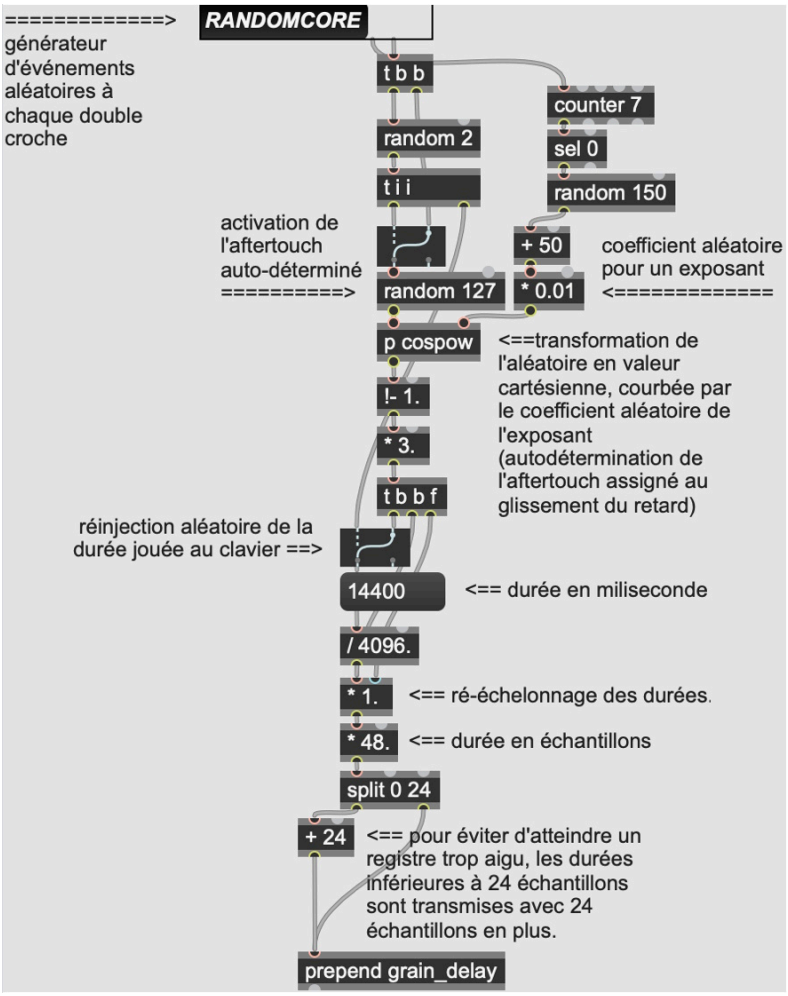


Fig.A.9.3 Autodétermination de la seconde ligne à retard

Cette seconde ligne à retard traite la première : le taux de réinjection de la première est le gain d'entrée de la seconde. Cette seconde ligne à retard n'est active que lorsque le paramètre *switch* est activé. Ces durées sont multiples de celles de la première ligne à retard et sont aléatoirement déclenchées par la même donnée ponctuelle qui déclenche l'événement sonore traité par les lignes à retard. La valeur du second retard change donc soit à chaque fois que l'instrument est joué, soit sur une quelconque double croche.

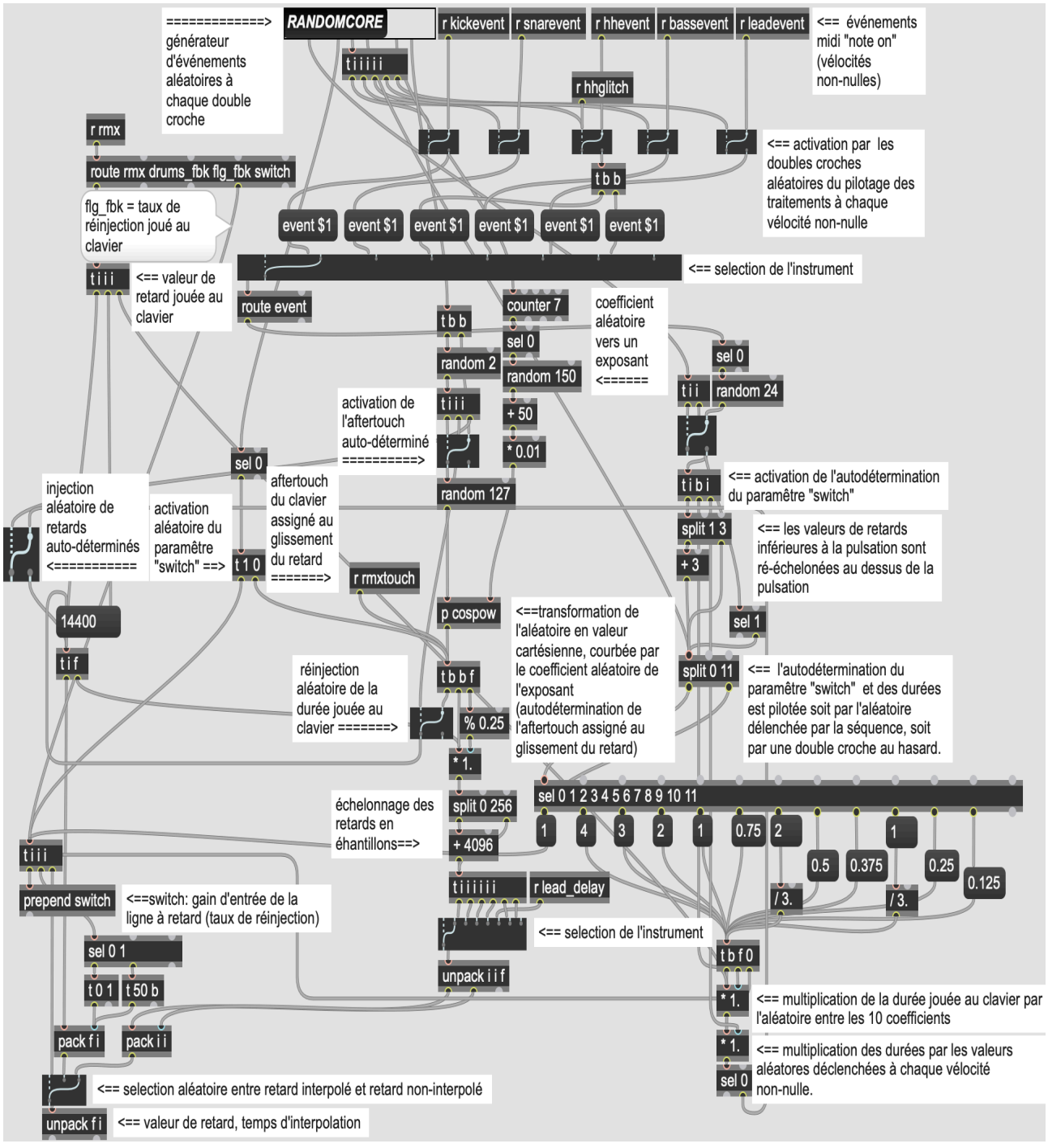


Fig.A.9.2 Autodétermination de la première ligne à retard.

A.9 Synthèse FM

```
af = hslider("afreq", 220, 0, 20000, 0.001);
f = hslider("freq", 220, 0, 20000, 0.001);
am = hslider("amod", 0, 0, 20000, 0.001);
m = hslider("mod", 0, 0, 20000, 0.001);
im = hslider("aindex", 0, 0, 20000, 0.001);
i = hslider("index", 0, 0, 20000, 0.001);

fx = _*af+f;
mx = _*am+m;
ix = _*im+i;
z = (os.oscsin(fx*mx));
fm = z*fx*mx*ix;
y = (os.oscsin(fx+fm));
out =  (os.oscsin(fx+((os.oscsin(fx*mx))*fx*mx*ix)));
process=_<:out;
```

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages et articles

ASPECT, Alain, GRANGIER, Philippe, ROGER, Gérard, « Experimental Realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm *Gedankenexperiment :* A New Violation of Bell's Inequalities », *Physical Review Letters*, vol. 49, nº 2, 12 juillet 1982.

BRIDGMAN, W. Percy, *The Nature of Thermodynamics*, Cambridge (Massachussets), Harvard University Press, 1941; réimpr. 1943. Publication digitale 2005/04/12 : https://archive.org/details/natureofthermody031258mbp/mode/2up

BROCHARD Renaud, ABECASSIS Donna, RAGOT Richard, POTTER Doug, DRAKE Carolyn, « The tick-tock of our internal clock : direct brain evidence of subjective accents in isochronous sequences », *Psychological Science*, 14 (4), (2003)

CHARBONNEAU, G. et RISSET, J.-C., « Circularité de jugements de hauteur sonore », *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris,* 227, Série B (1973) p. 623.

CHARBONNEAU, G. et RISSET, J.-C., « Jugements relatifs de hauteur. Schémas linéaires et hélicoïdaux », *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris,* 281 Série B (1975) p. 289.
.
COLLAS, Peter & KLEIN, David, « Embeddings and time evolution of the Schwarzschild wormhole », *American Journal of Physics* 80 (3), 2012, p. 203-210. https://arxiv.org/pdf/1107.4871.pdf

DEUTSCH, Diana, « Grouping Mechanisms in Music », dans *The Psychology of Music*, éd. Diana Deutsch, 3e édition, Elsevier /Academic Press, 2013. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-381460-9.00006-7 © 2013 Elsevier Inc.

EINSTEIN, Albert, « The meaning of relativity, four lectures given at Princeton University, May 1921 », Priceton University Press, Priceton, 1923.

EINSTEIN, Albert & ROSEN, Nathan, « The Particle Problem in the General Theory of Relativity », *Physical Review*, 48 (1), juillet 1935, p. 73-77.

FANTEGROSSI, William E., MURNANE, Kevin S., REISSIG, Chad J., « The behavioral pharmacology of hallucinogens», *Biochemical Pharmacology,* volume 75, Issue 1, 1 January 2008, p. 17-33.

FENOUILLET, Fabien, *Les Théories de la motivation*, Paris, Dunod, « Éducation sup », 2023.

FEYNMANN, Richard, *Mécanique quantique*, Paris, Dunod, 2018 (chapitre 3, « Amplitudes de probabilité », 3.4 « Particules identiques »)..

FUKS, Benjamin, *Résolution de l'équation de Schrödinger à 3 corps par la méthode des coordonnées hypersphériques*, Laboratoire de physique subatomique et de cosmologie de Grenoble, dir. Pr. Baye Daniel, Pr. Descouvemont, Pierre, 5 octobre 2004. https://lpsc-indico.in2p3.fr/event/2207/attachments/3483/4746/HHMseminar.pdf

GERZON, Michael, « Ambisonics. Part two : Studio techniques », *Studio Sound*, vol. 17, nº 8, p. 24-40 (October 1975).

GRISEY, Gérard, *Écrits*, Paris, MF, « Collection répercussions », 2008.
GRYNSZPAN, Emmanuel, *Bruyante Techno*, Guichen, Mélanie Séteun, « Collection Musique et société », 1999.

GUILLOT, Pierre, *La représentation intermédiaire et abstraite de l'espace comme outil de spatialisation du son*, Université Paris 8, EDESTA, 2017.

HEISENBERG, Werner, « Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik », *Zeitschrift für Physik*, n°43, p. 172-198, Berlin, Springer Verlag, 1927.

JAMAR, David et PITTION-ROSSIGNOL, Florian, *Sous le radar #008* TECHNO HARDCORE FRANCE/1993-2013 sélection/disques, SIGNAL ZERO éditions.

KOSMICKI, Guillaume, Analyse de « Let's play » de Crystal Distortion : les paradoxes d'un « tube » de la free party, *Musurgia* , 2002, Vol. 9, Nº 2, Musiques populaires modernes (2002), pp. 85-101, Editions ESKA.

KOSMICKI, Guillaume, Transe, musique, liberté, autogestion, Une immersion de douze ans dans le monde des free parties et des teknivals, Cahiers d'ethnomusicologie 21, 2008.

LOBO, José et MAC READY, William, « Landscapes : A Natural Extension of Search Theory », *Working Papers* 99-05-037, Santa Fe Institute, 1999.

MAHÉ, Pierre, *Codage ambisonique pour une communication immersive*, Laboratoire informatique image et interaction, Université de La Rochelle, thèse soutenue le 3/2/2022. https://univ-rochelle.hal.science/tel-03612363v1

MEREMIANIN, Alexei V., « Hyperspherical harmonics with arbitrary arguments », *Journal of Mathematical Physics*, 50, 2009, 013526.

MOLOTOV, Blitz, *Armer la sobriété : l'anarchie sauvage contre la culture de l'intoxication*, Warzone Distro, 2018, traduit de l'anglais (US) en 2020 par *sobrietearmee@@@riseup.net* et Zanzara athée. https://infokiosques.net/spip.php?page=lire&id_article=1771

PARÉ, Annabelle, « Mesures acoustiques : les effets de la météo sur la propagation du son », *BBA*, 2 juin 2023, https://www.bbaconsultants.com/fr-ca/publications/mesures-acoustiques-les-effets-de-la-meteo-sur-la-propagation-du-son

PATY, Michel, « Les trois dimensions de l'espace et les quatre dimensions du temps », Dominique Flament, Dimension, dimensions I, Série Documents de travail, Fondation Maison des Sciences de l'Homme, Paris, 1998, p. 87-112.

PETERS, Georges, « Rave drugs : musique techno et designer drugs », *Revue médicale suisse*, 2001, nº 2363, *Médecine d'urgence*, https://www.revmed.ch/view/868980/6920230/RMS_2363_1967.pdf

PICCIOLA, Daniel, « Espaces sonores paradoxaux: approche des harmoniques hypersphériques et implémentation logicielle, pour une pratique créative de la spatialisation immersive du son en free-party », *Journées de l'Informatique Musicale*, 2022.

PICCIOLA, Daniel, *Le live en free-party : contexte, approche du temps, commentaires d'écoute et analyse »*, Mémoire de Master 2, Musicologie, Création, Musique et Société, parcours « Théorie et recherche », 2015.

PULKKI, Ville, « VBAP [Vector Based Amplitude Panning] », dans *General panning for Max msp*, Laboratory of acoustic and audio processing, Helsinki University of Technology. CNMAT University of California Berkeley, 04/10/2000, https://www.researchgate.net/publication/2317843_Generic_panning_tools_for_MAXMSP

RISSET, Jean-Claude, « Hauteur et timbre des sons », *Rapport Ircam,* vol. 10, 11/78, Centre Georges-Pompidou,1978, http://articles.ircam.fr/textes/Risset78a/ (Hauteurs des sons / Paradoxes de hauteur).

RISSET, Jean-Claude, « Pitch control and pitch paradoxes demonstrated with computer synthesized sounds », *The Journal of the Acoustical Society of America,* vol. 46, 1A, Supplément, juillet 1969.

RISSET, Jean-Claude, « Pitch and rhythm paradoxes : Comments on "Auditory paradox based on fractal waveform" », *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 80, nº 3, September 1986.

RISSET, Jean-Claude, « Composer le son : expériences avec l'ordinateur, 1964-1989 », dans *Musiques électroniques*, édité par Philippe Albèra, Éditions Contrechamps, 1990. https://doi.org/10.4000/books.contrechamps.1582.

ROADS, Curtis, *Microsound*, London, MIT Press, 2004.

ROADS, Curtis, *L'audionumérique, Musique et informatique,* traduit de l'anglais par Jean de Reydellet, Paris, Dunod, 2007.

ROBART, Ryan Leslie, *The Influences of Spatial and Motion Properties on Auditory Grouping*, UC Riverside Electronic Theses and Dissertations, 2010.

ROSKAMP, Karl W., « From Chaos to Antichaos and Back to Chaos : The Possibility of a Cycle », *Credit and capital markets- Kredit und Kapital,* Vol. 27, nº 2, janvier 1994, p. 1-10. *DOI* https://doi.org/10.3790/ccm.27.1.1 DOI https://doi.org/10.3790/ccm.27.1.1 | Generated on 2023-01-16 13:04:28 OPEN ACCESS | Licensed under CC BY 4.0 |

ROUGET, Gilbert, *La musique et la transe : Esquisse d'une théorie générale des relations de la musique et de la possession*, Paris, Gallimard, 2010.

SCHUMACHER,, Federico, ESPINOZA, Vicente, MARDONES, Francisca. VERGARA, Rodrigo, ALBERTO Valentina, ARÁNGUIZ, Aguilera, « Perceptual recognition of trajectories in space, Methods, Statistical analysis, Results », *Computer Music Journal*, 2022, Massachusetts Institute of Technology, p. 47.

SCHUNE, Marie-Hélène, « Mais où est donc passée l'anti-matière ? », Conférence mensuelle de la SAF 14 octobre 2015, Laboratoire de l'accélérateur linéaire, https://www.planetastronomy.com

SHEPARD, R.N., « Circularity of judgements of relative pitch », *The Journal of the Acoustical Society of America,* 36, 12 (1964).

SUETIN, P.K, Jacobi polynomials, *Encyclopedia of Mathematics*, Helsinki, EMS Press, 2001

SVENBRO, Anna, « Sur le contenu intuitif de la cinématique et de la mécanique quantiques », dans *Werner Heisenberg,* Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik *(1927). Traduction en présentation bilingue suivie d'un commentaire critique*, Mémoire universitaire, Université Paris X-Nanterre, 2007, p. 8-34.

TASSIN, Jean-Pol, « Le circuit de la récompense », 28. 05. 21 https://planet-vie.ens.fr/thematiques/animaux/systeme-nerveux-et-systeme-hormonal/le-circuit-de-la-recompense

VAGGIONE, Horacio, « Composition musicale : représentations, granularités, émergences », *Intellectica. Revue de l'Association pour la Recherche Cognitive*, n° 48-49, 2008, p. 155-174.

VAGGIONE, Horacio, « Décorrélation microtemporelle, morphologies et figurations spatiales », Université Paris VIII, Journées d'Informatique Musicale Mai 2002, Marseille, France.

VALEUR, Bernard, « Le confinement de la couleur et la saga des quarks », blog *Questions de couleurs*, https://questionsdecouleur.wordpress.com/2020/04/30/le-confinement-de-la-couleur-et-la-saga-des-quarks/

VARELA, Francisco, *Invitation aux sciences cognitives*, Paris, Seuil, 1988 et 1989.

VARELA, Francisco, J. THOMPSON, Evan. ROSCH, Eleanor, *The embodied mind*, *Cognitive Science and Human Experience*, Cambridge (Massachusetts)-London, The MIT Press, 1991.

VINCENT, Jean-Didier, *La chair et le diable*, Paris, Odile Jacob, 2004

WILCZEK, Frank, « Quantum Time Crystals », *Physical Review Letters,* 109 (16), Octobre 2012.

Documents audiovisuels

BROCHARD, Renaud, « La vérité du temps se trouve-t-elle dans le rythme du cerveau ? », conférence donnée aux *Journées Scientifiques annuelles de l'Institut Universitaire de France*, organisées par le Pôle de recherche et d'enseignement supérieur (PRES) de Toulouse, l'Université Toulouse II-Le Mirail et l'Institut Universitaire de France, 2-4 avril 2013. http://www.canal-u.tv/video/universite_toulouse_ii...rtmpt://fms10g.cerimes.fr:80/vod/utm/la.v.rit.du.t... http://www.canal-u.tv/video/universite_toulouse_ii…

CAUDRON, Seb, *Manu le Malin > Biomechanik* , III : the final chapter, Uncivilized World, 2005.

LEYS, Jos, GHYS, Étienne, ALVAREZ, Aurélien, *Dimensions*, Creative commons, 2008.

RACLOT-DAULIAC, Damien, *We had a dream - Heretik System*, 2010. https://www.youtube.com/watch?v=HB4R-yN1nBk

RAULIN, Mario, *Sous le donjon de Manu le Malin*, Sourde oreille productions, 2017.

TABLE DES SCHÉMAS ET ILLUSTRATIONS*

*Mon nom a été abrégé sous la forme D. P.

1.2.1. *Continuum* allant du simple au complexe (G. Grisey) ……...26

1.2.2. Schéma standard d'une dynamique hédoniste affective (Solomon et Corbit)……. 31

1.2.3. « Les afférences sensorielles […] » (J.-P. Tassin) ……...34

1.2.4. Diagramme des psychotropes (Derek Snider) ……...37

1.2.5. Représentation polaire d'après les échelles de temps de G. Grisey et de C. Roads (D. P.)…..39

1.2.6 Proposition d'un diagramme des formes de chronotropies portées par les différents styles de musique et d'auteurs en *free-party* (D. P.)…….40

1.4.1 Le teknival de Castlemorton, au Royaume-Uni. La libre disposition des *sound-systems* et des véhicules (A. Dunsmore, *Daily Telegraph,* sur la toile)……..……..58

1.4.2 Teknival légal sur la base militaire de Marigny (sur la toile) ……...…….59

2.1. Propagation supposée d'ondes sonores au Bourget. Espace sonore paradoxal en milieu urbain. (D. P.) …….62

2.2. Interaction psychoacoustique entre la source et l'écho. (D. P.) ……..62

3.2.1 Différences de potentiel entre nombre impair et nombre pair de baisses d'amplitude entendues sur la même pulsation par diverses personnes (R. Brochard)……66

4.1.1 Spatialisation stéréophonique du paradoxe sur la hauteur (D. P.) ……80

4.1.2 Principe du son paradoxal en ambisonie d'ordre supérieur (D. P.) ……..81

4.2.1 Le modèle hélicoïdal de la hauteur (D. Deutsch) ……..…….……..84

4.2.2 Généralités observées sur la reconnaissance du déplacement d'une source ponctuelle selon le type de trajectoire (F. Schumacher, *et alii*)…….85

4.3.1 Décomposition de l'espace sonore, en harmoniques sphériques au 3e ordre ambisonique (D.P.)……..…….87

4.3.2 Comportement de l'annulation de phase en ambisonie de 3e ordre (D. P.) ……..88

4.4.1 Système fictif de diffusion ambisonique 4D ; orientation des haut-parleurs (D. P.)…….89

4.4.2 L'escalier de Penrose (J.-C. Risset) ……..90

4.4.3 L'hypercube (D. P.)……...90

4.4.4 Hypercube construit avec deux cubes symétriques de même volume (J. Lobo et W. Macready)……...91

4.4.5 Projection de deux octophonies cubiques symétriques virtuelles vers un seul système de diffusion octophonique cubique (D. P.) ……92

4.4.6 Décomposition symétrique et asymétrique de l'espace de diffusion……93

4.4.7 Représentation de l'hypersphère (D. P.) ……94

5. 1.1 Décomposition d'un atome de matière ordinaire (B. Valeur) ……...96

5.1.2 Nucléons et hypérons (Tord-Johansson)……...97

5.1.3 Quantité de mouvement des 3 quarks en interaction (D. P.) ……98

5.2.1 Couleurs de charges opposées formant les gluons (B. Valeur) ……98

5.2.2 Échange de gluons entre quarks dans un proton (sur la toile) ……99

5.2.3 Deux exemples de vecteurs de Jacobi (exemple restauré par D. P.) ……99

5.2.4 Vecteurs de Jacobi perpendiculaires (D. P.) ……100

5.2.5 Représentation en harmoniques hypersphériques de la projection des mouvements du corps retenu en inertie sur les mouvements des deux autres corps (D. P.) ……100

5.2.6 Représentation de la projection avec une asymétrie entre les distances et les orientations des 3 corps (D. P.)……...100

5.2.7 Cœur d'un atome exotique pouvant être représenté en tant qu'octet (sur la toile)……101

5.2.8 Modèle standard des particules (CERN)……101

5.3.1 Formule des harmoniques hypersphériques 4D avec un hypervecteur 2D+2D (citée par A.V. Meremianin)……103

5.3.2 Formule des harmoniques hypersphériques 6D avec un hypervecteur 3D+3D (citée par A.V. Meremianin)……103

5.4.1 Polynôme de Gegenbauer *C* avec un seul ordre *α,* traitant une variable *x* ……105

5.4.2 Polynôme de Jacobi *P* avec deux ordres, *α* et *β,* traitant une variable *z*……105

5.5.1 Calcul de *λ* en 4D (D. P.)……107

5.5.2 Calcul de *λ* en 6D (D. P.)……107

5.7.1 Addition de rayons sphériques pendant l'opposition de phase sur l'azimut, avec une optimisation *inPHas*e (D. P.) ……110

5.7.2 Hyper-rayons traités par l'optimisation 6D pendant l'opposition de phase sur l'azimut (D. P.) ……110

5.7.3 Comparaison entre l'addition de rayons sphériques optimisés *inPhase* et l'hyper-rayon optimisé-6D, pendant l'opposition de phase sur le zénith (D. P.)……...110

5.7.4 Réaction des vecteurs de vélocité et d'énergie au traitement hypersphérique optimisé 4D avec un hyperangle à 0° ou 180° (D. P.) …….…….111

5.7.5 Divergence entre les vecteurs de vélocité et d'énergie avec un hyperangle à 45° (D. P.) ……..…..…….…….…….112

5.7.6 Divergence entre les vecteurs de vélocité et d'énergie avec un hyperangle à 90° (D. P.) ……..112

5.7.7 Convergence entre les vecteurs de vélocité et d'énergie avec un hyperangle à 148° (D. P.) …….…….112

5.7.8 Vecteurs colinéaires sur l'azimut (D. P.) …….……113

5.7.9 Vecteurs colinéaires sur le zénith (D. P.) …..……...113

5.8.2.1 Réaction des vecteurs d'énergie et de vélocité au traitement hypersphérique avec un hyperangle à 0° ou 180°, sans optimisation, avec décodage sans VBAP (D. P.) ……115

5.8.2.2 Réaction des vecteurs d'énergie et de vélocité au traitement hypersphérique optimisé 4D, avec décodage en VBAP circulaire (D. P.) ……..115

5.8.2.3 Réaction des vecteurs d'énergie et de vélocité avec un hyperangle à 45° ou 135° avec traitement hypersphérique optimisé 4D, et décodage en VBAP (D. P.) ……..116

5.8.2.4 Réaction des vecteurs d'énergie et de vélocité avec un hyperangle à 45° ou 135° en traitement hypersphérique optimisé 4D, et décodage en VBAP, le polynôme de Gegenbauer étant rendu équivalent à celui de Jacobi (D. P.) ……116

5.8.2.5 Réaction des vecteurs au traitement hypersphérique avec l'hyperangle à 45° ou 135°, décodé en VBAP sans aucune optimisation (D. P.) ……..118

5.8.2.6 Avec un décodage VBAP sur une ambisonie de premier ordre optimisée 2D *inPhase*, vecteurs colinéaires, de vitesse égale et de rayon constant (D. P.)……...118

5.8.2.7 Comportement des vecteurs pendant un fondu enchaîné, sans traitement 4D, avec une optimisation *inPhase* (D. P.)…….118

5.8.2.8 Comportement des vecteurs pendant un fondu enchaîné, avec un traitement 4D (D. P.) ……..……118

5.8.3.1, Rayons constants, de même vitesse, et égaux pour deux vecteurs colinéaires, de (D. P.) avec un hyperangle déduit d'après le nombre de haut-parleurs ……..…….120

5.8.3.2 Traitement en 4D symétrique sur une ambisonie de cinquième ordre décodée en VBAP avec un hyperangle calculé pour quadriphonie régulière. (D. P.) ……..…….121

5.8.3.3 Traitement hypersphérique sur une ambisonie de cinquième ordre décodée en VBAP avec un hyperangle calculé pour hexaphonie régulière. (D. P.) ……121

5.8.3.4 Traitement hypersphérique sur une ambisonie de cinquième ordre décodée en VBAP avec un hyperangle calculé pour octophonie régulière (D. P.)……..122

5.9.1 Encodage hypersphérique en 4D symétrique, au 5e ordre ambisonique (D.P.) ……..123

5.9.2 Encodage hypersphérique 6D d'ordre 3 (D. P.) ……..123

5.9.3 Optimisation 3D inPhase (D. P.) ……126

5.9.4 Optimisation 3D maxRe (D. P.) ……126

5.9.5 Optimisation 3D inPhase (D. P.) ……126

5.9.6 Optimisation 6D (D. P.) ……126

5.9.7 Optimisation 2D basic sur 4 hp (D. P.) ……127

5.9.8 Optimisation2D maxRe sur 4 hp (D. P.) ……..127

5.9.9 Optimisation 2D inPhase sur 4 hp (D. P.) ……...127

5.9.10 Optimisation 4D sur 4 hp (D. P.) ……127

5.9.12 Traitement hypersphérique sur une ambisonie de cinquième ordre décodée en VBAP avec un hyperangle calculé pour hexaphonie régulière (D. P.)……128

5.9.14 Traitement hypersphérique sur une ambisonie de cinquième ordre décodée en VBAP avec un hyperangle calculé pour octophonie régulière (D. P.)……128

6.1 Un trou de vers (site sur la toile) ……...138

6.1.1 à 6.1.13. Représentation par les vecteurs de Jacobi du report des mouvements de la position d'écoute virtuelle sur les paires de sources en symétrie CP, selon l'orientation de l'hyperangle (D. P.) ……142-145

6.2.1 Report des symétries C, P, et T, vers les conjugaisons CP, CT, et PT, elles-mêmes reportées vers la conjugaison CPT (D. P.) ……148

6.2.2 Report des symétries C et T vers la conjugaison CP (D. P.) ……..149

6.2.3 Report des symétries T et CP vers la conjugaison CPT (D. P.) ……149

6.2.4 Programmation des symétries de charge, de parité et de temps sur les deux vecteurs 3D (D. P.) ……149

6.3.1 Décomposition du fondu enchaîné en sept étapes. (D. P.) ……151

6.3.2 Représentation hélicoïdale des espaces sonores paradoxaux, selon la boucle spatiale symbolisée par un cristal temporel. Les variations de la position d'écoute virtuelle sont reportées par les vecteurs de Jacobi vers le centre de masse, (D. P.) ……...152

6.3.3 Représentation simplifiée d'un atome de positronium (D. P.) ……153

6.3.4 Chromodynamique du proton (D. P.) ……..154

6.3.4 Chromodynamique de l'antiproton (D. P.) ……...154

6.3.6 Possibilités de regroupement des quarks et des anti-quarks en hypérons, en tant que systèmes à 3 corps exprimés par des vecteurs de Jacobi (D. P.) ……...155

6.4.1 Interversion de l'intrication (D. P.) ……157

7.1.1.1 Interface de composition des boucles spatiales 4D (D. P.) ……164

7.1.1.2 Représentation de la nouvelle symétrie CT modulée par coordonnées hypersphériques (D. P.) ……..…….164

7.2.2.1 Contrôle des fréquences pour le modulateur en anneau du *lead* (D. P.) …….…….177

7.2.4.1 Autodétermination des *breaks (*(D. P) …….181

7.2.4.2 Implication de la vitesse des sources et du fondu enchaîné dans l'autodétermination du changement des séquences rythmiques du *kick* et de la caisse claire (D. P.) ……...182

7.2.4.3 L'autodétermination des cymbales peut être permanente quand le paramètre *auto-glitch* est activé (D.P.) ……..……...183

7.2.4.4 Autodétermination des données destinées à la spatialisation (D. P.) ……...185

7.2.4.5 Transformation des données en coordonnées spatiales (D.P) …….186

8.1.1 Construction du temps cyclique dans les interfaces *live*HSH4D et *live*HSH6D (D. P.)…….188

8.2.1.1 Interface des dix configurations pour l'assignation des contrôleurs midi (D. P.) ……190

8.2.1.2 Interface du *sound-design* de la caisse claire (D.P.) ……..……..192

8.2.1.3 Interface du *sound-design* des cymbales (D. P.) ……..…….193

8.2.1.3 Interface du sound-design de la *bassline* (D.P.) …….…….194

8.2.1.5 Interface du *sound-design* du *kick* (D. P.) ……195

8.2.1.6 Grille d'écriture polyphonique des nappes synthétisées (D. P.) ……..……195

8.2.1.7 Contrôles de la vitesse dans la 9e configuration (D. P.) ……...196

8.2.2.1 Connexion des divers éléments du *live* : D. P.) …….199

9. 2.1 Durées de résistance à l'entropie des énergies musicales du *live*@MSH. ……206

9.4.1 Durées de résistance à l'entropie des énergies musicales du *live* Udiwaqau. ……220

10.3.1 Un *sound-system* stéréophonique (photo sur la toile) ……..252