

Université de Montréal

**Musiques pour éponge: la composition pour un nouvel instrument de
musique numérique**

par
Martin Marier

Faculté de musique

Thèse présentée à la Faculté des études supérieures et postdoctorales
en vue de l'obtention du grade de Docteur en musique (D.Mus.)
option composition

Mai, 2017

© Martin Marier, 2017.

Université de Montréal
Faculté des études supérieures et postdoctorales

Cette thèse intitulée:

**Musiques pour éponge: la composition pour un nouvel instrument de
musique numérique**

présentée par:

Martin Marier

a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes:

Robert Normandeau,	président-rapporteur
Jean Piché,	directeur de recherche
Caroline Traube,	membre du jury
Marcelo Wanderley,	examineur externe
Kevin J. Tuite,	représentant du doyen de la FES

Thèse acceptée le: 10 mai 2017

RÉSUMÉ

Cette thèse présente un instrument de musique numérique (IMN) que nous utilisons pour interpréter les œuvres que nous avons composées ou pour improviser avec d'autres musiciens. Cet instrument appelé l'éponge se présente comme un rectangle de mousse revêtu d'un tissu synthétique. Il est sans fil et est muni de capteurs qui détectent ses déformations. Les données des capteurs sont utilisées pour affecter les paramètres d'un synthétiseur logiciel.

Les caractéristiques techniques de l'éponge sont présentées en détail. Les changements qui y ont été apportés au cours des neuf dernières années sont expliqués et justifiés.

Les différentes stratégies de mappage qui ont été développées et utilisées sont décrites. Le mappage est abordé à la fois d'un point de vue technique et d'un point de vue artistique. Nous introduisons les notions de "contrôle" et de "jeu", et expliquons comment elles peuvent nous aider à mieux comprendre l'art du mappage.

Nous terminons en présentant trois pièces qui ont été composées et jouées avec l'éponge. Nous présentons deux pièces solos et un duo. Nous discutons aussi des particularités de l'improvisation avec un IMN comme l'éponge.

Mots clés : IMN, DMI, NIME, interface, interaction, électroacoustique, acousmatique.

ABSTRACT

This thesis presents a Digital Musical Instrument (DMI) used for the purpose of performing composed works or improvising with other musicians. This instrument is called the sponge and looks like a rectangular piece of foam covered with synthetic fabric. It is wireless and it contains sensors that detect its deformations. Sensor signals are then mapped to sound synthesis parameters.

The technical specifications of the sponge are covered in depth and the changes made over the last nine years are explained and justified.

The various mapping strategies developed for and used with the sponge are described. Mapping is discussed from both artistic and technical perspectives. We introduce the ideas of “controlling” versus “playing” and explain how these concepts can help us further our understanding of the art of mapping.

We conclude with the presentation of three pieces composed and played on the sponge. There are two solo pieces and one sponge duet. We also discuss the specificities of improvising with a DMI such as the sponge.

Keywords: DMI, NIME, interface, music, composition, electroacoustic, acousmatic.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	iii
ABSTRACT	iv
TABLE DES MATIÈRES	v
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES FIGURES	ix
LISTE DES ANNEXES	xi
LISTE DES SIGLES	xii
REMERCIEMENTS	xiii
CHAPITRE 1 :INTRODUCTION	1
CHAPITRE 2 :INFLUENCES ET MOTIVATIONS	3
2.1 Inventer de nouveaux instruments de musique	3
2.2 Les musiques électroacoustiques	7
2.3 Les instruments de musique numériques	8
2.4 Objectifs	11
CHAPITRE 3 :L'ÉPONGE	13
3.1 Description générale	13
3.2 Microcontrôleur	14
3.3 Capteurs	15
3.3.1 Capteurs de pression	16
3.3.2 Accéléromètres	16

3.3.3	Boutons	18
3.4	Communication sans fil	19
3.4.1	Bluetooth	20
3.4.2	Wi-Fi	22
3.4.3	ZigBee	24
3.5	Empaquetage des données	26
3.6	Fréquence d'échantillonnage et latence	28
3.7	Bref historique	29
CHAPITRE 4 :LE MAPPAGE		32
4.1	Survol de diverses stratégies de mappage	32
4.1.1	Mappage <i>un-à-un</i> et mappages explicites	32
4.1.2	Mappage en couches	40
4.1.3	Mappages implicites	41
4.1.4	L'interpolation de pré-réglages	44
4.2	Enjeux du mappage	59
4.2.1	Le contrôle et le jeu	60
4.2.2	Signaux de contrôle et signaux audios	63
4.3	Mapper l'éponge	65
4.3.1	Mappage des accéléromètres	65
4.3.2	Mappage des capteurs de pression	70
4.3.3	Mappage des boutons	71
CHAPITRE 5 :LA MUSIQUE		75
5.1	L'éloge du mou	75
5.1.1	Origine du projet	75
5.1.2	Matériaux sonores et mappage	76
5.1.3	Écriture et structure	82
5.2	Origami	86

5.2.1	Origine du projet	86
5.2.2	Matériaux sonores et mappage	87
5.2.3	Écriture et structure	89
5.3	À feu doux	93
5.3.1	Origine du projet	93
5.3.2	Matériaux sonores et mappage	93
5.3.3	Écriture et structure	96
5.4	Improvisations et collaborations	97
CHAPITRE 6 : CONCLUSION		100
BIBLIOGRAPHIE		103

LISTE DES TABLEAUX

3.I	La valeur à dix bits de chacun des capteurs est encodée sur deux octets.	27
3.II	Les données de huit capteurs.	27
3.III	Mesures de la latence de l'éponge.	30
3.IV	Bref historique de l'éponge.	31
4.I	Traits caractéristiques théoriques de l'éponge classés en catégories	42
4.II	Ce tableau regroupe des idées et des concepts qui peuvent être rattachés aux notions de contrôle et de jeu.	62
4.III	Doigté pour une gamme majeure.	73
5.I	Liste des versions de <i>L'éloge du mou</i>	76
5.II	Liste des versions d' <i>Origami</i>	92

LISTE DES FIGURES

2.1	Un Cristal Baschet basse	5
2.2	Trois des instruments conçus par Jean-François Laporte. Images reproduites avec la permission de Jean-François Laporte.	6
3.1	L'éponge en action.	14
3.2	Une plaquette Arduino Fio.	15
3.3	Un capteur de pression FSR 406.	17
3.4	Module XBee de base, module RN-XV (Wi-Fi) et module XBee Pro.	21
4.1	Représentation en grille d'un mappage <i>un-à-un</i>	33
4.2	Mappage en couches.	41
4.3	Interpolation basée sur l'inverse des distances.	51
4.4	Interpolation en excluant des points.	52
4.5	Interpolation indéfinie car tous les points sont exclus.	54
4.6	Interpolation par intersection d'hypersphères : deux points.	55
4.7	Interpolation par intersection d'hypersphères : X est décentré.	56
4.8	Interpolation par intersection d'hypersphères : trois points.	56
4.9	La fenêtre <i>Preset Interpolator</i>	57
4.10	La fenêtre <i>Interpolator</i>	58
4.11	La fenêtre <i>Cursor</i>	59
4.12	Lissage des signaux.	67
4.13	Les boutons en <i>mode 0</i>	72
4.14	Les boutons en <i>mode 0</i>	73
4.15	Doigtés pour jouer les accords dans <i>Origami</i>	74
5.1	L'accord de six notes joué dans <i>L'éloge du mou</i>	79
5.2	La mélodie à deux voies dans <i>Origami</i>	91

5.3	Ligne de basse dans <i>Origami</i>	92
5.4	Ligne de basse avec rythme en 5/8 et 7/8.	92
5.5	Les boutons en <i>mode 0</i>	95
5.6	Doigtés pour jouer les accords dans <i>À feu doux</i>	96

LISTE DES ANNEXES

Annexe I :	Support numérique	xv
Annexe II :	Liste des musiciens du CLOrk	xvi

LISTE DES SIGLES

CV	Control Voltage
DEL	Diode électroluminescente
DMI	Digital Musical Interface
FFT	Fast Fourier Transform
FM	Frequency Modulation
FSR	Force Sensing Resistors
IdO	Internet des objets
IoT	Internet of Things
IMN	Instrument de musique numérique
IRCAM	Institut de recherche et coordination acoustique/musique
LFO	Low Frequency Oscillator
LSB	Least Significant Byte
MIDI	Musical Instrument Digital Interface
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MSB	Most Significant Byte
NIME	New Interfaces for Musical Expression
OSC	Open Sound Control
STAN	Station de travail audionumérique
STEIM	Studio for Electro Instrumental Music

REMERCIEMENTS

Merci, Jean Piché pour ton aide, tes conseils et ton amitié. Au cours des dix dernières années, ton soutien a pris de multiples formes et je t'en suis extrêmement reconnaissant.

Merci, Myriam Bleau d'avoir embarqué et d'avoir investi ton temps et ton énergie créatrice. Merci, Marc Lalancette d'avoir appris à jouer de l'éponge en un temps record et d'avoir joué avec moi à Toronto. Merci, les gars de Point d'écoute : Martin Bédard, Sylvain Pohu, Dominic Thibault. Nos collaborations, nos échanges et notre amitié m'ont grandement inspiré. Merci, Krista Martynes pour tout ce temps passé en studio à faire pour moi ces magnifiques sons de clarinette. Merci, Amanda Dawn Christie pour ton aide lors de la réalisation de ce document. Merci, Eldad Tsabary et tous les membres du CLOrk pour ce très beau moment musical (voir l'annexe II pour la liste de tous les participants). Merci, Pierre Michaud et tout l'ensemble Ohms & Fohms (Ida Toninato, Geneviève D'Ortun et Kevin Gironnay). Merci, Lukas Pearse pour m'avoir invité dans ton studio et avoir enregistré cette mémorable session d'improvisation avec toi, Geordie Hayley et Ryan Gray. Merci, Nicolas Bernier pour les images que tu as prises.

Cette thèse a été rendue possible grâce au financement du Fonds de recherche du Québec Société et Culture (FRQSC). Nous avons également bénéficié du soutien financier du Centre interdisciplinaire de recherche en musique, médias et technologie (CIRMMT), de l'Observatoire interdisciplinaire de création et de recherche en musique (OICRM), ainsi que du Syndicat des chargées et chargés de cours de l'Université de Montréal (SCCCUM) ont également contribué financièrement.

Un énorme merci, Georges Forget pour les sons, pour ton amitié, pour ton soutien, pour tes conseils et pour ton excellent cognac.

Un immense merci, Garth Paine pour m'avoir pris sous ton aile, pour m'avoir aidé et pour m'avoir accueilli à la University of Western Sydney.

Et surtout, merci, Annie Lalancette pour avoir été présente et pour m'avoir solidement soutenu pendant tout ce long processus. Sans toi, rien de tout ceci n'aurait existé. Merci.

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

Les technologies qui permettent la conception d'instruments de musique numériques (IMN) sont devenues beaucoup plus accessibles au cours des dernières années. En l'an 2000, trouver un capteur de pression ou un accéléromètre représentait un certain défi. Les microcontrôleurs existaient, mais ils étaient moins puissants et, surtout, beaucoup plus difficiles à programmer. L'arrivée de plateformes comme Wiring ou Arduino a considérablement changé la donne. Plus besoin d'avoir une formation d'ingénieur pour programmer un microcontrôleur : les environnements sont faciles à utiliser et des centaines, voire des milliers de guides et de tutoriels sont disponibles sur internet. Le curieux peut désormais apprendre rapidement et laisser libre cours à ses idées saugrenues. Donc techniquement, fabriquer sa propre interface musicale est plus facile que jamais.

Mais un IMN n'est pas qu'une interface. Un IMN, pour être complet, doit comporter un système de captation du geste (l'interface), un mappage, un moteur de génération du signal et, finalement, un système de diffusion du son (Miranda et Wanderley, 2006, Marier, 2009). Nous croyons aussi qu'un IMN reste inachevé tant qu'il ne sert pas réellement à jouer de la musique. Dans cette optique, cette thèse présente à la fois l'éponge, l'IMN que nous avons fabriqué, et la musique qu'elle a permis de créer.

Cette thèse est divisée en quatre chapitres. Celui qui suit le présent chapitre d'introduction concerne les influences et les motivations qui ont stimulé notre curiosité et qui nous ont poussé à mener ces recherches. Nous y présentons certains IMN qui ont eu une influence ou qui sont liés à notre travail.

Le troisième chapitre est une description des caractéristiques physiques de l'éponge. Le fonctionnement de l'interface y est expliqué et nous donnons un aperçu

de son évolution depuis le tout premier prototype fabriqué en 2007.

Le chapitre 4 concerne le mappage. Nous considérons que le mappage – la correspondance entre les signaux de capteurs et les paramètres du son – est l'élément le plus difficile dans la conception d'un IMN ; cette section est donc cruciale. On y présente d'abord une variété de stratégies de mappage qui ont été utilisées avec l'éponge ou qui ont eu une influence sur sa conception. Par la suite, nous décrivons une implémentation d'une stratégie de mappage que nous avons développée et que nous utilisons au quotidien avec l'éponge. Subséquemment, nous proposons quelques réflexions théoriques et philosophiques sur les enjeux du mappage. Cette section se termine avec des descriptions détaillées des stratégies de mappage utilisées avec l'éponge.

Dans le chapitre 5, nous présentons la musique que l'éponge a permis de créer. Dans certains cas, il s'agit d'œuvres de concert qu'on pourrait considérer *écrites*, alors que dans d'autre, il s'agit de musiques improvisées.

CHAPITRE 2

INFLUENCES ET MOTIVATIONS

2.1 Inventer de nouveaux instruments de musique

De prime abord, il peut sembler contre-intuitif de dire que la musique et la lutherie sont intimement liées à la technologie. En effet, l'orchestre occidental est une institution plutôt conservatrice et les instruments qui le constituent ont, à quelques détails près, la même forme qu'ils avaient il y a 150 ans. Ces instruments n'évoluent que très lentement et ne sont certainement pas associés à ce qui est communément appelé "les nouvelles technologies". Mais en y regardant de plus près, on constate que les instruments de musique sont des inventions qui ont muté avec la découverte de nouveaux matériaux et de nouvelles techniques. Le piano, par exemple, a changé de façon importante durant le XIXe siècle. Les technologies développées durant la révolution industrielle ont entre autres permis la fabrication de cordes d'acier et de cadres de fonte. À cette époque également, la flûte a évolué de façon majeure : Théobald Böhm, flûtiste et facteur d'instrument, a construit des flûtes métalliques – elles étaient précédemment en bois – munies d'un système de clefs qui est très proche de celui des flûtes de concert d'aujourd'hui.

L'impact des innovations du XIXe siècle ne s'est pas limité aux instruments qui existaient déjà : de nouveaux instruments ont également été inventés. Le saxophone, par exemple, a été développé dans les années 1840 par Adolphe Sax et a été rapidement adopté en musique militaire, puis en musique dite classique. Durant la même décennie, inspiré par l'invention de Sax, le compositeur Richard Wagner a fait construire des tubas wagnériens spécialement pour sa Tétralogie *L'Anneau du Nibelung*.

Ainsi, on observe que, pendant le XIXe siècle, plusieurs instruments évoluaient

rapidement et étaient à la fine pointe de la technologie de l'époque. Ils se sont par la suite standardisés et ont, de façon générale, pris la forme qu'on leur connaît aujourd'hui. Ce ralentissement de leur évolution a été très bénéfique pour la musique occidentale puisque cela a permis le développement de techniques de jeu très raffinées, la création d'imposants corpus d'œuvres, la spécialisation des musiciens (compositeur, chef, interprète) et, plus généralement, le développement de savoir-faire et de cultures associés à chaque instrument. Au sein de cette culture, l'acquéreur d'un instrument de musique recherche généralement un instrument qui se conforme aux standards et les innovations technologiques peuvent être accueillies avec suspicion.

Mais parallèlement à cette forte tradition – certains la diraient même lourde – d'autres instruments sont constamment inventés. Au XXe siècle, les luthiers et facteurs ont expérimenté avec l'électricité, ce qui a encore mené à l'invention de nombreux instruments. Les plus connus sont le thérémine, les ondes Martenot, l'orgue électrique et le synthétiseur. À cela s'ajoute une multitude d'instruments acoustiques qui ont été électrifiés : le piano, le violon et, surtout, l'omniprésente guitare électrique. La table tournante, qui n'était à l'origine qu'un appareil servant à la reproduction des sons enregistrés, a été graduellement promue au rang d'instrument de musique par les platinistes.

Le XXe siècle a également vu naître de nouveaux instruments acoustiques. Parmi les plus notables, on trouve les instruments microtonaux inventés par Harry Partch entre les années 1930 et 1960. On trouve également le Cristal Baschet (figure 2.1), inventé par Bernard et François Baschet dans les années 1950, ainsi que le sixxen, conçu dans les années 1970 par Iannis Xenakis spécifiquement pour sa pièce *Pléiades*.

Plus récemment, le compositeur Jean-François Laporte a inventé une multitude d'instruments qu'il emploie dans ses œuvres. Dans son instrumentarium, on retrouve entre autres l'orgue à sirène, la *FlyingCan* et *The Pipe* (figure 2.2).



Figure 2.1 – Un Cristal Baschet basse, instrument conçu par Pierre et François Baschet. Photo par Marc-Antoine Millon (Travail personnel) CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons.

Le bref historique sur l'invention des instruments que nous venons de présenter est évidemment bien superficiel, mais il suffit à mettre en lumière deux choses. D'abord, que la technologie a toujours eu un impact sur l'évolution et l'invention d'instruments. Ensuite, que, en parallèle avec la remarquable stabilité des instruments de l'orchestre, il existe une volonté de découvrir de nouvelles façons de produire des sons. C'est par cette voie que beaucoup de musiciens et artistes sonores cherchent à raffiner et à rendre singulières leur démarche et leurs œuvres. C'est dans cette lignée que s'inscrit la recherche sur l'éponge, l'instrument de musique numérique que nous avons développé.



(a) *The Pipe*.

(b) *La FlyingCan*



(c) *L'orgue à sirène*.

Figure 2.2 – Trois des instruments conçus par Jean-François Laporte. Images reproduites avec la permission de Jean-François Laporte.

2.2 Les musiques électroacoustiques

Un tout autre type d'instrument de musique a vu le jour dans la première moitié du XXe siècle : le studio d'enregistrement. Il se différencie des autres instruments de musique dont il a été question jusqu'ici par le fait qu'il a été conçu non pas pour interpréter la musique en direct, mais pour la fixer sur un support. C'est le studio – avec les nombreux appareils qui le constituent – qui ont permis le développement de la musique électroacoustique.

Cette musique était centrale à nos études de premier cycle universitaire et elle a eu une influence capitale sur la présente recherche. La découverte des grandes œuvres du genre et des possibilités sonores qu'offrait le studio a éveillé une créativité nouvelle et a enclenché des réflexions profondes sur la musique. Désormais, *tous* les sons auraient un potentiel musical et le studio d'enregistrement les rendait accessibles.

Mais cet enthousiasme a rapidement été diminué par une particularité notable de l'approche électroacousticienne traditionnelle : la musique étant généralement fixée sur un support, la donner en concert consiste à la diffuser sur des haut-parleurs. De coutume, les signaux des deux canaux des œuvres stéréophoniques peuvent être aiguillés dynamiquement vers une collection de haut-parleurs appelée *orchestre de haut-parleurs* ou *acousmonium* (Bayle, 1993). Ce mode de présentation permet au diffuseur de contrôler l'amplitude et la mise en espace de l'œuvre, mais ne lui permet pas de jouer sur le déroulement temporel ou sur les morphologies sonores. Il arrive que le travail du diffuseur soit comparé à celui de l'interprète en musique instrumentale, mais en comparaison, son rôle nous semble extrêmement limité.

Cette façon de faire semble aller à l'encontre des études qui tendent à démontrer que les messages musicaux sont mieux communiqués quand le public voit les interprètes. En effet, plusieurs chercheurs croient que les gestes des instrumentistes

jouent un rôle important dans la perception de l'œuvre par les auditeurs (Wanderley et al., 2005, Broughton et Stevens, 2009, Schutz et Lipscomb, 2007). De la même manière, les expressions faciales contribuent grandement à la communication des émotions (Buck et al., 1972). Ces recherches soutiennent donc qu'une présence humaine contribue à la transmission des idées et émotions musicales.

Il nous semble aussi que la reproduction mécanique de l'œuvre rend le moment moins singulier. Nous croyons que l'unicité d'un concert traditionnel amène le public à accorder une plus grande importance au moment et à s'impliquer davantage dans l'écoute et dans la communion avec les interprètes.

Notre critique du mode de présentation acousmatique est dure, mais nous avons un profond respect pour les compositeurs et leur musique. Certains ont une écriture extrêmement raffinée et créent des gestes musicaux d'une exquise délicatesse. Notre attachement aux possibilités qu'offrent l'enregistrement, la synthèse et les traitements nous a été inculqué par les grands acousmaticiens et nous reconnaissons sans hésiter les qualités et l'importance de cette pratique. Son influence est centrale à notre démarche puisque c'est, en grande partie, une réaction au mode de présentation acousmatique qui nous a poussés à nous intéresser aux IMN.

Cette réaction s'inscrit dans la lignée du *live electronics*. Pour les adeptes de ce courant (et nous-même), apporter les instruments électroniques et les outils du studio d'enregistrement sur scène permet d'interpréter et d'improviser des œuvres. En ce sens, nous héritons directement de John Cage qui, dès 1939, utilisait des phonographes, des oscillateurs et des magnétophones pour interpréter les pièces de sa série *Imaginary Landscape* (Emmerson et Smalley).

2.3 Les instruments de musique numériques

Les IMN (DMI ou *Digital Musical Instruments* en anglais) s'inscrivent aussi dans la mouvance du *live electronics*. Les premiers ont vu le jour dans les années

1980. Si on exclut les instruments construits autour du clavier musical comme le Synclavier ou le Fairlight, les *Hands* de Waisvisz (1985) sont probablement l'IMN le plus célèbre et le plus ancien. Il s'agissait d'une paire de cadres de bois dans lesquels l'interprète insérait ses mains. Des boutons étaient disposés de façon à ce qu'ils soient facilement actionnables avec les doigts, des potentiomètres étaient manipulables avec les pouces, et des capteurs à ultrasons détectaient la distance entre les deux mains.

L'apport de Waisvisz est remarquable non seulement parce qu'il est un des premiers à avoir conçu un IMN, mais aussi parce qu'il a joué de son instrument pendant plusieurs décennies, c'est-à-dire de 1984 (année du premier concert à Amsterdam) jusqu'à peu de temps avant sa mort en 2008. Sa persévérance lui a permis de développer une expertise hors du commun et rarement égalée dans le domaine.

Les technologies ont beaucoup évolué depuis les débuts des *Hands*, mais les objectifs et la démarche de Waisvisz et de son équipe du *Studio for Electro Instrumental Music* (STEIM) sont, à la base, les mêmes que les nôtres. En bref, l'objectif principal est de pouvoir jouer des musiques électroniques à l'aide d'interfaces gestuelles.

Le travail de Lætitia Sonami sur son *Lady's Glove* est également un incontournable. Ce gant, également conçu à STEIM, est muni de capteurs de flexion, de capteurs d'effet Hall, d'un capteur de pression et de capteurs à ultrasons. Comme Waisvisz, elle a utilisé son instrument pendant plus de 20 ans. Le premier *Lady's Glove* a été utilisé en 1991 (Sonami, 2010) et, à notre connaissance, Sonami l'utilise encore aujourd'hui.

Nous avons été influencés et inspirés par les travaux de Sonami et Waisvisz, mais nous avons pris une direction légèrement différente en optant pour une interface haptique (manipulable) plutôt que pour une interface portable (ou *wearable* en anglais). Comme nous le verrons au chapitre 3, l'éponge est faite de mousse et est par conséquent malléable. Cela permet de sentir la résistance du matériau avec

les doigts et donc d'avoir une sensation tactile de l'interface. Pouvoir palper le matériau peut donner d'importants indices à l'interprète.

À l'origine, l'idée de travailler avec une matière molle a été inspirée par les travaux sur les *squeezables* menés au Media Lab du Massachusetts Institute of Technology (MIT) par Weinberg et Gan (2001). Cette interface consistait en une demi-douzaine de balles malléables attachées à une table par des élastiques conducteurs dont la résistance varie avec l'étirement. En plus de ces capteurs d'étirement, chaque balle contenait trois capteurs de pression disposés de façon à détecter les déformations sur trois axes. L'instrument a été utilisé pour jouer une pièce de Gil Weinberg mais, à notre connaissance, la recherche sur les *squeezables* n'a pas été poursuivie.

Mark Zadel a travaillé sur une interface de mousse qui a eu une importante influence sur le design de l'éponge (Zadel et al., 2003, Miranda et Wanderley, 2006, pp 117-118). Il a placé huit capteurs de flexion entre deux rectangles de mousse, ce qui permettait d'en détecter les déformations. Zadel a abandonné le développement de son interface pliable, mais nous considérons que notre travail s'inscrit dans la même lignée.

Kiefer (2010) a utilisé de la mousse conductrice dans laquelle il a inséré les extrémités de 17 fils de cuivre. Le premier fil fournit une tension électrique de 5 V alors que les 16 autres servent à mesurer des tensions à différents endroits dans la mousse. La résistance de la mousse variant avec les déformations, les 16 fils se comportent un peu comme des bornes de potentiomètres. Les 16 tensions électriques mesurées sont ensuite mappées à des paramètres du son à l'aide d'un réseau neuronal. Kiefer a par la suite collaboré avec Mick Grierson et ils ont ensemble développé le *NoiseBear*, un IMN conçu pour les enfants avec handicaps physiques ou mentaux (Grierson et Kiefer, 2013). Les stratégies de captation et de mappage développées précédemment ont été adaptées de façon à pouvoir les intégrer à un ourson en peluche musical.

Le SculpTon est un autre exemple d'interface musicale malléable (Boem, 2014). Des capteurs sont assemblés à même une structure de latex en forme de tétraèdre. Les six arêtes de la structure sont des tubes opaques flexibles qui ont une diode électroluminescente (DEL) à une extrémité et une photorésistance à l'autre. Quand un tube est plié ou redressé, la lumière est plus ou moins bloquée par la paroi et la photorésistance réagit en conséquence. Cela permet de détecter les déformations de l'objet. L'interface est également munie d'une centrale inertielle à 10 degrés de liberté – c'est-à-dire d'un accéléromètre, d'un gyroscope, d'un magnétomètre et d'un baromètre – qui permet d'en détecter l'orientation. L'interface est recouverte d'une housse et manipulée à deux mains.

Tous les chercheurs mentionnés précédemment ont participé à une ou plusieurs conférences New Interfaces for Musical Expression (NIME). Cette conférence internationale est tenue annuellement et, comme son nom l'indique, réunit des chercheurs et des artistes qui s'intéressent aux nouvelles interfaces musicales. Cette communauté de chercheurs est une source d'information et d'inspiration majeure dans laquelle nous avons puisé abondamment.

2.4 Objectifs

À l'origine de ce projet, il y avait le désir de tirer le meilleur de deux mondes. D'une part, nous voulions accéder à l'univers pratiquement infini des sons et des traitements numériques et, d'autre part, nous voulions conserver le caractère ludique et l'interaction que permettent les instruments acoustiques. De plus, nous avions envie d'un instrument qui ne ressemblerait à aucun autre ; un instrument qui stimulerait la créativité en faisant approcher la musique d'une façon différente.

En bref, la conception de l'éponge – que ce soit les matériaux utilisés, les technologies de captation employées ou les stratégies de mappage déployées – a été guidée par quatre objectifs principaux :

- avoir accès aux sons et traitements numériques ;
- pouvoir interagir avec un public ou avec d'autres musiciens ;
- conserver l'aspect ludique inhérent aux instruments acoustiques ;
- disposer d'un instrument original dont l'aspect et le comportement suggèrent un nouveau rapport au son et à la musique.

Dans le prochain chapitre, nous expliquerons comment les différentes facettes de l'éponge (son allure générale, les capteurs employés, les stratégies de transmission des données et le mappage) sont au service de ces objectifs. Pour chacun de ces aspects, nous élaborerons sur les défis rencontrés, sur les améliorations à apporter ainsi que sur des aspects à explorer lors de recherches futures.

CHAPITRE 3

L'ÉPONGE

3.1 Description générale

L'éponge a l'apparence d'un coussin dont les dimensions sont de 19 cm × 28 cm × 5 cm. Cette taille a été établie pour permettre une manipulation à deux mains confortable pour un interprète. Il s'agit aussi d'un format pratique pour le transport.

La mousse a été choisie pour ses propriétés haptiques : écraser, tordre ou plier l'éponge requiert un certain effort et procure une sensation tactile. Cela permet à l'interprète de sentir et de connaître l'état de l'instrument sans avoir à le regarder.

Deux plaques de plastique rigide de 18 cm × 8,5 cm sont insérées dans des fentes faites à chacune des deux extrémités du rectangle de mousse. Ces plaques constituent le squelette de l'éponge. Elles servent de support pour les composantes électroniques et facilitent certaines manipulations comme la torsion ou le pliage.

Une housse de tissu extensible recouvre la mousse et contribue à maintenir en place le squelette et les composantes électroniques. La housse peut être lavée ou changée.

La finition extérieure de l'éponge est son aspect le moins achevé. Nous sommes encore à la recherche d'une solution de design qui permettrait de conserver son allure amusante actuelle tout en lui donnant une élégance plus classique.

L'éponge peut être tenue et jouée de n'importe quelle façon, mais des habitudes et des techniques de jeu ont émergé avec l'usage. Nous reviendrons plus en détail sur ces aspects ultérieurement, mais pour éviter toute confusion, il nous semble essentiel de présenter immédiatement la façon standard de la tenir. En *position de base*, l'éponge est tenue horizontalement avec les boutons vers le sol. La plaquette

Arduino (sur laquelle se trouve l'interrupteur) devrait être près de la main droite de l'interprète.



Figure 3.1 – Myriam Bleau et Martin Marier interprètent la pièce *Origami*. L'éponge de Martin est en *position de base*. Photographie de Nicolas Bernier.

3.2 Microcontrôleur

Le cœur de l'éponge est une plaquette Arduino Fio, une version spécialisée des désormais célèbres et omniprésentes plaquettes Arduino. La Fio a des caractéristiques qui la rendent idéale pour un projet comme l'éponge :

- elle est de petite taille (2,8 cm × 7,6 cm) ;
- elle comprend 8 entrées analogiques et 14 entrées/sorties numériques, ce qui est suffisant pour nos besoins ;
- elle est parfaitement adaptée aux projets qui requièrent une connexion sans fil parce qu'elle inclut un circuit de recharge pour accumulateur lithium-ion et un socle pour module XBee.

Le microcontrôleur monté sur la Fio est un ATmega 328P. Le programme qu'il exécute est extrêmement simple : il lit les signaux sur les entrées numériques et analogiques, les empaquette et les relaie vers le port série. Le module XBee récupère ces données et les envoie par ondes radio vers un autre module XBee raccordé à un ordinateur sur lequel SuperCollider roule. Aucun mappage ou traitement de signal ne se produit sur le microcontrôleur ; les données sont simplement relayées vers l'ordinateur.

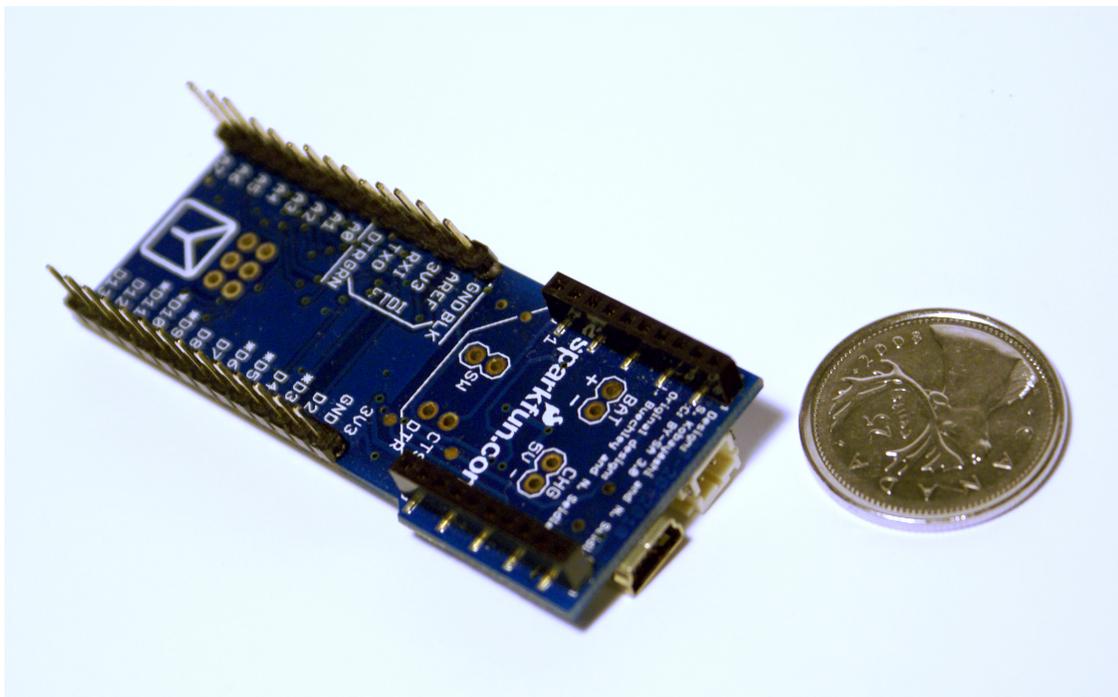


Figure 3.2 – Une plaquette Arduino Fio.

3.3 Capteurs

L'éponge est munie de deux capteurs de pression (*Force Sensing Resistors* ou *FSR*), de deux accéléromètres à trois dimensions et de dix boutons. Les tensions électriques mesurées par les convertisseurs analogique-numérique varient entre 0 V et 3,3 V. Ces tensions sont converties en entiers positifs à dix bits, donc en valeurs

comprises entre 0 et 1023. Pour les boutons, nous utilisons tout simplement dix entrées numériques du microcontrôleur. Leur état est enregistré comme un entier positif à dix bits.

3.3.1 Capteurs de pression

Les capteurs de pression sont des FSR 406 fabriqués par la compagnie Interlink Electronics. La résistance mesurable aux bornes de ces capteurs varie avec l'inverse de la pression appliquée sur leur surface de $4\text{ cm} \times 4\text{ cm}$. Les *FSR* sont raccordés aux entrées analogiques A6 et A7 de la plaquette Arduino via un simple circuit diviseur de tension. Le convertisseur analogique-numérique du microcontrôleur a lui aussi une résolution de 10 bits et accepte des tensions variant entre 0 V et 3,3 V. Cependant, le circuit diviseur de tension utilisé ne permet pas d'atteindre une tension de plus de 3,1 V. Par conséquent, la valeur numérique maximale varie entre 900 et 960 (par comparaison au maximum théorique de 1023).

Ces capteurs sont collés au squelette de l'éponge. Lorsqu'elle est tenue en position de base, les capteurs de pression sont sous les pouces et peuvent être actionnés en écrasant la mousse qui les recouvre.

Nous considérons ajouter davantage de ces capteurs dans des versions ultérieures de l'éponge. Nous croyons qu'il pourrait être utile et judicieux d'en disposer un dans chaque coin, mais pour l'instant, les accéléromètres occupent toutes les autres entrées analogiques du microcontrôleur. Nous projetons passer à des accéléromètres numériques de façon à pouvoir libérer au moins deux entrées analogiques.

3.3.2 Accéléromètres

Les accéléromètres utilisés dans l'éponge sont des MMA7361 de la compagnie Freescale Semiconductor. Ces accéléromètres analogiques à trois axes peuvent avoir une sensibilité de $\pm 1,5 g_0$ ou de $\pm 6 g_0$.¹ Dans l'éponge, ils sont configurés pour être

¹ $1 g_0 = 9,80665\text{ m/s}^2$

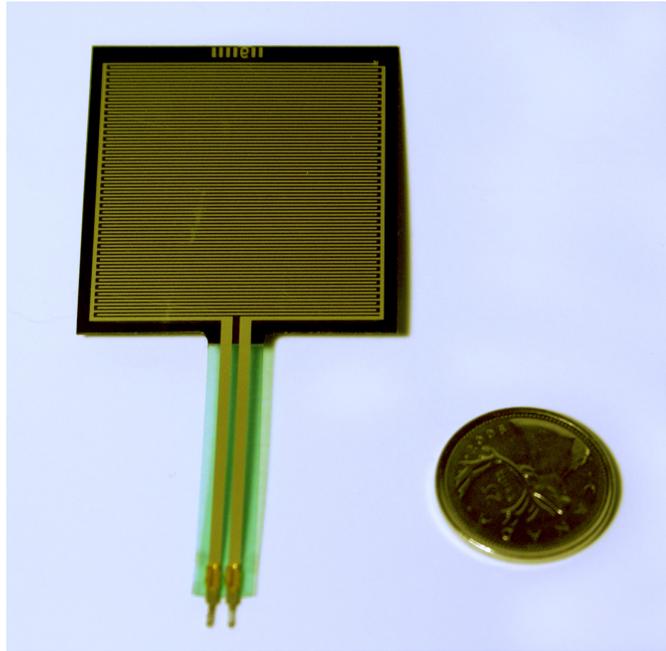


Figure 3.3 – Un capteur de pression FSR 406.

le plus sensible possible, c'est-à-dire à $\pm 1,5 g_0$.

Ils sont vissés sur chacune des deux plaques de plastique et sont raccordés directement aux entrées analogiques A0 à A5 de la plaquette Arduino. En additionnant ou en différenciant les données qui proviennent des deux accéléromètres, il est possible d'avoir une idée de l'orientation, de la torsion et du pliage de l'éponge. Par contre, cette façon de faire a des limites importantes.

Les accéléromètres peuvent détecter l'orientation d'un objet duquel ils sont solidaires, mais de façon incertaine. En effet, les forces dues à la gravité s'additionnent aux forces dues aux accélérations et il est impossible de découpler ces informations à posteriori. Cela signifie que l'orientation, les déplacements et les chocs sont détectés, mais qu'il est à peu près impossible de savoir si une mesure représente un changement d'orientation ou un déplacement.

Dans une version ultérieure de l'éponge, nous prévoyons de remplacer les accéléromètres par des capteurs numériques qui incorporent des accéléromètres, des

gyroscopes et des magnétomètres. Cette amélioration permettra de découpler les changements d'orientation des déplacements et, par conséquent, de détecter l'orientation indépendamment de l'accélération.

Cette amélioration peut sembler cruciale et urgente, mais comme nous le verrons dans la section sur le mappage (chapitre 4), il est tout à fait possible de jouer avec cette contrainte et d'en exploiter les particularités et le potentiel musical.

3.3.3 Boutons

Nous nous sommes longtemps opposés à l'ajout de boutons sur l'éponge parce que nous estimions que ces capteurs binaires n'étaient pas compatibles avec les objectifs du projet (présentés au chapitre 3). Il nous semblait qu'appuyer sur des boutons serait peu ludique et que, en comparaison avec d'autres capteurs, les possibilités d'interaction avec un public ou avec d'autres musiciens étaient limitées. Ce capteur omniprésent et banal nous apparaissait comme un vestige d'un passé duquel il fallait nous affranchir.

Nous nous sommes cependant rendus à l'évidence : l'ajout de boutons décuple les fonctionnalités de l'éponge sans pour autant amoindrir ses capacités. En 2011, près de quatre ans après le tout premier prototype, nous avons ajouté sept boutons, tous actionnables par la main droite. Nous avons rapidement réalisé qu'il serait souhaitable d'avoir des boutons de chaque côté, entre autre pour faciliter l'utilisation de touches de combinaison. Nous avons également observé que cinq boutons par main était amplement suffisant. Un nombre plus élevé n'offrait pas de possibilités supplémentaires notables et augmentait le risque d'erreurs. En 2012, nous avons conçu une version de l'éponge à dix boutons : cinq à gauche et cinq à droite.

Les boutons sont principalement utilisés pour démarrer ou arrêter des processus et pour changer la hauteur des notes jouées. Leur mappage sera expliqué au chapitre 4 (section 4.3.3).

Les premiers boutons installés sur l'éponge étaient des modèles bon marché. Il

s'agissait de boutons génériques du genre de ceux qui sont installés sur les surfaces de contrôle ou sur les claviers MIDI pour naviguer dans les menus. Ces composantes avaient tendance à s'user rapidement et leur comportement était souvent erratique : le contact était parfois imprévisible et de nombreux faux positifs étaient enregistrés par le microcontrôleur. Après avoir considéré quelques options, nous avons remplacé ces boutons par des boutons conçus pour des claviers d'ordinateur haut de gamme : les Cherry MX Black. Les boutons sont restés les mêmes depuis ce changement.

3.4 Communication sans fil

Malgré le coût additionnel que cela implique, il a toujours été jugé essentiel que l'éponge soit une interface sans fil. D'abord, un fil restreindrait considérablement la liberté de mouvement et, par extension, les possibilités de l'instrument. De plus, un fil constitue un risque de bris supplémentaire, surtout pour une interface qui est appelée à être manipulée de façon énergique. Finalement, les problèmes logistiques inhérents aux situations de concert sont plus facilement gérables sans fil : l'ordinateur peut être placé à n'importe quel endroit et la scène n'est jamais encombrée.

Il existe un bon nombre de technologies qui permettent l'acheminement de données sans fil, mais les appareils et les protocoles sont rarement pensés en fonction des besoins particuliers des musiciens ; ce sont généralement les besoins des domaines industriel et commercial qui sont pris en compte.

Dans ces applications, l'intégrité des données est cruciale alors que la latence est un enjeu beaucoup moins important. Pour une interface conçue pour jouer de la musique en temps réel, ces priorités sont inversées : minimiser la latence est crucial, mais la perte de données ne constitue qu'un problème mineur.

La possibilité de chiffrer les données est une caractéristique importante des protocoles Bluetooth, ZigBee et Wi-Fi, mais pour un IMN, il ne s'agit pas d'un

avantage considérable. Même si les ressources utilisées pour la cryptographie ne représentent qu'une petite charge pour un système de transmission de données, il nous semble que, dans un contexte musical, ces ressources devraient être économisées pour minimiser la latence. À cet effet, Mitchell et al. (2014) ont fait des tests sur les connexions Wi-Fi et recommandent la désactivation du chiffrement des données.

Le domaine des communications sans fil est très complexe et même les ingénieurs aguerris peuvent avoir du mal à s'y retrouver. Choisir le protocole idéal est une tâche difficile et, en fin de compte, c'est par essais et erreurs que nous avons procédé pour choisir le protocole utilisé par l'éponge. Plusieurs technologies différentes ont été essayées. Les critères qui ont influencé le choix actuel sont :

- la possibilité de minimiser la latence ;
- la simplicité d'utilisation et de programmation ;
- le coût ;
- la sensibilité aux interférences ;
- la portée ;
- la consommation et l'autonomie de la pile.

Trois technologies différentes ont été testées au cours des neuf dernières années : Bluetooth, Wi-Fi et ZigBee.

3.4.1 Bluetooth

La technologie Bluetooth est probablement la première qui vient en tête lorsque l'on cherche à acheminer des données d'un périphérique à un ordinateur. Le tout premier prototype de l'éponge (2007) était construit autour d'une interface basée

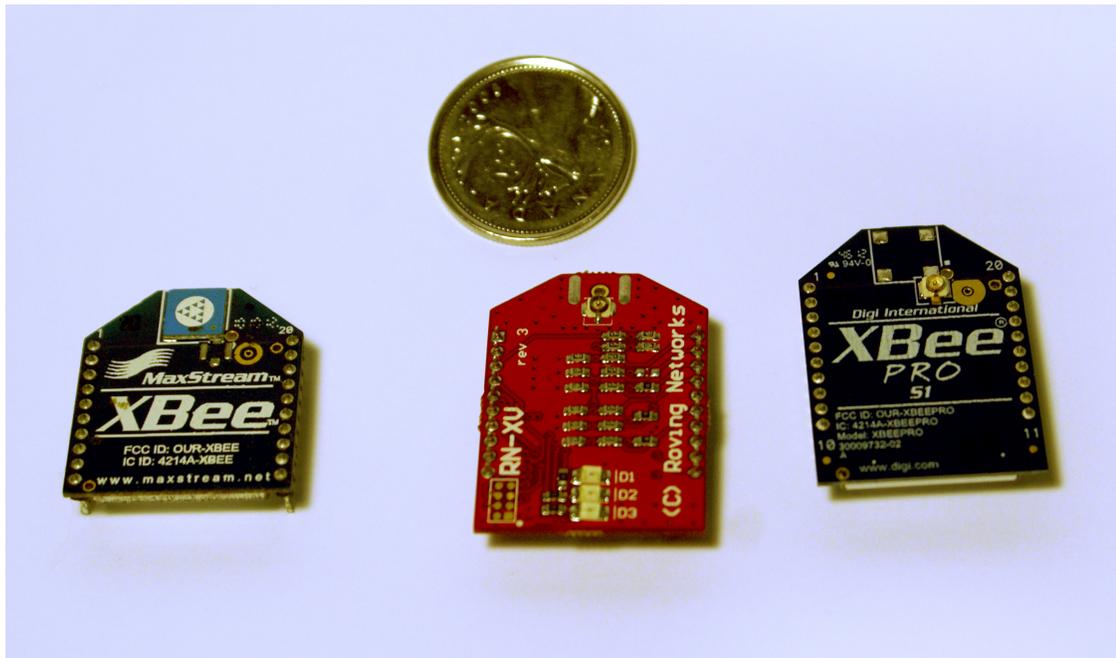


Figure 3.4 – Module XBee de base, module RN-XU (Wi-Fi) et module XBee Pro.

sur cette technologie : la wiMicroDig commercialisée par la compagnie Infusion Systems.

Le protocole Bluetooth est très complet et peut être utilisé pour une multitude d'applications. Malgré cela, la version 2.0 du protocole s'est avérée mal adaptée aux besoins d'une interface musicale. La communication sans fil était fonctionnelle, mais la latence était élevée et variait de façon imprévisible.

Selon les spécifications techniques trouvées sur le site web de Infusion Systems², la latence d'échantillonnage lorsqu'un seul capteur est actif est de 20 ms. Nous n'avons pas mesuré de façon rigoureuse la latence de l'éponge, mais elle était beaucoup trop longue et ne permettait pas les modes de jeu qui requéraient une bonne rigueur rythmique.

Le couplage de l'interface Bluetooth avec l'ordinateur était lui aussi problématique. Lors de la mise sous tension de l'ordinateur et de l'éponge, il arrivait très

²http://infusionsystems.com/catalog/info_pages.php/pages_id/153

fréquemment qu’il faille recommencer le processus d’appairage. Ces instabilités rendaient les prestations en concert très stressantes. Pour minimiser les temps morts causés par les bogues de transmission de données, il fallait s’assurer que la pièce pour éponge était jouée en début de concert ou après un entracte – ce qui donnait le temps d’appairer l’interface Bluetooth à nouveau ou de carrément redémarrer le système.

Il est tout à fait possible que le protocole Bluetooth soit utilisable pour des IMN comme l’éponge et que les problèmes rencontrés soient strictement dus à l’interface wiMicroDig. Il nous semble également probable que les versions plus récentes de Bluetooth soient mieux adaptées aux IMN. Nos essais ont été faits avec la version 2.0 du protocole (datant de 2007) et nous n’avons pas eu l’occasion de tester les versions subséquentes, la plus récente étant la version 4.2, datant de 2014. Malgré tout, nous avons estimé qu’il serait moins chronophage de changer de stratégie et d’explorer les possibilités des autres protocoles. D’autres chercheurs ont eu des difficultés similaires aux nôtres avec Bluetooth et se sont tournés vers les protocoles ZigBee (Tørresen et al., 2010, 2012) ou Wi-Fi (Mitchell et al., 2014).

3.4.2 Wi-Fi

Le Wi-Fi est un ensemble de protocoles conçus pour établir des connexions à un réseau par ondes radio. Il peut assurément servir pour les IMN et, à cet effet, il comporte d’importants avantages.

D’abord, il est omniprésent : les routeurs Wi-Fi sont devenus monnaie courante et les appareils capables de s’y connecter sont de plus en plus nombreux et diversifiés. La tendance actuelle est l’Internet des objets (IdO ou *IoT* pour *Internet of Things*), ce qui veut dire que le Wi-Fi est désormais disponible sur des téléviseurs, des automobiles, des réfrigérateurs, des ampoules électriques, des thermostats, des cuisinières et de nombreux autres objets du quotidien. Cette ubiquité contribue grandement à faire baisser le coût des composantes et rend le Wi-Fi très accessible.

Il faut par contre noter que cette surabondance d'objets connectés peut entraîner la saturation de certaines bandes de fréquences et que les interférences peuvent devenir problématiques.

Deuxième avantage considérable : les ordinateurs, les tablettes et les téléphones sont pratiquement tous pourvus d'interfaces Wi-Fi. En utilisant le Wi-Fi, on permet à un IMN de se connecter à pratiquement tous ces appareils sans avoir besoin de les modifier ou de leur adjoindre un périphérique.

Le Wi-Fi est également un excellent véhicule pour acheminer des messages conformes au protocole Open Sound Control (OSC) (Wright et Freed, 1997). Ce successeur du protocole MIDI spécifie comment les paquets de données doivent être formés, mais n'impose aucune restriction sur la manière de les acheminer. Même s'il n'y a aucune prescription, l'usage le plus commun est d'empaqueter les paquets OSC dans des paquets UDP ou TCP et d'acheminer ces derniers via le protocole IP, qui est le mode de communication du Wi-Fi.

Le Wi-Fi est aussi très rapide. La norme IEEE 802.11b – qui date de 1999 – permet une vitesse de transmission théorique de 11 MBit/s, ce qui est environ 95 fois plus rapide qu'une connexion série à 115,2 kbit/s, la vitesse de transmission utilisée par l'éponge actuellement. Les normes plus récentes comme 802.11g (2003) et 802.11n (2009) permettent des taux de transfert de 54 MBit/s et 450 MBit/s, respectivement.

Malgré ces avantages notables, à l'heure actuelle, l'éponge n'emploie pas le Wi-Fi. Nous avons étudié et essayé quelques options qui nous permettraient de modifier l'éponge en ce sens, mais jusqu'à maintenant, rien ne s'est avéré aussi stable que le protocole ZigBee et les modules XBee Pro. Tout indique que le Wi-Fi est la voie de l'avenir, mais des problèmes importants persistent. Jusqu'à maintenant, nous avons testé deux modules Wi-Fi différents.

Le premier est le RN-XV fabriqué par la compagnie Roving Networks et vendu par Spark Fun. Ce module a l'avantage d'être monté sur une plaquette dont le

format est parfaitement compatible avec les plaquettes XBee. Comme la Fio comporte un socle pour de tels modules, faire ce test ne requerrait aucune modification du matériel. Les résultats ont été plutôt décevants : les paquets transmis étaient très souvent incomplets ou corrompus. Plusieurs fois par minute, la connexion semblait se rompre et les données de capteurs n'étaient pas transmises pendant environ 150 ms. Nous avons testé en profondeur les différents réglages du module RN-XV, mais sans succès.

Nous avons également testé l'interface Photon de la compagnie Particle. Cette interface a l'avantage d'être très abordable (environ 30,00\$) et de remplacer à la fois la Fio et le module XBee. Les résultats étaient un peu meilleurs mais, ici encore, la connexion semblait se rompre par moments. Nous prévoyons étudier plus en profondeur les réglages possibles et n'écartons pas la possibilité d'utiliser le Photon dans des versions ultérieures de l'éponge.

Mitchell et al. (2014) semblent avoir eu beaucoup de succès avec le module x-OSC de la compagnie X-io, mais son prix (environ 300,00\$) nous a incité à reporter à plus tard son acquisition. Pour l'instant, nous continuons d'être attentifs aux nouvelles options. Nous prévoyons de tester sous peu la toute nouvelle plaquette Arduino MKR1000 qui, à l'instar du Photon, intègre un microcontrôleur et un module Wi-Fi. Les plaquettes construites autour des puces ESP8266 et ESP32 (des microcontrôleurs qui comportent un module Wi-Fi) sont également sur la liste des items à tester.

3.4.3 ZigBee

Le protocole ZigBee ou IEEE 802.15.4, tel qu'implémenté dans les modules XBee de la compagnie Digi International, est le protocole qui est actuellement utilisé pour la transmission des données de l'éponge. Sa vitesse de transmission maximale est de 250 kbit/s, mais environ la moitié de cette bande passante est utilisée par le protocole lui-même. En fin de compte, la vitesse de transmission

est de 115,2kbit/s, ce qui est relativement lent en comparaison des protocoles Bluetooth ou Wi-Fi.

Il est donc un peu surprenant que ce protocole lent et conçu pour les réseaux en mailles se retrouve dans un IMN. Sur papier, le Bluetooth et le Wi-Fi sont supérieurs, mais en pratique, les connexions XBee sont plus stables et suffisamment rapides. D'ailleurs, les modules XBee ont été très utilisés dans le domaine des nouvelles interfaces musicales (Fléty et Maestracci, 2011, Schacher, 2010, Bevilacqua et al., 2007, Leeuw, 2012, Hattwick et al., 2014).

Nous aborderons plus spécifiquement le sujet de la latence dans la section 3.6, mais il nous semble pertinent d'en parler un peu ici. Nous n'avons pas mesuré la latence ajoutée par la transmission sans fil, mais nous avons mesuré la latence totale de l'éponge : elle est d'environ 28 ms. Ce délai est perceptible pour un interprète, mais l'instrument est néanmoins utilisable : il est tout à fait possible de jouer des rythmes avec précision. Pour le public, aucun délai n'est perceptible.

Dans certains contextes, des interférences peuvent empêcher l'établissement d'une connexion stable entre les modules XBee. En 2012, lors d'un concert extérieur au Centre-Ville de Montréal, les interférences étaient telles qu'il nous a fallu placer le récepteur à moins de 40 cm de l'émetteur. Et même en prenant cette mesure extrême, la connexion se brisait par moment. Il nous a fallu faire le spectacle malgré ce problème technique, mais pour remédier à la situation, nous avons ultimement remplacé les modules XBee (de base) par des modules XBee Pro. Ces derniers ont une puissance de 18 dBm (63 mW) plutôt que de 0 dBm (1 mW). Depuis ce changement, la batterie se vide considérablement plus rapidement, mais nous n'avons plus eu de problèmes liés aux interférences.

Jusqu'à maintenant, les modules XBee Pro constituent la meilleure solution que nous ayons trouvée, mais nous espérons pouvoir passer au Wi-Fi bientôt. La possibilité d'intégrer rapidement l'éponge dans des réseaux standards et omniprésents, la bande passante beaucoup plus large, ainsi que la possibilité d'envoyer directe-

ment des messages OSC sont les trois avantages qui nous incitent à aller dans cette direction.

D'ici là, nous devons composer avec la bande passante limitée des modules XBee et devons minimiser la taille des paquets envoyés afin de minimiser la latence et de maximiser la fréquence d'échantillonnage.

3.5 Empaquetage des données

Des chercheurs comme Schmeder et Freed (2009) proposent de rendre les données conformes au protocole OSC à même l'interface musicale, c'est-à-dire avant même de les acheminer vers un ordinateur ou un autre appareil. Cette stratégie comporte des avantages significatifs :

- les messages envoyés sont lisibles directement par un grand nombre d'applications ;
- une étape de réception et d'aiguillage des données sérielles est évitée ;
- l'interface musicale peut être reconnue automatiquement par les autres appareils.

Dans un contexte où la bande passante serait assez grande (avec une connexion filaire ou Wi-Fi, par exemple), il n'y aurait pas vraiment de compromis à faire pour pouvoir bénéficier de ces avantages. Par contre, avec la connexion ZigBee de l'éponge, le formatage OSC aurait un impact notable sur le temps de transmission et sur la latence. Pour cette raison, nous avons jugé crucial de réduire le plus possible la taille des paquets envoyés.

Il serait possible de représenter les signaux à l'aide de caractères ASCII, mais cette solution causerait des variations de latence. En effet, la taille des paquets pourrait varier considérablement en fonction de la valeur des signaux représen-

tés. La valeur 1023, par exemple, devrait être représentée par quatre octets (les caractères 1, 0, 2 et 3), alors que la valeur 1 n'en nécessiterait qu'un seul.

Pour cette raison, nous avons choisi d'encoder les valeurs à dix bits de chacun des capteurs sur deux octets (voir tableau 3.I). Le premier octet ne comporte que les deux bits les plus significatifs alors que le second comporte les huit bits les moins significatifs.

Encoder les données des huit capteurs analogiques et des dix boutons requiert un total de 18 octets (voir tableau 3.II). Ces 18 octets sont empaquetés conformément au protocole SLIP.

TABLEAU 3.I – La valeur à dix bits de chacun des capteurs est encodée sur deux octets.

	Valeur binaire	Plage de valeurs
Octet 1 (MSB)	000000xx	0 à 3
Octet 2 (LSB)	xxxxxxxx	0 à 255

TABLEAU 3.II – Les données des huit capteurs et dix boutons de l'éponge peuvent être représentés par 18 octets.

Capteur	Taille en octets
Capteur de pression A	2
Capteur de pression B	2
Accéléromètre A x	2
Accéléromètre A y	2
Accéléromètre A z	2
Accéléromètre B x	2
Accéléromètre B y	2
Accéléromètre B z	2
Dix boutons	2
Total	18

Ce protocole simple spécifie que les paquets doivent être séparés par un octet dont la valeur est 192. Si l'on désire envoyer la valeur 192, on doit la remplacer par les valeurs 219 et 220. Si l'on désire envoyer la valeur 219, on doit envoyer les valeurs 219 et 221. Cela signifie qu'un octet supplémentaire sera envoyé à chaque

fois que les valeurs 192 ou 219 seront envoyées. Comme un octet sur deux envoyé par l'éponge a toujours une valeur comprise entre 0 et 3 (voir tableau 3.I), le nombre d'octets qui peuvent avoir la valeur 192 ou 219 est de neuf. On peut donc conclure que le paquet le plus petit aura une taille de 19 octets (les 18 octets listés dans le tableau 3.II, plus l'octet de séparation) et que le paquet le plus grand possible aura une taille de 28 octets. Quoi qu'il en soit, la très grande majorité des paquets ne comprendront ni la valeur 192 ni la valeur 219, ce qui veut dire que, en somme, les temps de transfert et la latence sont plutôt stables.

3.6 Fréquence d'échantillonnage et latence

La vitesse de transmission maximum pour l'éponge est actuellement de 115,2 kbit/s. Cette limite est imposée par la norme ZigBee et le taux de transfert du port série. Comme les paquets de l'éponge ont une taille maximum de 232 bits (29 octets incluant l'octet de séparation), il n'est pas possible d'envoyer plus 500 paquets par seconde. Pour nous assurer que cette limite n'est pas dépassée, un délai de 2 ms est ajouté entre l'envoi de chaque paquet. Nous pouvons donc dire que la fréquence d'échantillonnage de l'éponge est d'environ 500 Hz.

Nous avons mesuré approximativement la latence totale de l'éponge en utilisant la méthode suivante.

- un microphone était disposé devant un haut-parleur, à environ 30 cm (cette distance n'a aucun effet sur la mesure) ;
- l'éponge était juste à côté du haut-parleur, à la même distance du microphone ;
- un son était déclenché en frappant l'éponge ; ce son jouait sur le haut-parleur ;
- le microphone captait le son acoustique de l'éponge et, peu de temps après, le son émis par le haut-parleur ;

- le signal du micro était enregistré et la forme d'onde a été analysée visuellement.

Avec cette méthode, il est possible de mesurer le temps qui sépare le premier impact (le son acoustique) du deuxième (le son du haut-parleur). Cette différence de temps correspond à la latence de l'éponge.

Nous avons enregistré deux fois 20 impacts sur l'éponge. Les 20 premiers ont été faits alors que le moteur audio fonctionnait avec un tampon de 128 échantillons. Les 20 suivants ont été faits avec un tampon de 1024 échantillons. Dans chacun des deux groupes, une mesure a dû être rejetée parce que la forme d'onde n'était pas clairement lisible. Le tableau 3.III contient la liste de toutes les mesures en nombre d'échantillons à une fréquence d'échantillonnage de 48 kHz.

3.7 Bref historique

Dans les sections précédentes, l'éponge a généralement été décrite telle qu'elle était en 2015 et en 2016. Le tableau 3.IV résume l'évolution de l'éponge depuis les tout débuts en 2007.

TABLEAU 3.III – Mesures de la latence de l'éponge. Les valeurs sont des nombres d'échantillons. Un total de 40 mesures ont été faites : 20 mesures où le tampon était de 128 échantillons et 20 où il était de 1024. Selon ces mesures, la latence totale moyenne de l'éponge est d'environ 1321 échantillons (à 48 kHz).

Taille du tampon	128	1024
	1816	2741
	1482	2584
	1679	2717
	1214	2471
	1144	2820
	943	2813
	1303	2828
	1193	2518
	1222	2698
	1180	2689
	1602	2547
	1222	2494
	1094	2369
	1482	2734
	1074	2691
	1227	2289
	1624	2544
	1191	2373
	1402	2715
Moyenne (échantillons)	1320,7368	2612,3684
Moyenne (ms)	27,51535	54,424342

TABLEAU 3.IV – Bref historique de l'éponge : résumé de l'évolution de l'éponge depuis sa première itération en 2007.

Avril 2007	La première éponge est faite de huit éponges de cuisines cousues les unes aux autres. Elle est munie deux capteurs de pression (FSR 402), un accéléromètre 2D et un accéléromètre 3D. Elle comporte une interface wiMicroDig de la compagnie Infusion Systems.
Juin 2007	Les éponges de cuisine sont remplacées par deux rectangles de mousse de 19 cm × 28 cm × 5 cm. Les capteurs sont cousus entre les deux mousses. L'éponge est jaune et rouge.
Juillet 2010	L'éponge est reconstruite autour d'une nouvelle interface et d'un nouveau protocole de communication sans fil : l'Arduino Fio et le module XBee. Elle comprend deux capteurs de pression (FSR 406) et deux accéléromètres 3D (MMA7360). Les capteurs sont collés à la mousse avec de la colle chaude. L'éponge a maintenant une housse rayée bleue.
Mars 2011	Sept boutons bon marché sont ajoutés ; ils sont tous du côté droit. Les deux capteurs de pression sont du côté gauche.
Mai 2012	On passe à dix boutons : cinq de chaque côté. Il n'y plus qu'un morceau de mousse. Les capteurs sont maintenant vissés sur des plaques de plastique rigides qui sont insérées dans des entailles faites dans la mousse.
Été 2012	Les capteurs de pression sont déplacés : il y en a maintenant un de chaque côté.
Septembre 2012	Les modules XBee de base sont remplacés par des modules XBee Pro.
Automne 2014	Les boutons bon marché sont remplacés par des boutons Cherry MX Brown.

CHAPITRE 4

LE MAPPAGE

Pour un instrument de musique numérique (IMN), le mappage est la correspondance entre les signaux des capteurs et les paramètres du son. Non seulement cet étage est absolument essentiel, mais il s’agit d’un travail très difficile et délicat qui est central au domaine des IMN.

Dans ce chapitre, nous ferons d’abord un survol d’un certain nombre de stratégies de mappage. Par la suite, nous proposons une réflexion théorique sur les enjeux du mappage dans le contexte des IMN. Finalement, nous présenterons les stratégies qui ont été utilisées avec l’éponge et nous expliquerons comment elles contribuent à l’atteinte des objectifs présentés à la section 2.4.

4.1 Survol de diverses stratégies de mappage

4.1.1 Mappage *un-à-un* et mappages explicites

Le mappage est souvent pensé et représenté comme une grille de correspondances. D’un côté, on trouve les signaux des capteurs et, de l’autre, les paramètres du système générateur de son. L’utilisateur conçoit un mappage *un-à-un* en plaçant dans la grille des points de jonction qui, généralement, comportent des fonctions de mise en échelle. (Voir la section 4.1.1.2 pour plus de détails sur la mise en échelle.)

Ces mappages sont dits *explicites* parce que chaque connexion et chaque mise en échelle est déclarée de façon complète par le concepteur. La figure 4.1 représente un mappage explicite *un-à-un*, c’est-à-dire un mappage où chaque capteur n’affecte qu’un seul paramètre.

Les mappages explicites *un-à-un* constituent le b a ba de cette discipline et ils sont, de loin, les plus utilisés (Rovan et al., 1997). Il est tout à fait possible de

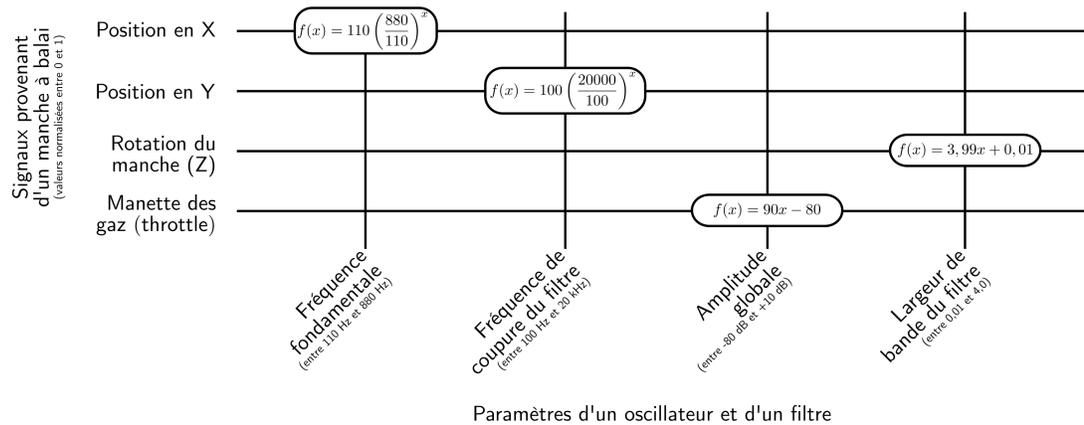


Figure 4.1 – Représentation en grille d’un mappage *un-à-un*. Un contrôleur de jeu de type manche à balai affecte les paramètres d’un oscillateur et d’un filtre passe-bas. Pour adapter l’ambitus des valeurs reçues à l’ambitus du paramètre affecté, une fonction de mise en échelle est associée à chaque point de correspondance.

concevoir des mappages très complexes de façon explicite, mais la tâche risque de devenir très lourde et les risques de confusion sont élevés. Choisir de concevoir des mappages de façon explicite a donc une influence importante sur les choix qui sont faits. En optant pour un mappage explicite, on accepte que les correspondances simples seront plus faciles à réaliser que des correspondances plus complexes et qu’elles risquent fort d’être favorisées.

Comme le suggèrent Rovan et al. (1997), les mappages plus complexes peuvent appartenir à l’une de ces catégories :

- mappages convergents (*many-to-one*) ;
- mappages divergents (*one-to-many*) ;
- mappages multiples (*many-to-many*).

Dans la section 4.2.1, nous argumenterons que les mappages simples correspondent davantage à une relation de *contrôle* qu’à une relation de *jeu*. Nous n’irons pas jusqu’à affirmer qu’ils sont à bannir, mais nous insisterons sur le fait que nos

expériences avec l'éponge tendent à corroborer les recherches qui suggèrent que les mappages plus complexes ont un plus grand potentiel musical que les mappages simples (Rovan et al., 1997, Hunt et al., 2002, Paine, 2009). Aussi, avec l'éponge, les mappages *un-à-un* sont utilisés avec grande parcimonie et l'accent est mis sur l'emploi de stratégies qui facilitent l'utilisation de mappages complexes.

Qu'un mappage soit simple ou complexe, la première étape est de gérer les capteurs un à un. Il faut presque toujours ajuster les ambitus des signaux, il faut parfois les mélanger les uns aux autres, ou encore les filtrer ou les analyser de différentes façons. Bref, quoi qu'on fasse, il faut généralement commencer par traiter les signaux bruts des capteurs.

4.1.1.1 Traitement des signaux

Les signaux des capteurs peuvent être approchés exactement comme on approche n'importe quel signal et peuvent donc être manipulés de la même façon. Les environnements de programmation audionumérique comme Pure Data, CSound ou SuperCollider intègrent tous une multitude de modules de traitements.¹ Pour accéder à ces vastes collections d'outils, il suffit de changer notre perspective et de cesser de voir les signaux des capteurs comme étant différents des signaux audios.

Il est vrai que, contrairement aux signaux audios, les signaux de capteurs sont souvent unipolaires et que leur fréquence d'échantillonnage est en général plus basse que celle d'un signal audionumérique, mais au-delà de ces différences superficielles, ils sont de même nature. Ils peuvent être mélangés, soustraits, amplifiés, compressés, filtrés, etc. au même titre qu'un signal audio. Avec cette approche, les possibilités de traitement sont pratiquement infinies.

Pour exploiter le plein potentiel d'un capteur et en extraire le maximum d'information, il nous semble essentiel de traiter son signal de multiples façons. Cette

¹Dépendant de l'environnement, ils sont appelés *objets* (Max et Pure Data), *Opcodes* (CSound) ou *Unit Generators* (SuperCollider).

façon de faire est très commune dans la musique pour instruments et traitements en temps réel où une grande quantité d'informations est extraite de signaux qui proviennent de microphones. Dans ce contexte, il est très courant de faire, et ce sur un seul signal, à la fois du suivi d'amplitude, des détections d'attaques et des analyses de hauteurs.

Cette approche dans laquelle un seul capteur (le microphone) est exploité au maximum reste assez peu répandue dans le monde des instruments de musique numériques. Souvent, chaque capteur n'est utilisé qu'à une seule fin et les autres besoins sont comblés par l'ajout de capteurs supplémentaires. Nous préconisons plutôt une approche dans laquelle chaque capteur est exploité au maximum. Pour tirer un maximum d'information, nous appliquons plusieurs traitements différents à chaque capteur.

Les sous-sections qui suivent présentent quelques traitements qui peuvent être appliqués à des signaux de capteurs pour en extraire plus d'information ou pour les conditionner à un usage spécifique. Nous verrons comment ces traitements ont été utilisés avec l'éponge en section 4.3.

4.1.1.2 Fonctions de mise en échelle

La mise échelle est une opération généralement simple qui consiste à adapter l'ambitus des valeurs reçues à l'ambitus du paramètre contrôlé. Si, par exemple, on désire contrôler la fréquence d'un oscillateur entre 100 Hz et 1600 Hz à partir d'un signal qui varie entre 0 et 1023, on peut le faire avec une fonction linéaire :

$$f(x) = \frac{x}{1023}(1600 \text{ Hz} - 100 \text{ Hz}) + 100 \text{ Hz} \quad (4.1)$$

Ou encore avec une fonction logarithmique :

$$f(x) = 100 \left(\frac{1600 \text{ Hz}}{100 \text{ Hz}} \right)^{\frac{x}{1023}} \quad (4.2)$$

Dans cet exemple, comme on affecte une fréquence, il serait probablement souhaitable d'employer la deuxième option.

Ces deux fonctions peuvent être généralisées comme ceci :

$$f(x) = \left(\frac{x - i_{min}}{i_{max} - i_{min}} \right) (o_{max} - o_{min}) + o_{min} \quad (4.3)$$

$$f(x) = o_{min} \left(\frac{o_{max}}{o_{min}} \right)^{\frac{x - i_{min}}{i_{max} - i_{min}}} \quad (4.4)$$

où i_{min} et i_{max} sont les minimums et maximums attendus en entrée et où o_{min} et o_{max} sont les minimums et maximums voulus en sortie.

Il peut également être utile de changer la forme de la courbe en utilisant une fonction exponentielle :

$$f(x) = o_{min} + \frac{o_{max} - o_{min}}{1 - e^w} - \frac{o_{max} - o_{min}}{1 - e^w} (e^w)^{\left(\frac{x - i_{min}}{i_{max} - i_{min}} \right)} \quad (4.5)$$

ici, w est un paramètre qui affecte la forme de la courbe :

- si $w < 0$, la courbe est concave ;
- si $w > 0$, la courbe est convexe ;
- si $w = 0$, la courbe est indéfinie.

La mise en échelle peut servir à transformer un signal unipolaire en un signal bipolaire. Pour un accéléromètre dont la sensibilité est de $3g_0$, les valeurs mesurées comprises entre 0 et 1023 pourraient être mises en échelle entre -3 et 3 avec cette fonction linéaire :

$$\begin{aligned} f(x) &= \frac{x}{1023} (3 - (-3)) - 3 \\ &= \frac{6x}{1023} - 3 \end{aligned} \quad (4.6)$$

La mise en échelle mène normalement à des mappages *un-à-un*, mais on peut très bien faire plusieurs mises en échelle différentes d'un même signal et ainsi créer un mappage divergent.

4.1.1.3 Mise en échelle par tables de correspondance

Les tables de correspondance (remplies manuellement ou algorithmiquement) peuvent remplacer les mises en échelle faites avec des fonctions mathématiques. Elles sont simples d'utilisation et, contrairement aux fonctions, les ressources nécessaires pour le calcul ne croissent pas avec la complexité de la courbe. Par contre, comme la taille de la table doit être égale à la résolution du signal en entrée, elles doivent être adaptées à chaque utilisation.

Dans pratiquement tous les environnements de programmation audionumérique, les tables de correspondance peuvent être dessinées à l'écran, ce qui peut faciliter leur utilisation.

Les tables de correspondance sont une forme de mise en échelle. L'utilisation de l'une ou l'autre de ces deux stratégies de mappage est pratiquement inévitable.

4.1.1.4 Filtrage

Les filtres numériques sont des outils omniprésents en musique et en art sonore et, de façon générale, leur impact sur le son est assez évident. En effet, même des auditeurs peu aguerris perçoivent aisément l'effet d'un filtre passe-bas ou passe-haut sur le son. Ces mêmes filtres peuvent aussi être très utiles pour traiter des signaux qui proviennent de capteurs, mais dans ce contexte, leur impact est plus difficile à comprendre.

En effet, filtrer des signaux qui proviennent de gestes est moins instinctif parce que notre perception du mouvement est liée au domaine temporel, pas au domaine fréquentiel. Par exemple, l'effet de lissage que cause un filtre passe-bas appliqué au signal qui provient d'un accéléromètre n'est pas aussi facile à saisir que le phéno-

mène de ternissement sonore qu'il entraîne sur un signal audible. C'est peut-être pour cette raison que les filtres nous semblent sous-utilisés en mappage pour les INM.

Nous considérons que les filtres sont des outils très puissants qui peuvent contribuer grandement à raffiner un mappage. Le signal d'un accéléromètre, par exemple, peut être filtré de plusieurs façons et nous donner beaucoup d'informations différentes. Un filtre passe-haut rejette les oscillations lentes et ne laisse passer que les changements abrupts dans le signal. Cela peut être très utile pour détecter des impacts.

Il est aussi possible d'appliquer un filtre passe-bande. Cela permet de détecter l'énergie qui est à l'intérieur d'une certaine bande de fréquences. Un certain geste du bras peut engendrer un pic d'énergie à 8 Hz, par exemple. De là, un filtre passe-bande centré à cette fréquence peut aider à reconnaître ce geste.

Un filtre passe-bas lissera le signal et éliminera les crêtes occasionnées par les impacts, ce qui peut être utile pour déterminer l'inclinaison. Notons au passage qu'une moyenne glissante (ou moyenne mobile) se comporte exactement comme un filtre passe-bas.

Ce type de filtre est l'un des traitements les plus utilisés sur les signaux de capteurs et, même s'il peut être très utile, nous suggérons de l'utiliser avec parcimonie. Nous approfondirons cette critique du filtre de lissage à la section 4.3.1.2.

Filtrer des signaux de capteurs peut mener à des mappages divergents.

4.1.1.5 Suivi d'enveloppe

Ce traitement très utilisé sur les signaux audios peut aussi servir à extraire l'énergie d'un signal de capteur, à condition que ce dernier soit bipolaire. Il est assez commun de le placer, par exemple, en aval d'un filtre passe-haut dont le signal de sortie est presque toujours bipolaire.

4.1.1.6 Déclenchements

On a souvent besoin d'analyser un signal pour détecter les dépassements d'un seuil et déclencher des événements. La bascule de Schmidt (*Schmidt Trigger*) est un outil moins connu que la simple détection de seuil et permet d'éliminer du bruit dans le signal. La sortie d'une bascule de Schmidt passe à 1 quand le signal en entrée dépasse un niveau donné, et passe à 0 quand le signal en entrée descend en dessous d'un autre niveau. Dans plusieurs contextes, une simple détection de seuil causera une multitude de déclenchements au lieu d'un seul. Une bascule de Schmidt est un excellent moyen de réduire les risques de déclenchements multiples.

4.1.1.7 Mélange des signaux

Les signaux des capteurs peuvent être mélangés les uns aux autres en appliquant des opérations mathématiques. Il est possible de soustraire deux signaux l'un de l'autre, de les multiplier, de les additionner. On peut également calculer la moyenne de plusieurs signaux. Avec l'éponge, par exemple, nous combinons les signaux des deux capteurs de pression en sélectionnant la valeur la plus élevée, rejetant la valeur la plus faible.

Les opérations trigonométriques, par exemple, sont souvent appliquées à des signaux d'accéléromètres 3D pour calculer l'inclinaison. Il est commun d'utiliser les formules ci-dessous pour calculer le tangage et le roulis d'un accéléromètre à partir des accélérations en x , y et z :

$$\begin{aligned} \text{roulis} &= \arctan\left(\frac{x}{z}\right) \\ \text{tangage} &= \arctan\left(\frac{y}{\sqrt{x^2+z^2}}\right) \end{aligned}$$

Cette stratégie conduit nécessairement à des mappages convergents. Il est d'ailleurs impossible de faire des mappages convergents sans utiliser d'opération mathématique pour les mélanger.

4.1.2 Mappage en couches

Les traitements présentés jusqu'à maintenant sont des méthodes qui permettent d'extraire des traits caractéristiques des signaux de capteurs. Cette opération d'extraction sert habituellement à obtenir des signaux qui correspondent davantage à notre perception que les signaux bruts. On peut, par exemple, filtrer les basses fréquences d'un accéléromètre, faire un suivi d'enveloppe et, finalement, utiliser une bascule de Schmidt pour faire des déclenchements. Dans ce cas, le signal à la sortie de la bascule serait assez proche de notre perception d'un impact.

Cette stratégie par laquelle les signaux des capteurs traversent plus d'une étape de conditionnement avant d'affecter les paramètres du son est souvent appelée *mappage en couches*. Chaque traitement permet d'obtenir une nouvelle génération de signaux qui peut, à son tour, traverser une autre couche de traitement. De cette façon, la complexité est distribuée sur plusieurs niveaux et les mappages deviennent plus faciles à conceptualiser. Cette hiérarchisation permet aussi d'obtenir des signaux plus évocateurs d'un point de vue perceptif et peut donc rendre la conception de mappages plus intuitive.

Le mappage en couches est fréquemment mentionné dans la littérature sur les nouvelles interfaces musicales. Le système ESCHER (Wanderley et al., 1998), par exemple, est un moteur de synthèse qui intègre un étage de mappage à deux couches. Arfib et al. (2002) ont bonifié le concept en suggérant que des couches soient liées à la perception du geste ou du son. Dans leur modèle, une première couche transforme les signaux bruts des capteurs en signaux qui sont liés à la perception du geste. De l'autre côté de la chaîne, une dernière couche transforme des signaux liés à la perception du son en signaux adaptés au contrôle des paramètres du moteur de synthèse. De cette façon, le concepteur peut se concentrer sur la couche centrale et établir des correspondances entre le geste et le son qui s'harmonisent avec sa perception. La figure 4.2 illustre cette façon de faire.

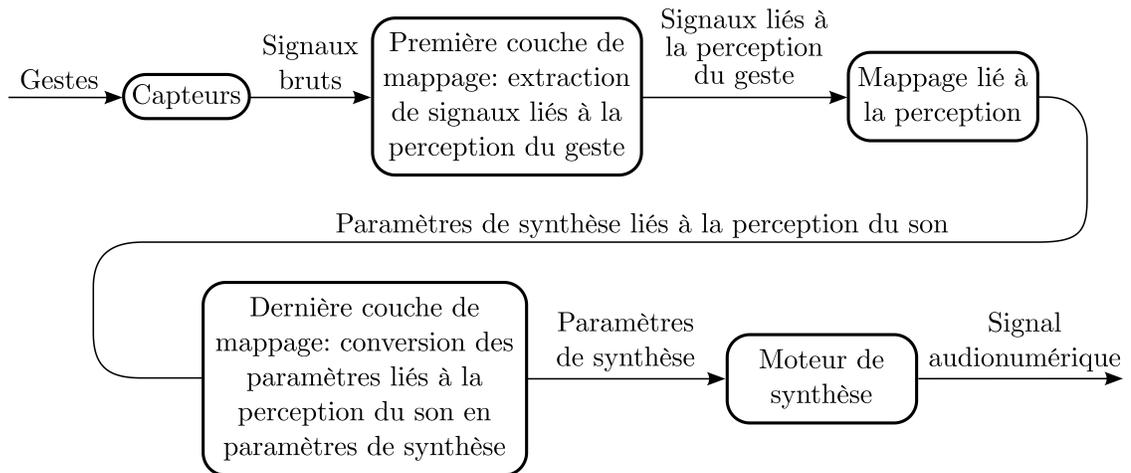


Figure 4.2 – Schéma illustrant un mappage en couches tel que proposé par Arfib et al. (2002).

Paine (2009), quant à lui, propose d’analyser les caractéristiques physiques et électroniques des interfaces musicales et de générer de nouveaux signaux qui appartiennent à l’une de ces quatre catégories : angle, pression, position et vitesse. Cette approche a l’avantage de structurer le processus de mappage. Le concepteur peut ainsi s’attaquer à ces catégories une à une et tenter d’extraire le plus grand nombre de traits caractéristiques possible de son interface. Le tableau 4.I est une liste de traits caractéristiques qui pourraient théoriquement être extraits de l’éponge.

Angle, pression, position et vitesse sont des caractéristiques qui sont perceptibles naturellement. Il serait donc cohérent d’intégrer les suggestions de Paine (2009) et de Arfib et al. (2002) dans une même stratégie de mappage.

4.1.3 Mappages implicites

Les stratégies de mappage implicites sont ainsi nommées parce que l’utilisateur n’a pas à définir manuellement les détails de chaque correspondance entre les signaux de capteur et les paramètres du son. Cette approche implique généralement une forme d’apprentissage automatique (*machine learning* en anglais) dans laquelle l’utilisateur doit fournir au système une collection d’exemples.

TABLEAU 4.I – Des traits caractéristiques de l'éponge classés dans les quatre catégories proposées par Paine (2009). Notez que ces traits caractéristiques sont strictement théoriques et ne sont listés qu'à titre d'exemple. Certains d'entre eux sont impossibles à extraire alors que d'autres n'ont aucun sens en pratique. Il serait, par exemple, très difficile de tordre l'éponge sur le sens de l'épaisseur ; qui plus est, il faudrait adjoindre des gyroscopes aux accéléromètres de l'éponge pour être en mesure d'extraire ce trait caractéristique.

Angle	Pression	Position	Vitesse
Orientation (trois axes)	Capteurs de pression	Position dans l'espace	Vitesse du changement d'orientation
Pliage		État des boutons	Vitesse de changement de pression
Torsion			Vitesse de torsion
			Vitesse de pliage

Reprenons l'exemple du manche à balai de la figure 4.1. Si on utilisait une stratégie de mappage implicite, l'utilisateur aurait à fournir une collection d'exemples, c'est-à-dire une série de correspondances entre des positions du manche à balai et les paramètres du son. Pour simplifier les choses, nous n'utiliserons que les positions en x et en y du manche à balai. La matrice X contient quatre positions : les quatre coins.

$$X = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

La matrice Y contient quatre états possibles pour les paramètres du son. Les quatre paramètres sont, dans l'ordre, la fréquence fondamentale, la fréquence de

coupure du filtre, l'amplitude et largeur de bande du filtre.

$$Y = \begin{bmatrix} 110 \text{ Hz} & 12\,000 \text{ Hz} & 0 \text{ dB} & 1,0 \\ 440 \text{ Hz} & 8000 \text{ Hz} & -80 \text{ dB} & 0,1 \\ 440 \text{ Hz} & 3000 \text{ Hz} & 10 \text{ dB} & 4,0 \\ 880 \text{ Hz} & 1000 \text{ Hz} & -80 \text{ dB} & 2,0 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

Ces exemples indiquent au système que, lorsque le manche à balai est à la position $[0;0]$, les paramètres devraient avoir les valeurs 110, 12000, 0 et 1,0, et ainsi de suite pour les autres paires.

L'algorithme de mappage implicite détermine la valeur des quatre paramètres pour toutes les positions possibles du manche à balai. Ainsi, un tel système pourrait déterminer que, lorsque le manche à balai est en position centrale $[0,5; 0,5]$, les paramètres auront les valeurs 440, 5443, -30 et 0,9. Il nous semble pertinent de souligner que, dans notre exemple, le nombre de signaux en entrée (2) n'est pas égal au nombre de signaux en sortie (4). Il s'agit d'une caractéristique assez commune pour les systèmes de mappage implicite : il est possible d'affecter un nombre arbitraire de paramètres sonores à partir d'un nombre arbitraire de signaux de capteurs.

À l'aide de ce genre de méthode, il devient assez aisé de concevoir des mappages complexes. Comme l'ont suggéré Hunt et Wanderley (2002), ainsi que Paine (2009), les mappages complexes sont plus proches des comportements naturels des instruments acoustiques et semblent être appréciés davantage par les utilisateurs.

Il est certes possible de concevoir manuellement des mappages d'une grande complexité, mais les outils de mappage implicite accélèrent grandement le processus et permettent par conséquent de passer plus de temps sur d'autres tâches comme l'exploration et l'apprentissage de l'instrument.

Il est par contre assez difficile d'anticiper ce que sera exactement le résultat d'un mappage implicite. Le concepteur connaît la collection d'exemples, mais les solutions que le système donnera pour les valeurs en entrée non spécifiées peuvent

être surprenantes. L'interprète doit alors explorer les possibilités de l'instrument et en découvrir les particularités. Cette phase d'exploration est un processus que Wessel (2006) appelle le babillage (*babbling*), faisant référence à l'enfant qui explore son appareil vocal et qui, peu à peu, apprend à parler. Tout comme Wessel, nous estimons que ce passage (forcé) par le jeu et la découverte est tout à fait souhaitable.

Il existe plusieurs approches possibles pour établir des mappages implicites et les résultats obtenus peuvent varier beaucoup en fonction de l'algorithme choisi. Des chercheurs comme Kiefer (2010, 2014) et Cont et al. (2004) proposent l'emploi de réseaux de neurones. Une équipe de l'Institut de recherche et coordination acoustique/musique (Ircam), quant à elle, propose de multiplier les signaux en entrée par une matrice (Bevilacqua et al., 2005). Cette matrice contient les résultats d'une régression linéaire faite à partir d'une collection d'exemples fournie par l'utilisateur.

Malheureusement, ces approches requièrent des connaissances mathématiques et techniques qui ne sont pas à la portée de tous les musiciens. C'est en partie pour contrer ce problème que la chercheuse Rebecca Fiebrink a créé le Wekinator. Ce logiciel, qu'elle appelle un *meta-instrument*, a été conçu pour faciliter l'utilisation d'algorithmes d'apprentissage automatique (Fiebrink et al., 2009). Nous ne connaissons l'existence du Wekinator que depuis peu de temps, mais cet outil de mappage nous semble très bien conçu et nous prévoyons de l'explorer davantage.

Nous avons également notre propre solution à ce problème. Depuis environ cinq ans, nous développons et utilisons un système d'interpolation de pré réglages dans l'environnement SurperCollider que nous présentons dans la prochaine section (Marier, 2012).

4.1.4 L'interpolation de pré réglages

Le système d'interpolation de pré réglages que nous avons développé prend la forme d'un espace virtuel (à une ou plusieurs dimensions) dans lequel il est possible

de disposer une multitude de points représentant chacun un préréglage. L'utilisateur peut déplacer un curseur dans cet espace et les valeurs des paramètres du son varient avec la position du curseur.

Comme pour les autres systèmes de mappage implicite, l'utilisateur doit fournir une collection d'exemples. On peut reprendre l'exemple précédent et voir la matrice Y comme un ensemble de préréglages, et la matrice X , comme un ensemble de points (dans ce cas-ci, il s'agit d'un espace à deux dimensions). Lorsque la position du curseur est égale à un des points, les valeurs des paramètres sont identiques aux valeurs fournies dans la collection d'exemples. En déplaçant graduellement le curseur dans l'espace, les valeurs des paramètres changent en fonction de la proximité des autres points.

Son fonctionnement sera expliqué plus en détail dans les pages qui viennent. Nous proposons d'abord une revue des outils similaires qui l'ont inspiré.

Cette stratégie est implémentée de différentes façons dans plusieurs environnements. Dans les plugiciels GRM Tools, par exemple, on trouve un potentiomètre qui permet de passer graduellement d'un préréglage à un autre (Favreau, 1998). En déplaçant ce seul potentiomètre, presque tous les paramètres du plugiciel sont affectés. On est donc en présence d'un mappage divergent où un signal affecte plusieurs paramètres (*one-to-many*).

Dans l'interface graphique du synthétiseur Sculpture (inclus avec le logiciel Logic Pro), on trouve une section appelée *Morph* qui permet aussi d'affecter une grande quantité de paramètres avec un seul geste. Dans cette implémentation, plutôt que d'actionner un potentiomètre linéaire, on déplace un curseur sur une surface carrée où cinq points (aux quatre coins et au centre) représentent un préréglage. On est donc en présence d'un mappage divergent où deux signaux affectent plusieurs paramètres (*two-to-many*).

En 1995, Ross Bencina avait implémenté un système semblable dans overSYTE,

un granulateur logiciel conçu pour la performance (Bencina, 2005).² Des points de pré-réglage étaient disposés aux quatre coins d'une surface.

Avec le module *Metasurface* de son environnement *AudioMulch*, Bencina Bencina (2005) a amené cette idée plus loin encore. La *Metasurface* permet le même type d'interaction, mais le nombre de points représentant des pré-réglages et le nombre de paramètres dans un pré-réglage sont arbitraires. L'utilisateur peut donc concevoir des espaces bidimensionnels qui contiennent autant de points qu'il le désire. Il peut aussi positionner ces points comme il l'entend et affecter les paramètres qu'il choisit.

4.1.4.1 De l'écran à l'interface tangible

Ces systèmes d'interpolation de pré-réglage sont tous conçus pour être opérés à partir d'un écran, en déplaçant un curseur le long d'un potentiomètre ou à l'intérieur d'un espace bidimensionnel. Il est possible d'amener cette idée plus loin en utilisant un espace tridimensionnel. On se retrouverait alors avec un mappage *trois-vers-plusieurs*. Il serait cependant difficile d'opérer un tel système efficacement et avec précision à partir d'un écran. Il est néanmoins tout à fait faisable d'employer une interface gestuelle qui, par exemple, pourrait détecter la position absolue d'une main dans l'espace.

En fait, il devient pensable de naviguer dans des espaces à un nombre arbitraire de dimensions, pour peu qu'on dispose d'une interface qui fournit un nombre équivalent de signaux de contrôle continus. En d'autres termes, le nombre de degrés de liberté de l'interface gestuelle doit être égal au nombre de dimensions de l'espace d'interpolation. Bien qu'il soit très difficile de s'imaginer et de parcourir un espace à quatre dimensions ou plus, il est tout à fait naturel de le parcourir à l'aide d'une interface qui génère autant de signaux de contrôle.

²Le logiciel overSYTE est toujours disponible en téléchargement sur le site de Ross Bencina. <http://www.rossbencina.com/code/ancient-software>

Avec l'éponge, par exemple, les deux accéléromètres 3D peuvent être utilisés pour naviguer dans un espace à six dimensions. Il ne reste alors qu'à disposer dans l'espace des points d'interpolation qui correspondent chacun à un préréglage. Les préréglages peuvent comporter un nombre arbitraire de paramètres, mais leur nombre doit absolument être le même pour tous les points.

4.1.4.2 L'interpolation

L'interpolation est un problème qui surgit dans plusieurs domaines. Les géographes, par exemple, doivent très souvent interpoler entre des points d'échantillonnage pour illustrer des données sur une carte. Une carte topographique est ainsi le résultat de l'interpolation de plusieurs mesures discrètes. L'altitude est indiquée en tout point sur la surface de la carte, mais seulement un nombre limité de mesures ont été faites sur le terrain.

Pour faire l'opération d'interpolation, on a deux options :

1. calculer la moyenne pondérée basée des poids attribués à chacun des points ;
2. extraire une fonction qui passe près de tous les points d'interpolation (par régression, par exemple).

La première option a un avantage qui nous semblait important : une interpolation basée sur des moyennes pondérées est **exacte**, c'est-à-dire qu'elle passera forcément par les points fournis dans la collection d'exemples. Ce n'est pas nécessairement le cas pour une interpolation par extraction de fonctions. De plus, cette façon de faire nous semblait plus simple.

Pour illustrer le fonctionnement de notre système, prenons l'exemple d'une simple interpolation entre deux points comme celle qui est effectuée dans les logiciels *GRM Tools*. Il faut faire la moyenne pondérée des valeurs des différents paramètres. Les poids de chacun des points de préréglage seront calculés à partir de la distance qui les sépare du curseur (ou point d'interpolation).

La matrice $X(2, n)$ représente deux points de pré-réglage qui comprennent n paramètres.

$$X_{i,j} = \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & x_{1,3} & \cdots & x_{1,n} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & x_{2,3} & \cdots & x_{2,n} \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

$W(1, 2)$ est une matrice qui représente les poids respectifs de chacun des deux pré-réglages.

$$W_i = \begin{bmatrix} w_1 & w_2 \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

Dans les plugiciels *GRM Tools*, le poids d'un point de pré-réglage est simplement égal à la distance (pondérée) qui le sépare du point d'interpolation. On verra que, pour des interpolations dans des espaces à plusieurs dimensions, des stratégies plus complexes seront nécessaires.

Le résultat, c'est-à-dire les valeurs de chacun des paramètres, sera représenté par la matrice P . La moyenne pondérée est obtenue en multipliant les matrices W et X :

$$P = WX = \begin{bmatrix} w_1x_{1,1} + w_2x_{2,1} & w_1x_{1,2} + w_2x_{2,2} & \cdots & w_1x_{1,n} + w_2x_{2,n} \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

Voici un exemple où trois paramètres sont affectés et où le curseur est à distance égale des deux points de pré-réglage. Les deux poids ont donc la valeur 0,5. La

matrice X a été remplie avec des valeurs arbitraires.

$$\begin{aligned}
 P &= \begin{bmatrix} 0,5 & 0,5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,1 & 0,9 & 0,4 \\ 0,8 & 0,7 & 0,6 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 0,5 \cdot 0,1 + 0,5 \cdot 0,8 & 0,5 \cdot 0,9 + 0,5 \cdot 0,7 & 0,5 \cdot 0,4 + 0,5 \cdot 0,6 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 0,45 & 0,8 & 0,5 \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{4.12}$$

Comme on le voit dans cet exemple, quand le curseur est à mi-chemin entre deux points de préréglage, les valeurs des paramètres sont également à mi-chemin entre les valeurs définies dans les préréglages.

En déplaçant le curseur, on change les poids. Si on garde les mêmes préréglages et que le curseur est au quart de sa course plutôt qu'à la moitié, on obtient ce résultat :

$$\begin{aligned}
 P &= \begin{bmatrix} 0,75 & 0,25 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,1 & 0,9 & 0,4 \\ 0,8 & 0,7 & 0,6 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 0,75 \cdot 0,1 + 0,25 \cdot 0,8 & 0,75 \cdot 0,9 + 0,25 \cdot 0,7 & 0,75 \cdot 0,4 + 0,25 \cdot 0,6 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 0,275 & 0,85 & 0,45 \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{4.13}$$

Dans le précédent exemple, les valeurs des paramètres (dans la matrice X) sont normalisées entre 0 et 1. L'avantage de cette stratégie est qu'il sera facile d'adapter le mécanisme d'interpolation à n'importe quel type de paramètre à posteriori.

Si l'on désire affecter une fréquence, par exemple, il suffit de faire une mise en échelle dont le résultat variera logarithmiquement entre 110 Hz et 880 Hz. C'est ce

que fait cette fonction :

$$f(x) = 110 \left(\frac{880}{110} \right)^x \quad (4.14)$$

Si les trois paramètres de l'exemple précédent étaient respectivement une fréquence (entre 110 Hz et 880 Hz), un gain (entre -20 dB et 20 dB) et un temps de délai (entre 0 ms et 400 ms), on devrait utiliser une matrice de fonctions comme celle-ci :

$$F(x) = \left[110 \left(\frac{880}{110} \right)^x \quad 40x - 20 \quad 400x \right] \quad (4.15)$$

De cette façon, la nature du paramètre affecté n'a pas à être prise en compte par l'algorithme d'interpolation. Il ne restera qu'à appliquer les fonctions aux valeurs contenues dans la matrice P .

Il est également possible d'interpoler entre plus de deux points. Il suffit pour cela d'agrandir adéquatement les matrices utilisées. Le nombre de lignes dans la matrice X et le nombre de colonnes dans la matrice W correspondront au nombre de points à interpoler.

$$P = \left[0,2 \quad 0,05 \quad 0,2 \quad 0,55 \right] \begin{bmatrix} 0,1 & 0,9 & 0,4 \\ 0,3 & 0,1 & 0,8 \\ 0,9 & 0,2 & 0,0 \\ 0,8 & 0,7 & 0,6 \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

$$= \left[0,71 \quad 0,61 \quad 0,45 \right]$$

Mais dans ce contexte, déterminer les poids des différents points (les valeurs de la matrice W) est une tâche plus délicate.

Une première option (probablement la plus évidente) consiste à utiliser l'inverse des distances qui séparent le point d'interpolation de chacun des points de prééglage. C'est ce que fait l'objet `nodes` de l'environnement *Max*. Cette façon de

procéder comporte cependant des inconvénients. Comme tous les points de l'espace sont toujours pris en compte, les valeurs obtenues peuvent être affectées de façon indésirable par un point distant.

Dans l'exemple de la figure 4.3, il y a trois paramètres et quatre points de pré-réglage. Tous les points de pré-réglage sont pris en compte et leurs poids correspondent à l'inverse de la distance qui les sépare du point d'interpolation, normalisés de façon à ce que leur somme soit égale à 1. Le calcul est explicité dans les équations 4.18 à 4.20.

Les poids normalisés sont obtenus par cette formule :

$$w'_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2 + \dots + w_n} \quad (4.17)$$

où $w_i = \frac{1}{d_i}$, où d_i sont les distances qui séparent chacun des points de pré-réglage du point d'interpolation.

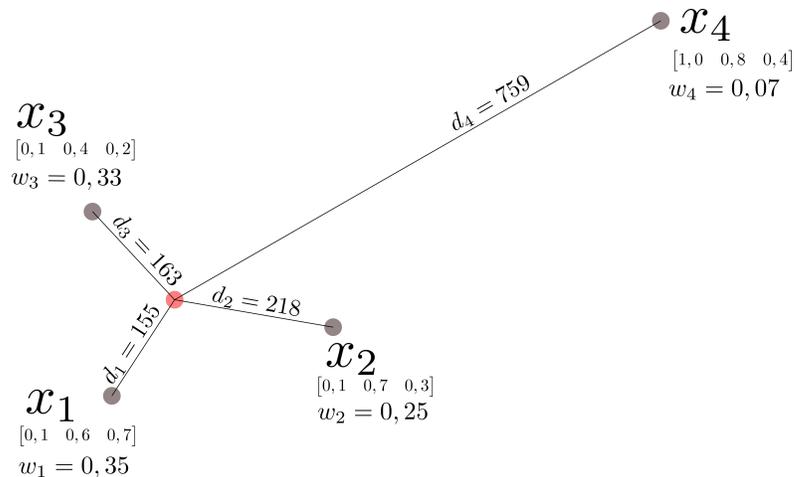


Figure 4.3 – Interpolation basée sur l'inverse des distances. Les poids w_i sont les inverses des distance d_i , pondérées de façon à ce que leur somme égale 1. Dans cet exemple, le résultat de l'interpolation (cest-à-dire la valeur des trois paramètres) est $[0,163 \ 0,573 \ 0,414]$.

$$W = [0,35 \ 0,25 \ 0,33 \ 0,07] \quad (4.18)$$

$$X = \begin{bmatrix} 0,1 & 0,6 & 0,7 \\ 0,1 & 0,7 & 0,3 \\ 0,1 & 0,4 & 0,2 \\ 1,0 & 0,8 & 0,4 \end{bmatrix} \quad (4.19)$$

$$P = \begin{bmatrix} 0,35 & 0,25 & 0,33 & 0,07 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,1 & 0,6 & 0,7 \\ 0,1 & 0,7 & 0,3 \\ 0,1 & 0,4 & 0,2 \\ 1,0 & 0,8 & 0,4 \end{bmatrix} \quad (4.20)$$

$$= \begin{bmatrix} 0,163 & 0,573 & 0,414 \end{bmatrix}$$

Le résultat de l'interpolation du premier paramètre est 0,163, et ce même si les trois points de pré-réglages les plus proches du point d'interpolation ont une valeur égale à 0,1. Bien qu'il soit distant, le point x_4 affecte de façon importante la valeur du premier paramètre. Une interpolation **locale** permettrait d'éviter ce phénomène de brouillage.

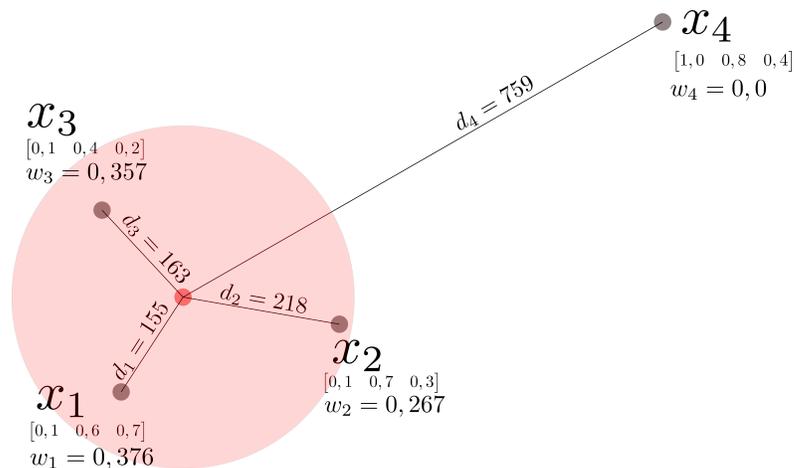


Figure 4.4 – Interpolation en excluant les points qui sont à l'extérieur d'un rayon donné. Le point x_4 est exclu, son poids est donc égal à 0.

Une solution simple consiste à exclure les points de pré-réglage situés à l'extérieur

d'un certain rayon autour du point d'interpolation, tel qu'illustré à la figure 4.4. L'équation 4.21 illustre le calcul de l'interpolation, excluant le point x_4 .

$$\begin{aligned}
 P &= \begin{bmatrix} 0,376 & 0,267 & 0,357 & 0,0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,1 & 0,6 & 0,7 \\ 0,1 & 0,7 & 0,3 \\ 0,1 & 0,4 & 0,2 \\ 1,0 & 0,8 & 0,4 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 0,1 & 0,5553 & 0,4147 \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{4.21}$$

Il y a cependant deux inconvénients importants à cette stratégie. D'abord, on doit choisir une taille de rayon adaptée au contexte. Il s'agit d'une tâche supplémentaire qui repose sur les épaules de l'utilisateur. Un système d'interpolation idéal devrait être **autonome** et ne requérir l'entrée d'aucun paramètre supplémentaire.

Il se pourrait aussi que, dans certains cas de figure, aucun point de préréglage ne se trouve à l'intérieur du rayon choisi. Le résultat de l'interpolation serait alors indéterminé et donc inutilisable. C'est ce qu'illustre la figure 4.5. Un système d'interpolation idéal devrait être **continu**, c'est-à-dire qu'il devrait être possible de déterminer le résultat en tout point de l'espace.

La Metasurface développée par Bencina (2005) est basée sur un des rares algorithmes d'interpolation qui soit à la fois autonome, continu, local et exact : le *Natural Neighbor Interpolation* (NNI) (Boissonnat et Cazals, 2002). Nous avons donc voulu implémenter le NNI dans SuperCollider, mais avons constaté qu'il était très complexe de généraliser cet algorithme pour des espaces à plus de deux dimensions. Comme le nombre de dimensions correspond au nombre de signaux en entrée dans notre système de mappage, il était pour nous essentiel de pouvoir interpoler dans un espace qui a un nombre arbitraire de dimensions. Notre solution a été d'inventer un nouvel algorithme d'interpolation qui répondrait à tous ces critères et dont l'implémentation serait simple pour des espaces à N dimensions : l'interpolation par intersection d'hypersphères.

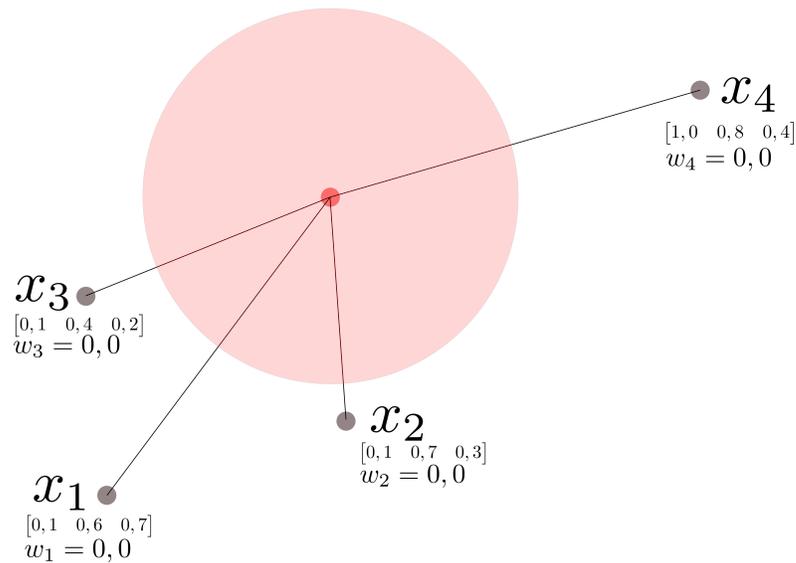


Figure 4.5 – Interpolation en excluant les points qui sont à l’extérieur d’un rayon donné. Il peut advenir qu’aucun point ne se trouve à l’intérieur du rayon. Le résultat de l’interpolation est alors indéfini.

4.1.4.3 L’interpolation par intersection d’hypersphères

Voici une description de l’algorithme.

1. Si le point d’interpolation a exactement les mêmes coordonnées qu’un des points de préréglage, ce point de préréglage a un poids de 1 et tous les autres ont un poids nul. Les étapes 2 à 5 sont sautées.
2. Un cercle (ou une hypersphère) est tracé autour du point d’interpolation (le curseur). Son rayon est égal à la distance du point de préréglage le plus proche.
3. Des cercles sont tracés autour de chacun des points de préréglage. Le rayon de chacun de ces cercles est égal à la distance qui sépare son centre du point le plus proche. Le point le plus proche peut être un autre point de préréglage ou le point d’interpolation.
4. Uniquement les points de préréglage qui ont un cercle qui coupe le cercle du

point d'interpolation sont pris en compte. Les autres ont un poids égal à zéro.

- Le poids de chacun des points est égal au ratio $\frac{A_l}{A}$, où A_l est l'aire de la lentille créée par l'intersection du cercle de ce point et du cercle du point d'interpolation, et où A est l'aire du cercle du point de pré réglage. A_l peut être obtenu par la formule 4.22, où R et r sont les rayons de chacun des cercles et où d est la distance entre les deux centres (Weisstein, 2005).

$$A_l = r^2 \cos^{-1} \left(\frac{d^2 + r^2 - R^2}{2dr} \right) + R^2 \cos^{-1} \left(\frac{d^2 + R^2 - r^2}{2dR} \right) - \frac{\sqrt{(-d + r + R)(d + r - R)(d - r + R)(d + r + R)}}{2}$$

Les figures 4.6, 4.7 et 4.8 illustrent le fonctionnement de cet algorithme.

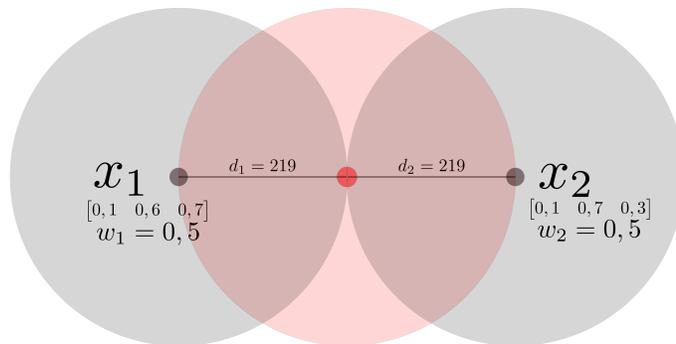


Figure 4.6 – Dans cette représentation de l'algorithme d'interpolation par intersection d'hypersphères en 2D, x_1 et x_2 sont des points de pré réglage et le point rouge est le point d'interpolation. Des cercles sont tracés autour de tous les points. Les deux points de pré réglage ont un cercle qui coupe le cercle du point d'interpolation ; les deux points ont donc un poids non nul. Les poids (w_i) des deux points sont identiques parce que leurs ratios $\frac{A_l}{A}$ sont les mêmes.

Nous n'avons pas testé ou comparé rigoureusement les performances de cet algorithme avec les nombreux autres algorithmes d'interpolation existants. Il ne s'agit pas d'une priorité, mais nous aimerions que des experts dans le domaine

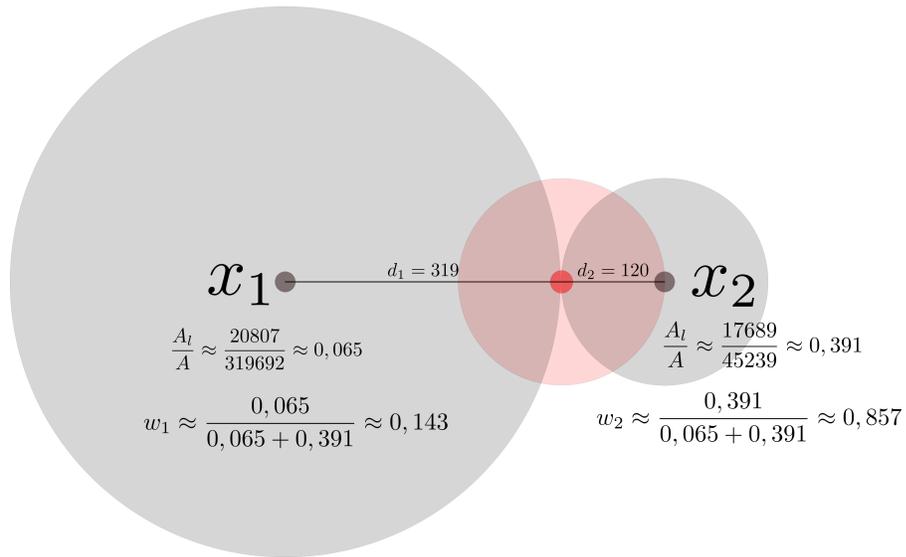


Figure 4.7 – Si le point d’interpolation se déplace, les poids w de x_1 et x_2 changent. Le poids de x_2 est plus important parce que son ratio $\frac{A_l}{A}$ est plus grand.

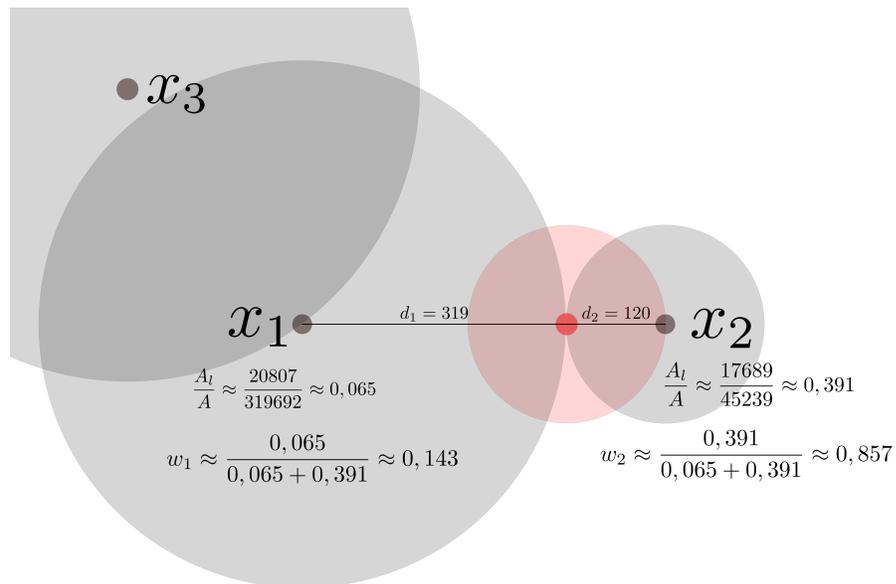


Figure 4.8 – Le point x_3 a un poids nul parce que son cercle ne coupe pas le cercle du point d’interpolation. Les poids de x_1 et x_2 sont inchangés.

de l’interpolation s’intéressent à notre méthode et que des études comparatives soient faites. Ceci dit, malgré le fait que notre implémentation ne soit pas validée

mathématiquement, elle demeure tout à fait utilisable et sert au quotidien pour mapper les signaux de l'éponge.

4.1.4.4 Implémentation dans SuperCollider

Nous avons implémenté un interpolateur de pré-réglages basé sur l'interpolation par intersection d'hypersphères dans l'environnement SuperCollider. Le code est disponible sur github : <https://github.com/marierm/mmExtensions>. Les classes `Interpolator` et `PresetInterpolator` permettent à l'utilisateur de créer un espace à N dimensions et d'y positionner librement un nombre arbitraire de points de pré-réglages. Les pré-réglages peuvent contenir un nombre arbitraire de paramètres qui peuvent être mis en échelle, contrôler des processus dans SuperCollider, et envoyer des messages OSC à d'autres logiciels ou dispositifs. L'interface graphique qui accompagne les deux classes est illustrée sur les figures 4.9, 4.10 et 4.11.

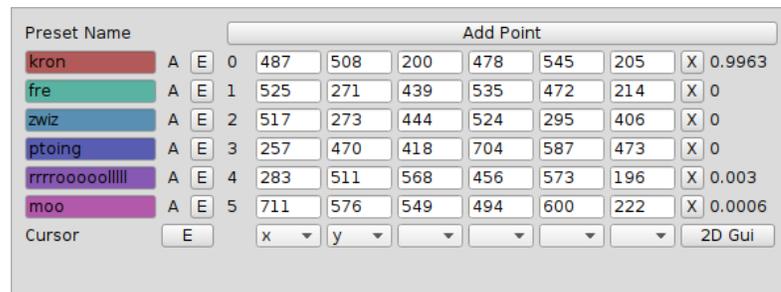


Figure 4.9 – La fenêtre *Preset Interpolator* montre la liste des points de pré-réglage. Chaque point (associé à un pré-réglage) peut être nommé. Les coordonnées (ici à six dimensions) de chaque point peuvent être entrées manuellement. La fenêtre *Interpolator* peut être ouverte en cliquant sur le bouton *2D Gui*.

Un détail de notre implémentation reste théoriquement incorrect à ce jour. Pour que le calcul des poids soit cohérent dans tous les contextes, la formule 4.22 devrait être adaptée au nombre de dimensions de l'espace. Le calcul de l'aire devrait devenir un calcul de volume en 3D, et devenir un calcul d'hypervolume dans des espaces à plusieurs dimensions. Or, dans l'implémentation actuelle, le calcul des poids se fait toujours avec la formule eq :aireIntersection, peu importe le nombre de dimensions.

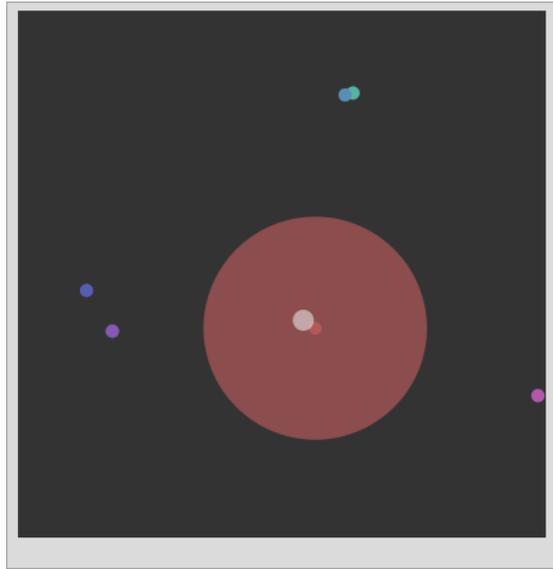


Figure 4.10 – La fenêtre *Interpolator* permet à l'utilisateur de visualiser et de modifier l'emplacement des préréglages dans l'espace. Si l'espace comporte plus de deux dimensions, les deux dimensions sélectionnées dans la fenêtre *Preset Interpolator* sont utilisées pour cette représentation. Il est possible d'ouvrir plusieurs fenêtres *Interpolator* et de choisir quelles dimensions seront visualisées dans chacune d'elles. Chacun des points colorés correspond à un préréglage. Le point gris légèrement plus gros que les autres est le curseur (ou point d'interpolation). Le poids des points est représenté par des cercles transparents : plus le cercle autour d'un point est grand, plus son poids est important.

Nous prévoyons faire cette modification au code, mais comme l'implémentation actuelle donne des résultats satisfaisants, nous considérons que ce n'est pas une priorité.

Depuis que nous avons développé cet outil, il a pris une place prépondérante dans notre travail avec l'éponge. Il permet de concevoir relativement rapidement des mappages complexes, ce qui contribue directement à atteindre certains de nos objectifs. Le comportement de l'interpolation est assez intuitif, c'est-à-dire que les comportements entre les points de préréglages concordent généralement avec l'idée de départ. Mais des surprises surviennent régulièrement. En babillant avec l'instrument, on découvre parfois des sonorités qui étaient complètement inattendues. Cela peut être très inspirant et ajoute grandement à l'aspect ludique de l'éponge. De fa-

Name		Mapped	Unmapped	OSC	
▼ freq		345.6892	0.5507	/freq	X
ControlSpec					
min	max	warp	step	default	units
110	880	Exponential ▾	0	440	
		2			
▶ filterFreq		3593.3852	0.6455	/filterFreq	X
▼ amp		-14.9557	0.4227	/amp	X
ControlSpec					
min	max	warp	step	default	units
-80	0	DbFaderWa ▾	0	0	
		2			
▶ filterQ		2.7727	0.6853	none	X
Add		Randomize			

Figure 4.11 – La fenêtre *Cursor* montre la liste des paramètres et peut être affichée pour chacun des préréglages. Pour les préréglages, les valeurs des paramètres sont ajustées par l'utilisateur. Les valeurs des paramètres du curseur sont calculées par l'algorithme d'interpolation et changent quand le curseur est déplacé. Chaque paramètre peut être nommé et mis en échelle. Des messages OSC peuvent être envoyés.

çon générale, cet outil de mappage donne un très bon équilibre entre le surprenant et le prévisible.

Malgré l'efficacité et l'importance qu'a prise l'interpolation de préréglage dans notre travail avec l'éponge, nous considérons qu'il est crucial d'utiliser une multitude d'outils pour faire du mappage. Dans la section qui suit, nous expliquerons comment les techniques que nous avons présentées sont utilisées avec l'éponge. Au passage, nous en profiterons pour parler de grands principes de mappage.

4.2 Enjeux du mappage

Pour un instrument acoustique, le mappage est inhérent aux propriétés acoustiques des matériaux utilisés. Il est donc, en quelque sorte, un cadeau de la nature (Magnusson, 2010). D'ailleurs, comme les concepteurs d'instruments acoustiques n'ont pas le choix de se soustraire aux lois de la physique, il pourrait sembler qu'ils sont prisonniers de la mécanique des corps et que plus de liberté serait souhaitable. C'est probablement avec cette idée en tête que plusieurs nouveaux venus approchent avec enthousiasme l'invention d'un nouvel IMN. Mais une fois initié,

le néophyte se rend compte que ce qu’il considérait comme une prison était plutôt une fondation solide sur laquelle il pouvait s’appuyer, et que la liberté dont il rêvait n’était en fait que du vide. Le défi qui se présente à lui est colossal : il doit inventer les propriétés acoustiques de matériaux virtuels.

Lors de la conception de mappages pour l’éponge, nous voulions éviter d’errer au hasard dans ce monde aux possibilités infinies. Nous voulions explorer de nouvelles possibilités, mais une part de notre travail devait resté ancrée à des bases solides, à du connu. Guidés par les quatre objectifs présentés dans la section 2.4, nous avons choisi de calquer le comportement des instruments acoustiques.

Cette idée vient, entre autres, de Hunt et Wanderley (2002). Dans les expériences qu’ils ont menées, ces chercheurs ont utilisé un mappage dans lequel ils suivaient ces lignes directrices (Hunt et Wanderley, 2002, p. 5) :

- l’amplitude du son requiert de l’énergie ;
- deux mains sont utilisées ;
- des mappages complexes sont présents – les changements d’un paramètre affectent les autres ;
- le timbre est contrôlé de manière indirecte.

Ces lignes directrices nous ont non seulement aidé à concevoir les mappages de l’éponge, mais aussi à développer les concepts de *jeu* et de *contrôle* qui, à leur tour, contribuent à clarifier nos intuitions.

4.2.1 Le contrôle et le jeu

On dit rarement qu’on *contrôle* un instrument de musique ; on dit plutôt qu’on en *joue*. Parallèlement, en musique électronique, on utilise des appareils qu’on appelle des *contrôleurs*. Nous nous sommes penchés sur ces usages du langage et avons

tenté d'en extraire des notions qui peuvent être utiles pour la compréhension de la nature des IMN et, par extension, pour la conception de mappages.

Nous voyons le contrôle et le jeu comme des modes d'interaction situés aux deux extrémités d'un continuum. D'un côté, le jeu est une interaction avec le monde où chaque action entraîne une réaction qui n'est pas complètement prévisible et, de l'autre, le contrôle est une domination sur le monde où chaque action est un ordre qui est exécuté à la lettre.

Partant de ces définitions, on constate que la nature de notre interaction avec le numérique est le contrôle, alors que la nature de notre interaction avec le monde physique (ou réel) est le jeu.

L'apprentissage de l'enfant, par exemple, passe par le jeu : il utilise ses membres, sa bouche et sa voix pour, peu à peu, apprendre à connaître son corps et le monde qui l'entoure. Graduellement, il gagne en contrôle. L'apprentissage d'un instrument de musique traditionnel est un processus similaire. Au départ, les explorations sont strictement ludiques et, avec la pratique, on devient plus habile et on gagne en contrôle. Un interprète aguerri est bien sûr en contrôle de son instrument, mais il n'en possède jamais le contrôle absolu. Jouer, c'est interagir avec un environnement dans le but de se rapprocher du résultat voulu, même en sachant que le résultat ne sera jamais parfait.

En numérique, les choses sont différentes : le contrôle absolu est tout à fait possible et la machine nous obéit. Dans ce monde où les possibilités sont finies, on a le parfait contrôle sur le résultat. En audionumérique, par exemple, on peut décider de la valeur exacte de chacun des échantillons du signal que l'on génère.

Le musicien qui joue d'un instrument acoustique et le concepteur d'un IMN ont des trajectoires qui vont dans des directions opposées : le premier part du jeu et développe du contrôle, alors que le second part du contrôle et tente d'ajouter des possibilités de jeu.

Avec l'éponge, nous cherchons à insuffler du jeu dans l'univers de contrôle qu'est

le numérique. En d'autres termes, nous cherchons à *gagner en jeu*.

Ces notions *jeu* et de *contrôle* ne sont pas étrangères à la critique que nous formulons dans la section 2.2 concernant la reproduction mécanique de l'œuvre dans les concerts de musiques fixées sur support. Dans ce type d'œuvre, le contrôle est presque absolu et le risque est pratiquement nul. Dans le présent contexte, ce que nous appelons *risque* concerne la possibilité qu'une interprétation soit plus ou moins réussie lors d'un concert donné. Nous estimons que notre appréciation d'une performance provient en partie du fait que l'on comprend les difficultés et les risques. Un évènement est plus unique, et donc plus appréciable, si l'œuvre est interprétée que si elle reproduite. Par conséquent, il nous semble important que le rôle de l'interprète – de l'époungiste, en ce qui nous concerne – soit clairement perceptible par le public.

TABLEAU 4.II – Ce tableau regroupe des idées et des concepts qui peuvent être rattachés aux notions de contrôle et de jeu.

Contrôle	Jeu
Appareil électroacoustiques numériques à contrôles binaires.	Corps sonores ou instruments acoustiques.
Mappage <i>un-à-un</i>	Mappage complexe.
Quantitatif.	Qualitatif.
Séquentiel.	Holistique.
L'énergie du geste est indépendante de l'amplitude.	L'énergie du geste est directement liée à l'amplitude du son.
Le caractère du geste est détaché du caractère du son.	Le caractère du geste est transféré au caractère du son.
Rapport geste-son inexistant.	Rapport geste-son naturel.

La locution *taux de contrôle* est très présente dans le domaine de l'audio-numérique. Dans cette expression, le mot *contrôle* n'a évidemment pas la même défini-

tion que celle que nous venons de discuter, mais il nous semble que ces deux idées peuvent être mises en relation et être clarifiées.

4.2.2 Signaux de contrôle et signaux audios

En synthèse sonore, on trouve traditionnellement deux types de signaux : les signaux de contrôle et les signaux audios. Les signaux audios sont appelés à être aiguillés vers des haut-parleurs pour être ouïs, alors que les signaux de contrôle servent à affecter les paramètres d'autres signaux. Nous croyons que cette séparation peut être très utile, mais qu'elle doit néanmoins être remise en perspective si l'on désire éviter certains pièges.

Voyons d'abord comment cette distinction, qui est à la base conceptuelle, se matérialise dans les outils du musicien. Par la suite, nous tenterons de démontrer que cette disjonction conditionne notre façon d'approcher les nouvelles interfaces musicales et qu'elle crée un biais dont nous devrions être conscients.

Les synthétiseurs analogiques modulaires – qui datent des années 1960, mais qui sont plus en vogue que jamais – comportent des *LFO* (*Low Frequency Oscillator*) dont la fréquence maximum ne dépasse que rarement 20 Hz. Les bandes passantes des générateurs d'enveloppe (de type *Attack-Decay-Sustain-Release*) et des signaux *CV* (*Control Voltage*) sont limitées de façon semblable.

Le protocole MIDI, qui fut conçu pour permettre la communication entre les interfaces musicales et les synthétiseurs, est une incarnation de cette séparation entre signaux de contrôle et signaux audio. Il permet de contrôler des synthétiseurs ou des échantillonneurs à partir d'un clavier ou d'un autre type de contrôleur. Le MIDI avait à l'origine une bande passante limitée (31250 bits par secondes) et pouvait être assimilé au taux de contrôle.

La dichotomie audio/contrôle est aussi présente dans les environnements numériques comme Csound, SuperCollider ou Pure Data³, où le taux de contrôle a une

³Pyo constitue un exemple intéressant puisqu'il s'agit d'un environnement où le concept du

fréquence d'échantillonnage déterminée par la taille d'une mémoire tampon :

$$k_r = \frac{a_r}{b} \quad (4.22)$$

où k_r est la fréquence d'échantillonnage du taux de contrôle, a_r est la fréquence d'échantillonnage du taux audio, et b est la taille du tampon.

Cette séparation audio-contrôle comporte des avantages indéniables. D'abord, elle est une représentation assez convenable de notre façon de percevoir le son et ce qui le cause. Le violoniste, par exemple, n'est pas en contrôle direct des oscillations des cordes, mais il en affecte l'amplitude et la fréquence en manipulant son archet et en positionnant ses doigts sur le manche. Ses gestes correspondent au taux de contrôle et le son, au taux audio.

Ensuite, avoir une fréquence d'échantillonnage plus basse réservée aux signaux de contrôle permet d'économiser des ressources nécessaires pour le calcul. Dans les environnements de programmation audionumérique, l'utilisateur décide si un signal sera au taux de contrôle ou au taux audio, ce qui lui permet de faire des compromis entre la demande en calcul et la bande passante des signaux.

Mais cette séparation comporte certains risques. Elle pourrait nous porter à croire que les gestes ne contiennent pas de fréquences élevées, alors que ce n'est pas le cas. Au moment où un médiateur entre en contact avec une corde de guitare, par exemple, l'instrumentiste est en contrôle du timbre parce qu'il ajuste la surface de contact et la souplesse de sa prise. Un phénomène similaire se produit quand un percussionniste frappe une peau tendue avec ses doigts : la force, la durée et la taille de la surface de la pression qu'il applique auront un impact notable sur le son de l'instrument. Ces moments brefs où l'énergie du geste est transmise à l'instrument sont très riches en hautes fréquences, et ils perdront en subtilité si nous tenons pour acquis que les gestes ne nécessitent qu'une bande limitée.

taux de contrôle n'existe pas. Dans Pyo, tout est au taux audio.

Dès les premières années de son travail sur les Hands, Waisvisz (1985, p. 1) constatait que la séparation audio/contrôle pouvait être problématique.

An aspect of the Crackle instruments I find crucial is that control-signals and audio-signals can easily be mixed ; a phenomena that allows the performer to have extremely dynamic control over the behaviour of the circuitry, and that is not yet available with small real-time digital systems.

Nous ne prétendons pas qu'il faut tout faire au taux audio, mais nous croyons que, lorsque l'on travaille sur le mappage d'un IMN, l'on doit sans cesse questionner ce qui sépare le taux audio du taux de contrôle et l'on doit tenter d'établir beaucoup de points de jonction entre ces deux mondes qui, au fond, ne devraient pas être séparés.

4.3 Mapper l'éponge

Dans les sous-sections qui suivent, nous donnerons des exemples de stratégies de mappage qui ont été utilisées avec chacun des capteurs de l'éponge.

4.3.1 Mappage des accéléromètres

4.3.1.1 Naviguer dans un espace à six dimensions

Au départ, nous employions des fonctions trigonométriques pour extraire l'orientation, le pliage et la torsion de l'éponge. Ces traits caractéristiques étaient ensuite mappés de façon explicite à des paramètres du son. Avec le développement de l'interpolateur de préréglage, nous avons réalisé qu'une autre approche, plus efficace et plus simple, était possible.

On peut utiliser les six axes des deux accéléromètres de l'éponge pour déplacer le curseur dans un interpolateur à six dimensions. Des points préréglage qui correspondent à des états de l'éponge sont placés dans l'espace. Ainsi, quand l'éponge

est tordue est orientée de différentes façons, le curseur s'approche et s'éloigne de points de préréglage, engendrant des variations des paramètres du son. En d'autres termes, l'éponge est utilisée pour naviguer dans un espace à six dimensions où des points de préréglage ont été méticuleusement positionnés.

Il serait très difficile de placer des points manuellement dans un espace à six dimensions. Heureusement, il n'est pas nécessaire de le faire : si l'éponge peut servir à naviguer l'espace, elle peut également servir à positionner les points. Dans la fenêtre *Preset Interpolator* (figure 4.9), il y a des boutons appelés *A* pour *Attach*. Ces boutons servent à «attacher» un point de préréglage au curseur, ce qui veut dire que, tant que le *A* est activé, ce point suivra les déplacements du curseur. Cette fonctionnalité de l'interpolateur de préréglage permet d'utiliser l'éponge (ou une autre interface) pour positionner des points.

Comme l'éponge est généralement manipulée à deux mains, il est difficile de la maintenir dans la position voulue tout en cliquant sur le *A* avec la souris. Pour cette raison, nous utilisons une pédale raccordée à un contrôleur MIDI pour désactiver la fonction *attach*.

Avec cette approche, concevoir un mappage est relativement rapide. On commence par créer un préréglage en jouant avec les paramètres et on place ce préréglage dans l'espace (à l'aide de l'éponge). On fait la même chose avec autant de préréglages qu'on le veut. Nous avons remarqué que, en général, les espaces qui contiennent cinq ou six préréglages sont suffisamment complexes pour être musicalement intéressants. Il pourrait y avoir un grand nombre de points de préréglage (une centaine est raisonnable pour les capacités des ordinateurs), mais nous nous contentons généralement de ne placer que six à douze points dans l'espace.

Nous avons utilisé cette approche dans plusieurs pièces et l'utilisons pour affecter des paramètres de granulation, de banques de résonateurs et de synthèse par modulation de fréquence (FM). Les mappages conçus à l'aide de l'interpolateur sont toujours complexes, ce qui favorise une interaction de type *jeu*.

4.3.1.2 Lisser les signaux, c'est (souvent) mal

Quand le curseur est asservi aux signaux des accéléromètres, on peut le voir bouger très rapidement dans la fenêtre *Interpolator* (figure 4.10). Il peut alors être tentant de filtrer les signaux pour que ces déplacements deviennent fluides. Le résultat est satisfaisant visuellement (voire figure 4.12), mais nous avons constaté que, dans la plupart des contextes, les sons produits sont plus intéressants sans lissage. Lors d'expérimentations avec un algorithme de granulation, nous avons réalisé qu'une de nos façons de faire était carrément absurde.

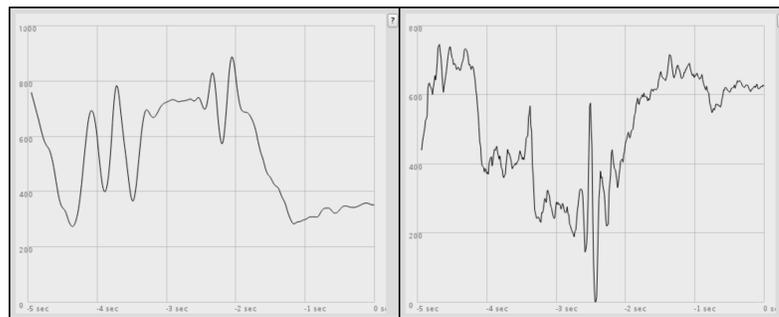


Figure 4.12 – À gauche : un signal d'accéléromètre lissé à l'aide d'un filtre passe-bas. À droite : un signal d'accéléromètre non filtré. L'aspect visuel d'un signal lissé peut être attrayant, mais il est préférable de ne pas appliquer systématiquement ce traitement.

Les signaux des accéléromètres étaient lissés avant de contrôler les déplacements du curseur et nous utilisons l'interpolateur pour contrôler une multitude de paramètres d'un granulateur. Pour éviter certains artefacts désagréables typiques de la granulation, des générateurs de bruit faisaient varier aléatoirement plusieurs paramètres dont la position du grain dans un son et le nombre de grains par seconde. Il y avait là un paradoxe. Pourquoi lisser les signaux des capteurs si l'on allait rajouter des variations aléatoires à posteriori ? Ne serait-il pas plus simple de conserver les mouvements erratiques des capteurs et d'ôter les générateurs de bruits ?

C'est ce que nous avons fait, et le résultat était très satisfaisant. Non seulement les ressources étaient économisées, mais les liens entre geste et son devenaient

beaucoup plus clairs et naturels. Les hautes fréquences qui semblaient erratiques quand on les observait visuellement n'étaient pas du bruit : elles étaient des vibrations liées aux micro mouvements. En les filtrant, l'information sur les gestes les plus subtils était rejetée. Sans filtre, les tapotements, les grattements et les frottements étaient transmis à l'interpolateur et, par conséquent, au son. Les impacts sur l'éponge engendraient des déplacements du curseur très courts, mais de grande amplitude. Cela se traduisait des variations brèves, mais extrêmes des paramètres du son. Ce comportement est assimilable à des transitoires d'attaque et est très désirable.

Les filtres de lissage nous donnaient une sensation de contrôle : les déplacements du curseur devenaient compréhensibles et prévisibles. Sans filtre, les subtilités du jeu réapparaissaient : les déplacements du curseur étaient imprévisibles, mais les résultats sonores étaient plus solidement connectés aux gestes. En ajoutant des filtres de lissage nous exacerbions la séparation contrôle/audio. Il a été beaucoup plus satisfaisant de conserver toute la bande passante des signaux de capteurs. Nous croyons d'ailleurs qu'augmenter la bande passante de l'éponge permettrait de capter encore plus subtilement les gestes.

Depuis cette expérience, nous ne filtrons plus du tout les signaux qui entrent dans l'interpolateur de préréglage.

4.3.1.3 Établir un lien d'énergie

Filtrer les basses fréquences des signaux des accéléromètres permet de rejeter les mouvements relativement lents et l'information sur l'inclinaison. Cela donne des signaux qui ne contiennent que des fréquences relativement hautes (entre 50 Hz et 250 Hz) et qui sont bipolaires. Dans la pièce *L'éloge du mou* (voir section 5.1), nous les utilisons comme source d'excitation pour six résonateurs, un pour chacun des six signaux d'accéléromètre fournis par l'éponge. Cela signifie que, dépendant d'où on tape et comment on tape, certains résonateurs sont excités plus intensément que

d'autres. Comme nous avons accordé les six résonateurs en suivant grosso modo la série des harmoniques, le timbre harmonique change en fonction de la façon dont l'éponge est tapotée. Cette façon de faire crée un pont direct entre le taux de contrôle et le taux audio.

Voyant que cela fonctionnait bien pour les résonateurs, nous avons voulu appliquer cette stratégie à de la synthèse par modulation de fréquence (FM), entre autres pour la pièce *Origami* (voir section 5.2). Comme on ne peut pas exciter un synthétiseur FM directement avec un autre signal, nous avons employé un suiveur d'enveloppe. Le suiveur analyse l'amplitude des signaux d'accéléromètres (dont les basses sont filtrées) et le signal résultant affecte l'amplitude des synthétiseurs FM.

De façon générale, cette stratégie permet de lier l'énergie du son à l'énergie du geste : plus on tape fort, plus le son est fort. Selon notre expérience et selon les discussions que nous avons eues avec plusieurs personnes qui ont essayé l'éponge ou qui ont assisté à des concerts, un tel lien d'énergie est central à l'établissement d'un mappage qui semble naturel pour l'interprète et pour le public. En plus de contribuer au côté ludique et à l'interaction, ce lien d'énergie permet d'établir que l'interprète joue vraiment de son instrument et qu'il ne s'agit pas d'un simulacre. Nous avons observé que, avec les IMN, le rôle de l'interprète sur scène peut être mal compris, voire complètement obscur. Nous pensons qu'un mappage où le lien geste-son est clair aide le public à comprendre le travail de l'interprète et contribue à clarifier le contrat tacite qui existe entre l'interprète et le public.

4.3.1.4 Détection d'impacts

Les signaux des accéléromètres filtrés sont également utilisés pour déclencher des événements. Dans la pièce *À feu doux* (voir section 5.3), les signaux des accéléromètres passent à travers un filtre passe-haut avant d'être analysés par une bascule de Schmidt qui, à son tour, déclenche de courtes impulsions bruitées. L'accumulation de tapotements sur l'éponge imite le crépitement du feu.

Ici aussi, l'énergie du geste est liée à l'énergie du son.

4.3.2 Mappage des capteurs de pression

4.3.2.1 Pour étouffer le son

Comme nous l'avons vu, il est possible d'établir un lien entre le geste et le son en concevant un mappage qui requiert que de l'énergie soit déployée pour que du son soit produit. Nous avons également essayé de faire exactement l'inverse : exiger de l'énergie pour atténuer ou couper le son, et nous avons trouvé le résultat probant.

Pour arriver à cette fin, les capteurs de pression sont mappés de façon à atténuer le son. Le but est d'imiter le comportement d'instruments acoustiques : on étouffe le son de l'éponge un peu comme on étoufferait une corde de guitare ou une cymbale.

En utilisant cette stratégie en conjonction avec les mappages décrits plus haut (résonateurs et synthèse FM), il est possible de jouer des motifs rythmiques assez complexes. Si une pression est appliquée sur le capteur pendant qu'une percussion est jouée, le son sera court et assez doux. Si aucune pression n'est appliquée, le son sera fort et persistera jusqu'à ce qu'on l'atténue en écrasant la mousse.

Dans la pièce *Origami* (voir section 5.2), les deux capteurs de pression sont combinés de façon à ce que seule la valeur du capteur le plus comprimé soit prise en compte. Cela donne deux options pour étouffer le son, ce qui est très pratique dans certains contextes.

4.3.2.2 Contrôler la fréquence de coupure d'un filtre

Il arrive également que des mappages très simples soient très efficaces. Dans la pièce *L'éloge du mou* (voir section 5.1), des sons de clarinette basse traversent un filtre passe-bas résonant. Le signal d'un capteur de pression affecte directement la fréquence de coupure du filtre. À part pour la mise en échelle, le mappage est direct.

Ce mappage ne contribue pas à établir un lien d'énergie entre le geste et le son et, de façon plus générale, ne suit aucunement les lignes directrices de Hunt et Wanderley (2002).

4.3.3 Mappage des boutons

Les boutons sont définitivement les capteurs les plus simples de l'éponge, mais leur mappage peut être complexe. Les rôles des boutons entrent dans l'une de ces cinq catégories :

- démarrer et stopper des processus ;
- activer des fonctions temporairement ;
- changer la fonction des boutons ;
- jouer des notes tempérées ;
- jouer des harmonies.

Pour pouvoir faire toutes ces tâches, les boutons doivent pouvoir changer de fonction. Il y a donc différents modes et il est possible de changer de mode pendant qu'on joue. Quand on démarre l'éponge, les boutons sont dans le *mode 0*. De là, il est possible de démarrer différents processus et de naviguer dans les différents modes disponibles. Les figures 4.13 et 4.14 illustrent le fonctionnement des boutons dans deux modes différents.

Le *mode pitch* (figure 4.14) est un mode que nous utilisons dans beaucoup de pièces. Il permet, en utilisant les cinq boutons de la main gauche, de jouer 32 hauteurs différentes. Si l'on compte en binaire sur les boutons – le bit le moins significatif étant le bouton 4, sous l'index – on fait une gamme chromatique. Cette façon de faire rappelle le fonctionnement du *Bleaugard* de G. Beaugard (Miranda et Wanderley, 2006, pp. 53-55), où le doigté est basé sur le code Gray à 4 bits.

Boutons en mode \emptyset

4	TC: démarrer un processus.	9	Processus: synthèse FM 1. Sans TC: stopper synthèse FM 1.
3	TC: passer en mode granRec pour un granulotron.	8	Processus: granulotron 1. Sans TC: stopper granulotron 1.
2	TC: passer en mode granSpat pour un granulotron.	7	Processus: granulotron 2. Sans TC: stopper granulotron 2.
1	TC: passer en mode harmo pour un processus.	6	Processus: synthèse FM 2. Sans TC: stopper synthèse FM 2.
0	TC: passer en mode pitch pour un processus.	5	Aucune fonction.

Figure 4.13 – Ce schéma donne la fonction de chacun des boutons en *mode 0* pour la pièce *Origami*. Il présente la perspective de l’instrumentiste qui tient l’éponge en position de base. Le bouton 4 est sous l’index gauche, le bouton 3 est sous le majeur gauche, et ainsi de suite. Les boutons 0 et 1 sont normalement actionnés par l’auriculaire gauche. Les boutons 5 à 9 sont normalement actionnés avec la main droite. Les lettres TC signifient qu’un bouton agit comme une touche de combinaison. Pour démarrer un processus, par exemple, l’épongiste doit maintenir le bouton 0 enfoncé tout en appuyant sur la touche qui correspond au processus qu’il veut démarrer. Sans touche de combinaison, les touches de la main droite (5 à 9) stoppent un processus. Les touches de combinaison 0 à 3 servent à changer de mode.

Le code Gray est conçu de façon à ce qu’un seul bit change entre deux nombres consécutifs, ce qui rend probablement le jeu de gammes chromatique relativement aisé.

Contrôler des hauteurs avec notre mappage *binnaire* n’est pas intuitif du tout, mais l’objectif n’était pas de rendre le jeu facile. Le but était plutôt d’explorer un mappage qui nous semblait naturel pour un IMN et de voir si une musicalité particulière pouvait en émerger. Nous avons constaté que, avec ce mappage étrange, certains traits mélodiques sont beaucoup plus faciles à jouer que d’autres, ce qui fait qu’ils sont favorisés dans les improvisations. Les gammes par ton et les arpèges augmentés, par exemple, sont assez faciles à jouer. Les gammes majeures et

Boutons en mode *pitch*

4	+ 1 demi-ton.	9	Démarrer le processus. Double-clic: stopper le processus.
3	+ 2 demi-tons.	8	Figé. Double-clic: défiger.
2	+ 4 demi-tons..	7	Monter d'une octave.
1	+ 8 demi-tons.	6	Descendre d'une octave.
0	+ 16 demi-tons.	5	Retourner en mode 0.

Figure 4.14 – Ce schéma donne la fonction de chacun des boutons en *mode pitch*. Le *mode pitch* est disponible pour chacun des processus. Il permet de jouer des hauteurs tempérées. En comptant en binaire sur les boutons de la main gauche, on fait une gamme chromatique. La fonction *freeze* du bouton 8 déconnecte les signaux des accéléromètres du système d'interpolation de préréglage du processus concerné.

mineures, par contre, demande beaucoup de pratique. Le tableau 4.III montre les doigtés à faire pour jouer une gamme de mi majeur. Dans la pièce *Origami* on passe en *mode pitch* en maintenant la touche 0 enfoncée tout en appuyant sur la touche qui correspond au processus qu'un veut contrôler.

TABLEAU 4.III – Ce tableau donne le doigté pour jouer une gamme de mi majeur sur l'éponge. Le bouton 4 est normalement actionné par l'index, le bouton 3 par le majeur, et ainsi de suite.

	0	1	2	3	4
Mi	0	0	0	0	0
Fa#	0	0	0	1	0
Sol#	0	0	1	0	0
La	0	0	1	0	1
Si	0	0	1	1	1
Do#	0	1	0	0	1
Ré#	0	1	0	1	1
Mi	0	1	1	0	0

Dans un esprit similaire, nous utilisons parfois les boutons pour jouer des accords prédéterminés. Dans la pièce *Origami*, par exemple, les boutons peuvent être mis en *mode harmo*. Dans ce mode, les boutons de la main gauche permettent de jouer des accords. La figure 4.15 montre les huit accords disponibles d'*Origami* et leurs doigtés.

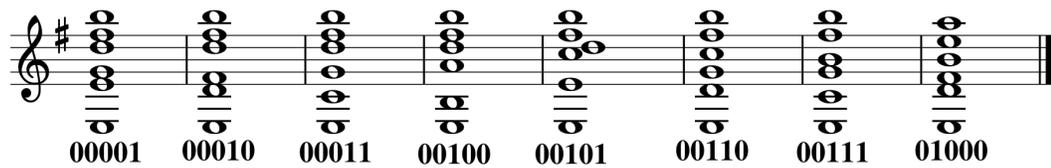


Figure 4.15 – Les huit accords joués dans la pièce *Origami* et les doigtés correspondants. 00110, par exemple, signifie que les boutons 2 et 3 doivent être enfoncés.

Les boutons sont aussi parfois utilisés pour activer temporairement certaines fonctions. Dans la pièce *L'éloge du mou*, par exemple, enfoncer un bouton active la modulation de hauteur, ce qui permet de faire des glissandos en pliant l'éponge.

CHAPITRE 5

LA MUSIQUE

Dans ce chapitre, nous présentons les principaux projets dans lesquels l'éponge a été utilisée. D'abord, nous décrivons trois projets qui sont rattachés à des pièces composées spécifiquement pour l'éponge. Pour chacun de ces projets, nous aborderons son origine, les matériaux sonores, le mappage et, finalement, l'écriture et la structure de la pièce. Nous terminerons ce chapitre en abordant un sujet plus large : l'improvisation et les collaborations avec d'autres musiciens.

5.1 L'éloge du mou

5.1.1 Origine du projet

Ce projet est le fruit d'une longue évolution. La toute première version s'appelait *Clarinettes* (2010) et était la deuxième œuvre pour éponge. Les versions subséquentes ont porté les sous-titres *Struggling* (2010) et *Albino Butterfly* (2011). En 2012, le projet a été finalement rebaptisé *L'éloge du mou*. Bien que l'œuvre ait subi des modifications par la suite, nous considérons que les changements étaient mineurs et le titre est resté le même. Le tableau 5.I résume l'évolution du projet et inclut des références au support numérique inclus en annexe.

Avant cette pièce, l'éponge n'avait été utilisée que pour interpréter la pièce *Cymbale*, dont les matériaux provenaient d'enregistrements de cymbales et de synthèse additive. Avec *Clarinettes*, nous voulions explorer de nouvelles matières sonores et, surtout, raffiner les stratégies de mappage que nous utilisions.

Ce projet a la particularité d'avoir évolué avec l'éponge. Plusieurs aspects de l'instrument ont été développés pour être mis au service des idées musicales de la pièce et, inversement, la musique a été profondément influencée par les possibilités

et les limites de l'instrument.

Au départ, le projet *Clarinettes* s'inscrivait dans un cycle d'œuvres dites monochromes. Comme pour les pièces *Piano* (2007) et *Cymbale* (2008), l'idée était de construire un discours musical basé sur un seul timbre instrumental et une seule note (Marier, 2009). L'enregistrement des matériaux de bases et les premières explorations ont été faits dans le cadre de nos études de maîtrise (Marier, 2009), mais toutes les étapes ultérieures, incluant le mappage et les premières versions jouées devant public, se sont inscrites dans le cadre de cette thèse.

TABLEAU 5.I – Ce tableau présente une liste des quelques versions de la pièce *L'éloge du mou* qui sont incluses sur le support numérique joint.

Date	Éponge	Titre	Fichier inclus
23 avril 2010	Rouge et jaune Bluetooth sans boutons.	<i>Clarinettes</i>	01-elogeDuMou/ 2010-04-23clari.ogv
7 février 2011	Rayée bleue sans boutons, XBee.	<i>Clarinettes</i> (<i>Struggling</i>)	01-elogeDuMou/ 2011-02-07clariStru.ogv
3 novembre 2011	Rayée bleue avec sept boutons, XBee.	<i>Clarinettes</i> (<i>Albino Butterfly</i>)	01-elogeDuMou/ 2011-11-03clariAlbi.ogv
7 février 2013	Rayée bleue avec dix boutons, XBee Pro.	<i>L'éloge du mou</i>	01-elogeDuMou/ 2013-02-07eloge.ogv

5.1.2 Matériaux sonores et mappage

Les principaux matériaux sonores pour cette œuvre proviennent d'enregistrements de clarinette basse. À l'automne 2009, nous avons invité la clarinettiste Krista Martynas à participer à une session d'enregistrement en studio et lui avons demandé de jouer de longs crescendos sur des notes spécifiques : des ré et des la à différentes octaves. Au début de chacun de ces sons, l'air est très présent et la

partie tonique est très douce. Au fur et à mesure que le crescendo progresse, l'air devient plus discret, l'aspect bruité s'estompe et la place est laissée aux composantes toniques.

Pour l'enregistrement, nous avons utilisé quatre microphones omnidirectionnels, tous positionnés à environ 30 cm devant l'instrument, répartis également le long du tube. Un premier microphone était à la hauteur de l'embouchure, un deuxième près de la main gauche de l'instrumentiste, un troisième était près de la main droite et un autre était face à la cloche. À cause des particularités du rayonnement acoustique de la clarinette, chaque microphone a capté un spectre un peu différent : certains harmoniques peuvent être très présents sur un canal et pratiquement inaudibles sur un autre. Au départ, nous voulions utiliser ces quatre canaux pour restituer le son sur un système tétraphonique, espérant ainsi obtenir un phénomène d'immersion spatiale. Cependant, la granulation en temps réel de quatre canaux était un traitement trop lourd pour les outils dont nous disposions à l'époque. Nous avons préféré minimiser les risques de surcharge de l'ordinateur et avons travaillé avec des versions stéréophoniques des enregistrements.

Ces sons filés ont été pensés spécifiquement pour être granulés. Quand le contenu des grains provient du début des enregistrements, le son est très bruité. Quand l'index de granulation progresse vers la fin du fichier sonore, le son devient graduellement plus fort et plus tonique. En jouant ainsi avec l'index, on peut, en quelque sorte, souffler plus ou moins fort dans une clarinette. Additionnellement, en sélectionnant et en combinant les deux notes (ré et la) sur différentes octaves, on peut épaissir ou amincir la texture obtenue. Pour donner encore plus de soutien dans les graves, nous avons ajouté deux générateurs d'ondes sinusoïdales aux fréquences 36,7 Hz et 73,4 Hz (ré-1 et ré-2).

Les premières explorations ont été faites de façon relativement traditionnelle : les potentiomètres d'une surface de contrôle (Behringer BCF2000) affectaient différents paramètres du granulateur via des mappages *un-à-un*. Nous avons utilisé

le module `TGrains` de l'environnement SuperCollider. Quand une sonorité jugée intéressante était découverte, les valeurs des paramètres étaient sauvegardées. Ces préréglages ont ensuite été utilisés dans une version primitive de l'interpolateur de préréglage qui, à l'époque, ne fonctionnait qu'en deux dimensions (voir section 4.1.4). Pour naviguer dans cet espace à deux dimensions, nous utilisions les signaux de deux axes d'un des accéléromètres. Les volumes des sinusoïdes étaient également intégrés dans l'interpolateur.

Les sons granulés passaient ensuite à travers un filtre passe-bas dont la fréquence de coupure variait avec la pression appliquée sur un des *FSR* (voir section 4.3.2.2). Lorsque qu'on appuyait fermement sur l'éponge à l'endroit où se trouvait le capteur, les hautes fréquences étaient filtrées et il ne restait que les ondes sinusoïdales et les composantes les plus graves des sons de clarinette. Ce mappage très simple s'est avéré très efficace. Jouer avec les parties bruitées des sons de clarinette permettait d'obtenir une sorte de *vent*, alors que filtrer les parties toniques rappelait des couleurs qu'il est possible d'obtenir par synthèse soustractive d'ondes carrées.

Les premières versions de cette pièce n'employaient que ces sons de clarinette granulés et un filtre passe-bas, mais rapidement, nous avons voulu intégrer des matériaux supplémentaires. Durant l'été 2010, une banque de résonateurs a été ajoutée. Comme nous l'avons expliqué à la section 4.3.1.3, les signaux des accéléromètres (filtrés par un filtre passe-haut) étaient utilisés pour exciter les résonateurs et un capteur de pression était employé pour les étouffer. Rappelons au passage que cette façon de faire remet en question la traditionnelle séparation entre taux de contrôle et taux audio que nous critiquions en section 4.2.2.

Les résonateurs sont basés sur le module `CombC` de SuperCollider. Les six signaux qui proviennent des accéléromètres excitent chacun un des six résonateurs. Au départ, les six notes jouées étaient fixes (voir figure 5.1). Il s'agit d'un simple accord majeur, le but étant d'émuler la série des harmoniques et de faire fusionner les éléments.

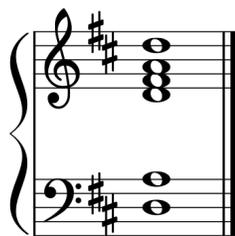


Figure 5.1 – L'accord de six notes joué dans *L'éloge du mou*.

En mars 2011, nous avons ajouté sept boutons à l'éponge. Ils permettaient entre autres de démarrer ou de stopper le processus de granulation ainsi que deux banques de résonateurs. De plus, un des boutons activait une fonction de modulation de hauteur. Lorsque ce bouton était enfoncé, plier l'éponge faisait glisser la note jouée d'environ un ton vers le haut ou vers le bas. Il était donc possible, par exemple, de jouer deux processus simultanément et de faire varier la hauteur de l'un deux. Les phénomènes de battement et les tensions qui apparaissaient ont joué un rôle musical notable dans la pièce.

Pour enregistrer nos performance et pour pouvoir nous adapter plus rapidement lors de prestations, les signaux de SuperCollider étaient aiguillés vers une station de travail audionumérique (STAN)¹ via l'utilitaire Jack². Les signaux provenant du granulateur et des deux banques de résonateurs étaient traités séparément dans le STAN. Cela permettait d'ajuster rapidement l'équilibre entre les différents éléments et, au besoin, d'ajouter des traitements comme l'égalisation, la compression, la réverbération, etc. Les deux banques de résonateurs étaient traitées de façons différentes : la première était simplement égalisée et compressée, alors que la seconde comportait en plus une distorsion. En choisissant l'une ou l'autre ce qui ajoutait des possibilités timbrales.

¹Nous avons d'abord utilisé Ardour (<http://ardour.org/>), mais préférons maintenant Reaper (<http://reaper.fm/>). Le STAN utilisé a peu d'importance.

²*Jack Audio Connection Kit* (Jack) est un utilitaire qui permet d'aiguiller des signaux audio-numériques entre plusieurs logiciels qui roulent sur un même ordinateur. <http://www.jackaudio.org/>

Toujours en mars 2011, nous avons ajouté de nouvelles banques de filtres qui génèrent des formants sur le signal issu des résonateurs.³ Pour affecter les nombreux paramètres de ces filtres formantiques (produits par le module `Formlet` de Super-Collider), nous avons utilisé l’interpolateur de préréglages (voir section 4.1.4), qui était devenu beaucoup plus mature et qui fonctionnait désormais pour des espaces à plus de deux dimensions. Tel qu’expliqué à la section 4.3.1.1, nous utilisons les six signaux des accéléromètres pour naviguer entre huit préréglages disposés dans un espace à six dimensions. De cette manière, les 12 paramètres des quatre formants (fréquence, temps d’attaque et temps de chute pour chaque formant) variaient de façon continue et fluide. Avec cette approche, il était possible de faire résonner certains harmoniques plus que d’autre, principalement avec un geste de torsion. Avec ce mappage, le comportement de l’éponge rappelle celui de la scie musicale.

Dans la même lancée, nous avons mis à jour l’espace de préréglages qui était utilisé pour le granulateur. Nous avons repositionné de nouveaux préréglages (très semblables aux anciens) dans un espace à six dimensions. Ici encore, la navigation se faisait via les six signaux des accéléromètres.

Avec la possibilité de lancer trois processus qui roulent en simultanément, un problème est apparu. Il pouvait être souhaitable d’avoir la granulation et les résonateurs qui jouaient ensemble, mais affecter leurs paramètres de façon interreliée était extrêmement limitant. Un mouvement d’éponge qui était musicalement intéressant pour la granulation pouvait être insipide, voire abject, lorsqu’appliqué aux résonateurs. Pour régler ce problème, nous avons implémenté une fonction qui fige certains paramètres d’un processus quand un bouton est enfoncé. En fait, cette fonction déconnectait les signaux des accéléromètres de l’interpolateur de préréglages. De cette manière, le processus roulait toujours et était audible, mais plusieurs de ses para-

³Techniquement, ces banques de filtres sont aussi des résonateurs, mais pour éviter la confusion, les résonateurs qui sont excités directement par les signaux des accéléromètres sont appelés *résonateurs* et les filtres formantiques (placés en aval des résonateurs) sont appelés *filtres formantiques*.

mètres restaient fixes. Les paramètres qui étaient affectés par des mappages autres que l'interpolateur n'étaient pas déconnectés. Cela signifie que, pour les résonateurs, l'excitation et l'étouffement demeuraient fonctionnels même si le processus était figé. De la même manière, le filtre passe-bas en aval du granulateur restait actif. Cette stratégie permettait de laisser un processus rouler pendant qu'un solo était joué avec un autre.

À cette étape, l'éponge (à sept boutons, voir le tableau 3.IV) offrait un assez grand nombre de possibilités :

- trois boutons pour lancer, figer et stopper les trois processus disponibles :
 - un premier clic lance le processus ;
 - un second clic fige le processus ;
 - un troisième clic "défige" le processus (et ainsi de suite) ;
 - un double-clic stoppe le processus.
- navigation dans un espace à six dimensions pour jouer avec le granulateur ;
- navigation dans un autre espace à six dimensions pour jouer avec les formants qui altèrent le son des résonateurs ;
- deux boutons pour activer la modulation de hauteur des résonateurs ;
- un capteur de pression qui affecte la fréquence de coupure d'un filtre ;
- un capteur de pression qui étouffe le son des résonateurs.

En 2012, quand le nombre de boutons sur l'éponge est passé de sept à dix, nous avons dû repenser les différentes fonctions. Nous avons uniformisé les mécanismes pour lancer, stopper et figer les processus (voir fig :boutonsEloge). En 2013, le mode *pitch* développé pour la pièce *Origami* (voir section 4.3.3 et tableau 4.14) a été intégré au mappage de *L'éloge du mou*. La granulation n'était pas concernée

par cet ajout, mais il était désormais possible de jouer des hauteurs chromatiques avec les résonateurs.

5.1.3 Écriture et structure

Le propos musical et la structure de la pièce n'ont eu d'autre choix que d'évoluer grandement avec les changements apportés à l'instrument. Certaines idées musicales motivaient certaines modifications à faire sur l'éponge ou le mappage, alors que les possibilités et les limites de l'instrument inspiraient parfois de nouvelles idées.

5.1.3.1 *Clarinette*, 2010

La toute première version de *Clarinette* était jouée sur une version assez rudimentaire de l'éponge : celle qui datait de juin 2007 (voir tableau 3.IV). L'instrument présentait une latence importante qui restreignait grandement les possibilités musicales. À la latence due à l'interface wiMicroDig utilisée à l'époque s'ajoutait celle inhérente à la granulation. Certains réglages – dépendant de la densité, de la durée et de la forme des enveloppes des grains – peuvent donner l'impression que l'instrument répond relativement lentement.

Il était donc à peu près impossible de jouer des passages articulés ou rythmés, ce qui nous contraignait à faire une musique basée sur les trames. Une vidéo d'une des seules représentations publiques de cette version de l'œuvre est disponible sur le support numérique joint à ce document.⁴

La pièce s'ouvre avec de lentes respirations qui dévoilent graduellement les sons de clarinette. Au début, on ne perçoit que le son très bruyé du souffle, mais peu à peu, les sons toniques prennent la vedette. Avec un jeu de questions-réponses où des textures denses succèdent à des textures plus éparses, nous explorons les diffé-

⁴Fichier nommé 01-e1ogeDuMou/2010-04-23clari.ogv sur le support numérique joint (Annexe I).

rentes possibilités du granulateur. Les différentes hauteurs enregistrées sont parfois juxtaposées, parfois superposées. Environ aux deux-tiers de la pièce, les lentes respirations de l'introduction sont rappelées. Une pédale de ré grave est maintenue pendant toute la dernière partie, alors que des notes plus hautes tissent une trame où les différentes notes de clarinette granulées apparaissent et disparaissent. La pièce se conclut avec un retour vers les sons bruités et la clarinette rend son dernier souffle.

5.1.3.2 *Clarinette (Struggling)*, 2011

La seconde version qui est incluse sur le support numérique est intitulée *Clarinette (Struggling)*⁵ et a été enregistrée en studio le 7 février 2011 (voir tableau 5.I). Cette version inclut les résonateurs, ce qui signifie qu'il était maintenant possible de jouer des motifs rythmiques sur l'éponge et de faire dialoguer les deux matériaux sonores.

La pièce commence avec une longue introduction pulsée alors que le son du souffle apparaît graduellement. Au fur et à mesure que ce long crescendo progresse, le souffle laisse peu à peu la place aux sons toniques. Les résonateurs s'éclipsent et toute la place est occupée par une note tenue dans le registre moyen. Cette accalmie permet de respirer un peu avant que les motifs rythmiques joués avec les résonateurs réapparaissent doucement. Le solo de résonateurs de l'introduction est ensuite brièvement rappelé et un nouveau crescendo mène jusqu'à une coupure subite où le filtre passe-bas (sur la granulation de clarinette) est exploité. Un jeu de questions et de réponses entre la granulation et les résonateurs se développe jusqu'à ce que les sons de clarinette se retirent et laissent la place à une finale qui rappelle le solo de résonateurs de l'introduction.

Cette version de l'œuvre se distingue de toutes les autres pièces pour éponge

⁵Fichier nommé 01-e1ogeDuMou/2011-02-07clariStru.ogg sur le support numérique joint (Annexe I).

par le fait que les modes de jeu sont assez uniques. Comme l'éponge ne comportait pas de boutons, il fallait démarrer les processus à partir de l'ordinateur. Maintenir la position neutre, qui est verticale plutôt qu'horizontale, était absolument crucial au début et à la fin de la pièce.

5.1.3.3 *Clarinette (Albino Butterfly), 2011*

Dans cette version captée le 3 novembre 2011⁶, tous les éléments décrits à la section 5.1.2 sauf le *mode pitch* fonctionnent. Ici, les dialogues entre les résonateurs et la granulation sont beaucoup plus raffinés. Le discours musical a été grandement enrichi par les mélodies que les filtres formantiques permettent de jouer.

La pièce s'ouvre avec une introduction où les filtres formantiques font chanter les harmoniques des résonateurs. Par la suite, les résonateurs sont figés et nous jouons avec la modulation de hauteur. Graduellement, le souffle des sons de clarinette apparaît et les deux matériaux se superposent. Le filtre passe-bas permet de repousser la granulation vers l'arrière plan et de laisser plus d'espace aux résonateurs. Soudainement, l'éponge est retournée et le capteur de pression qui affecte le filtre est pressé fermement. Ce geste vif excite les résonateurs, mais ne laisse entendre que les extrêmes graves du granulateur et les ondes sinusoïdales. Graduellement, les hautes fréquences reprennent vie et les notes de clarinette basse occupent à nouveau l'avant plan. Mais ce ne sera que pour une courte durée puisque le processus de granulation sera stoppé pour laisser toute la place aux résonateurs. Les filtres formantiques sont alors réactivés et le chant des harmoniques exposé lors de l'introduction réapparaît. Après une reprise presque identique des mélodies de l'introduction, les résonateurs sont à nouveau figés. La séquence de jeu avec la modulation de hauteur reprend, mais cette fois-ci avec les résonateurs avec distortion. Le souffle et les notes de clarinette reviennent en force, ce qui permet aux réso-

⁶Fichier nommé 01-e1ogeDuMou/2011-11-03clariAlbi.ogv sur le support numérique joint (Annexe I).

nateurs avec distorsion de s'éclipser subtilement. L'éponge est ensuite lentement ramenée en position neutre, ce qui atténue les sons de clarinette jusqu'à disparition complète.

5.1.3.4 *L'éloge du mou*, février 2013

Dans une version courte de *L'éloge du mou* datant du 7 février 2013⁷, l'introduction ne comporte aucune répétition et n'est rejouée qu'en guise de conclusion. Les trames de la section centrale évoluent plus rapidement : les résonateurs avec distorsion apparaissent très tôt et les dialogues avec la granulation sont légèrement plus frénétiques.

Cette version courte était préparée spécialement pour un spectacle de variétés où la scène était partagée avec des chanteurs rock, des danseurs et des humoristes.

5.1.3.5 *L'éloge du mou*, 2013

Il n'existe malheureusement aucune captation de la dernière version de la pièce qui a été jouée le 23 mai 2013. Pour cette version, le mode *pitch* développé pour la pièce *Origami* (voir section 4.3.3 et tableau 4.14) a été intégré au mappage de *L'éloge de mou*. Cette possibilité a été exploitée en intégrant des motifs mélodico-rythmiques (principalement pentatoniques) à la pièce. La tonique était maintenue par la granulation et par un guide d'onde alors que ces motifs étaient joués une ou deux octaves au dessus.

⁷Fichier nommé 01-elogeDuMou/2013-02-07eloge.ogv sur le support numérique joint (Annexe I).

5.2 Origami

5.2.1 Origine du projet

Le travail sur ce projet a été marqué par un désir de rompre avec les pièces précédentes qui étaient basées sur des timbres d'instruments acoustiques. Nous avions envie de sonorités plus électroniques et dont les articulations seraient davantage collées aux manipulations de l'éponge. Nous voulions également tester les limites de l'instrument en nous penchant sur les possibilités d'interactions avec d'autres musiciens.

Nous avons commencé par laisser de côté la granulation, un procédé qui était central aux pièces *L'éloge du mou* et *Cymbale*. Cette technique permettait d'utiliser des sons enregistrés et offrait un grand éventail de possibilités timbrales, mais elle présentait un inconvénient notable. De par sa nature, la granulation comporte une latence qui varie avec la densité et les enveloppes des grains générés. Dans *L'éloge du mou*, par exemple, des enregistrements de clarinette sont granulés pour obtenir une variété de textures. Si les grains sont longs et que les enveloppes sont douces, les attaques graduelles rendent impossible certains modes de jeu, plus particulièrement tout ce qui se rapproche d'un jeu percussif. Pour *Origami*, nous voulions articuler nous-même les enveloppes en amenant plus ou moins d'énergie au système. Il nous a semblé qu'un mécanisme de génération du son purement synthétique – nous entendons par là une méthode qui n'inclut aucun échantillon préalablement enregistré – permettrait une réponse plus rapide de l'instrument et une action plus directe sur le son.

À cet effet, la synthèse par modulation de fréquence (FM) nous semblait une avenue intéressante à explorer. Ses possibilités timbrales sont variées et riches, et notre intuition était que l'éponge serait appropriée pour en jouer. Contrairement au clavier musical, l'éponge est pensée pour faire varier les morphologies internes du son après le déclenchement. Par conséquent, nous croyons que l'éponge per-

met de jouer du synthétiseur FM de façon assez singulière. Nous nous pencherons davantage sur ce sujet dans la section 5.2.2.

En travaillant sur cette pièce, nous voulions également nous pencher sur la communication et l'interaction avec d'autres musiciens. Au tout début, alors qu'*Origami* n'était encore qu'une idée floue, nous savions qu'elle serait la première pièce pour plusieurs éponges et, dans ces conditions, qu'elle serait un laboratoire dans lequel nous explorerions les enjeux du travail à plusieurs épongistes. Nous aborderons ces enjeux dans la section 5.2.3.

5.2.2 Matériaux sonores et mappage

Tous les sons d'*Origami*, sans exception, sont générés à partir de synthèse FM, une méthode qui, pour nous du moins, a une sonorité très électronique. En utilisant l'éponge plutôt qu'une interface traditionnelle comme le clavier musical, nous espérons pouvoir faire varier en continu et de façons très complexes les nombreux paramètres d'un moteur de synthèse FM. Nous voulions ainsi obtenir un matériau sonore dont le timbre est résolument électronique, mais dont les morphologies rappelleraient les comportements très complexes des instruments acoustiques.

Les possibilités de la FM sont variées et riches, mais lorsqu'on la joue avec un clavier, on se contente souvent de lancer les sons et l'on n'intervient que très peu sur les morphologies internes après le déclenchement. Les synthétiseurs traditionnels (des appareils comme le Yamaha DX7 ou des logiciels comme FM7 de Native Instruments) permettent l'élaboration d'enveloppes très sophistiquées pour faire évoluer les sons de façon complexe, mais les variations sont généralement pré-programmées. Il est cependant possible d'utiliser des contrôleurs continus – pour employer une expression rattachée au protocole MIDI – pour varier les fréquences et les index de modulation pendant le déploiement d'une note. L'interpolateur de réglages discuté à la section 4.1.4 s'est avéré être un excellent outil pour concevoir efficacement des mappages dans lesquels un grand nombre de paramètres varient

simultanément.

Pour la synthèse FM, le module FM7, un plugiciel pour SuperCollider distribué avec les `sc3-plugins`, a été utilisé.⁸ Ce générateur comporte six oscillateurs sinusoïdaux dont les amplitudes et les fréquences peuvent varier en continu. De plus, le signal de chaque oscillateur peut moduler la phase de n'importe laquelle des six sinusoïdes.⁹ La réinjection est possible, c'est-à-dire qu'un oscillateur peut moduler sa propre phase.

En explorant les possibilités du module FM7, nous avons observé que les sonorités obtenues par réinjection deviennent rapidement complexes et bruitées. Les bandes latérales qui apparaissent dans le spectre peuvent être bien au delà de la fréquence de Nyquist, ce qui laisse apparaître des fréquences de repliement dans le spectre audible. Ces artefacts sont traditionnellement considérées indésirables, mais nous avons choisi de les intégrer et de les musicaliser.

Les paramètres du générateur FM7 peuvent être représentés par deux matrices. La première, de 6×3 , contient les amplitudes, les phases initiales et les fréquences de chacun des oscillateurs. La seconde, de 6×6 , contient les index de modulation (en radians) de chacun des oscillateurs. Nous avons asservi tous ces paramètres (à l'exception des phases initiales qui, de toutes façons, restent fixes) à l'éponge en utilisant l'interpolateur de préréglages. Nous avons créé six préréglages que nous avons positionnés dans un espace à six dimensions en suivant la méthode décrite à la section 4.3.1.1. Comme pour *L'éloge du mou*, ce sont les six signaux des accéléromètres qui permettent la navigation dans l'espace.

Le positionnement des préréglages et les valeurs des paramètres ont été conçus de façon à ce que le pliage de l'éponge cause une modulation de la hauteur. Additionnellement, l'orientation et la torsion changent le timbre harmonique du son. Plus l'éponge s'écarte de la position neutre (que ce soit par un geste de torsion

⁸<https://github.com/supercollider/sc3-plugins>

⁹Dans ce contexte, la modulation de phase et la modulation de fréquence sont des opérations équivalentes.

ou en changeant son orientation), plus le timbre est riche et, ultimement, bruité et altérés par les phénomènes de repliement.

Les boutons peuvent démarrer et stopper plusieurs processus de synthèse FM, mais dans le contexte de la pièce, chaque instrumentiste n'en utilise qu'un seul. Pendant presque toute la pièce, les deux éponges sont en mode *pitch*, c'est-à-dire que les boutons de la main gauche servent à changer la hauteur de la note jouée, tel qu'illustré à la figure 4.14). Deux boutons de la main droite permettent de monter et de descendre d'une octave. Aucun mécanisme ne limite les sauts d'octaves ; on peut donc générer du contenu bien au-delà de la fréquence de Nyquist ou, à l'inverse, générer des fréquences si basses qu'elles sont perçues comme une pulsation plutôt que comme une hauteur.

L'énergie des tapotements sur les éponges est transmise aux synthétiseurs en utilisant la stratégie expliquée à la section 4.3.1.3. Les six signaux des accéléromètres "excitent" six synthétiseurs FM qui ont chacun six opérateurs.

Les boutons peuvent également être mis en *mode harmo*, un mode qui, comme nous l'expliquions à la section 4.3.3, permet de jouer des accords prédéterminés. Les doigtés et les accords pour *Origami* sont illustrés à la figure 4.15.

5.2.3 Écriture et structure

Cette pièce est un duo pour éponges qui a été composé conjointement avec Myriam Bleau durant l'automne 2013. Le titre de la pièce fait allusion à l'art du papier plié, et trace un parallèle avec le pliage de l'éponge et avec les phénomènes de repliement de spectre.

Une éponge a été confiée à Myriam en août 2013. Des intructions de base sur le fonctionnement de l'interface et de SuperCollider lui ont été données, mais elle a été laissée plutôt libre sur sa façon d'approcher l'instrument.

Pour l'écriture de la pièce, nous avons fonctionné par sessions d'improvisation. Nous avons eu une dizaine de rencontres d'environ deux heures durant lesquelles

nous improvisons de façon libre. Pratiquement toutes les sessions étaient filmées et, à la rencontre suivante, nous sélectionnions des extraits potentiellement intéressants et tentions de les reproduire. En guise d'exemple, un extrait d'une session d'improvisation est disponible sur le support numérique qui accompagne ce document.¹⁰

En seulement quelques semaines, Myriam a développé une bonne maîtrise de l'instrument et les idées musicales provenaient de part et d'autre. Au fil des sessions, la pièce s'est construite de façon intuitive et l'interaction qui s'installait nous semblait très proche de celle qui existe dans des groupes de musique jazz ou rock. Il était possible de communiquer des intentions musicales par des regards ou par des gestes et, sauf quand de rares problèmes techniques nous ralentissaient, la technologie était assez transparente pour que nous puissions nous concentrer sur la musique.

Le fait que tous ces types d'interaction – beaucoup plus proche du jeu que du contrôle – était possibles quand nous jouions à deux constituait une validation de l'instrument. À travers cet exercice, nous constatons que l'éponge pouvait prendre sa place dans un ensemble au même titre qu'un instrument traditionnel.

La pièce a été créée le 30 janvier 2014 à Montréal. Une captation vidéo de l'évènement est jointe.¹¹ La pièce est divisée en cinq parties :

1. mélodie à deux voix (voir figure 5.2) ;
2. ligne de basse et mélodie (voir figure 5.2) ;
3. dialogue dans l'aigu (avec repliement de spectre) ;
4. 5 + 7 ;

¹⁰Fichier nommé `02-origami/2013-10-17impro.ogv` sur le support numérique joint (Annexe I).

¹¹Fichier nommé `02-origami/2014-01-30origami.ogv` sur le support numérique joint (Annexe I).

5. douces harmonies et mélodie improvisée.

La mélodie à deux voies est une superposition de deux parties de cinq notes où certains intervalles dissonants créent des phénomènes de battement (voir figure 5.2). Les interprètes modulent la hauteur des notes et jouent avec les frictions qui apparaissent et se résorbent. Dans la deuxième section, une éponge joue une ligne de basse de cinq notes (voir figure 5.3), alors que l'autre joue une mélodie improvisée dans un mode mineur. À la fin de cette partie, l'éponge qui faisait la basse rejoint l'éponge mélodique dans l'aigu. Durant le dialogue, les interprètes prennent part à un jeu de questions et de réponses dans le registre très aigu. Les phénomènes de repliement de spectre tiennent un rôle prépondérant dans cette parties qui se veut un peu rigolote. Les courtes phrases musicales improvisées doivent être très contrastées et les interprètes peuvent jouer à se surprendre l'un l'autre.

Dans la partie appelée 5+7 la ligne de basse est reprise, mais elle suit un motif rythmique spécifique (voir figure 5.4). Le nom 5+7 fait référence aux métriques de 5/8 et 7/8 qui se succèdent. Les deux éponges font une montée en puissance jusqu'à un climax homorythmique. La désinence du climax devient ensuite une partie calme et contemplative. Les mélodies reviennent, mais cette fois-ci, elles sont soutenues par une progression harmonique en mode éolien (voir figure 4.15). La pièce se termine de façon un peu inattendue, alors qu'un accord glisse vers le haut tandis que son son s'éteint graduellement.

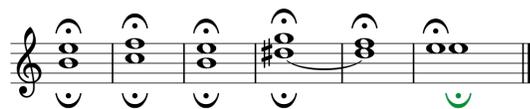


Figure 5.2 – La mélodie à deux voies dans *Origami*.

La première version de la pièce fut considérablement plus longue que les versions subséquentes (15 minutes plutôt que 10 minutes), mais la structure reste très similaire. Les cinq parties ont été comprimées en éliminant des reprises, mais leur

Figure 5.3 – Ligne de basse dans *Origami*.Figure 5.4 – Ligne de basse avec rythme en 5/8 et 7/8 dans *Origami*.

TABLEAU 5.II – Ce tableau présente une liste des versions de la pièce *Origami* qui sont incluses sur le support numérique joint.

Date	Description	Fichier inclus
17 octobre 2013	Extrait d'une session d'improvisation.	02-origami/ 2013-10-17impro.ogv
30 janvier 2014	<i>Origami</i> Création, Montréal.	02-origami/ 2014-01-30origami.ogv
2 juillet 2014	<i>Origami</i> (extraits) NIME 2014, Londres.	02-origami/ 2014-07-02origami.ogv
19 août 2015	<i>Origami</i> TIES 2015, Toronto. Avec Marc Lalancette.	02-origami/ 2015-08-19origami.ogv

essence reste la même. La deuxième version d'*Origami* a été jouée à la conférence NIME de Londres en 2014.¹²

La plus récente interprétation a eu lieu à Toronto en 2015.¹³ Comme Myriam n'était pas disponible, il nous a fallu trouver un autre interprète pour jouer le duo.

¹²Fichier nommé 02-origami/2014-07-02origami.ogv sur le support numérique joint (Annexe I).

¹³Fichier nommé 02-origami/2015-08-19origami.ogv sur le support numérique joint (Annexe I).

Marc Lalancette s'est joint à nous et a appris à jouer de l'éponge très rapidement. Trois rencontres intensives lui ont suffi pour apprendre la partie de Myriam.

Anecdote intéressante : nous avons constaté que notre connaissance de la partie jouée par Myriam était très floue. Avant de l'enseigner à Marc, nous avons dû nous-même l'apprendre à partir des archives vidéos. Nous avons ensuite fait des enregistrements fractionnés dans un STAN pour que Marc puisse écouter la pièce avec ou sans sa partie.

Bien que nous ne soyions pas particulièrement attachés à la pérennité de l'œuvre, nous avons été heureux de constater qu'une passation était possible. Nous n'avons pas vraiment écrit de partition, mais comme nous disposons d'archives vidéos, cela ne nous semble pas absolument nécessaire.

Nous sommes heureux de savoir que d'autres musiciens peuvent apprendre la pièce. La prochaine étape sera sans doute de faire jouer *Origami* par deux musiciens qui n'ont jamais joué d'éponge.

5.3 À feu doux

5.3.1 Origine du projet

À feu doux est la pièce pour éponge la plus récente. À la base, l'idée était d'explorer des sons naturalistes plus bruités que les sons résolument toniques des autres pièces. La proposition esthétique est simple : construire un discours musical avec des matériaux sonores qui rappellent les sons du feu. Le mappage a pour but de permettre à l'interprète de *jouer avec le feu*.

5.3.2 Matériaux sonores et mappage

Les boutons de l'éponge permettent de démarrer différents processus :

- crépitements ;

- flammes ;
- crépitements avec hauteurs ;
- crépitements avec harmonies ;
- feu véritable.

Quand le processus *crépitements* est en fonction, chaque tapotement déclenche un impact qui s'apparente aux impulsions qui composent le crépitement du feu. Ces impulsions bruitées sont générées par synthèse. Chaque impact déclenche une courte impulsion de bruit blanc qui est elle-même aiguillée vers un filtre passe-bande dont la fréquence centrale est choisie aléatoirement dans un ambitus entre 80 Hz et 4000 Hz.

Ce processus, tout comme pour les autres processus utilisés dans cette pièce, peut fonctionner en mode stéréophonique ou en mode tétraphonique. Dans les deux cas un court délai variant aléatoirement entre 0 et 0,0017 s est ajouté sur chacun des canaux sauf un. De cette manière, chaque *pop* est localisé au hasard dans l'espace. Cet effet est particulièrement convaincant avec la version tétraphonique.

Le processus *flammes* imite le bruit sourd des flammes qui oscillent. Ce son provient d'un enregistrement fait en studio avec de grands draps qui sont secoués.¹⁴ Quand le processus est en fonction, les signaux des accéléromètres sont aiguillés vers un filtre passe-bande dont la fréquence centrale est de 4 Hz, puis vers un suiveur d'enveloppe qui, à son tour, affecte l'amplitude du son de flammes. Cette stratégie permet de lier les mouvements amples des bras à l'amplitude du son de flammes.

Les crépitements avec hauteurs fonctionnent exactement comme les autres crépitements, mais ils servent aussi à exciter des synthétiseurs par guide d'onde basés sur le module *Pluck* de SuperCollider. Si on passe en *mode pitch*, les boutons de la main gauche permettent de changer la hauteur jouée (voir section 4.3.3).

¹⁴Merci à Georges Forget pour cette excellente idée et pour la session d'enregistrement.

Pour ces crépitements avec hauteurs l'interpolateur de préréglages est utilisé pour affecter les paramètres du synthétiseurs par guide d'onde. Le timbre et l'entretien des notes est affecté par la torsion, la flexion et de l'orientation de l'éponge.

Les crépitements avec harmonies fonctionnent sur le même principe que les crépitements avec hauteurs, mais les boutons permettent de sélectionner des accords prédéterminés (écrits sur la portée de la figure 5.6). Dans ce mode, chacun des six axes des accéléromètres excite une note spécifique de l'accord sélectionné avec les boutons. De cette manière, il est possible de faire ressortir certaines plus que d'autres en changeant l'emplacement et la qualité des tapottements.

Boutons en mode \emptyset

4	TC: démarrer un processus.	9	Processus: crépitements avec hauteurs ou harmonies.
3		8	Processus: crépitements.
2		7	Processus: flammes..
1	TC: passer en mode harmo.	6	Processus: feu véritable.
0	TC: passer en mode pitch.	5	Aucune fonction.

Figure 5.5 – Ce schéma donne la fonction de chacun des boutons en *mode 0* pour la pièce *À feu doux*. Sans touche de combinaison, les touches de la main droite (5 à 9) stoppent un processus.

Finalement, le processus *feu véritable* fait simplement la lecture en boucle d'un enregistrement de feu de camp. Ce son sert de fond pour les solos d'éponge et permet des transitions plus fluides.

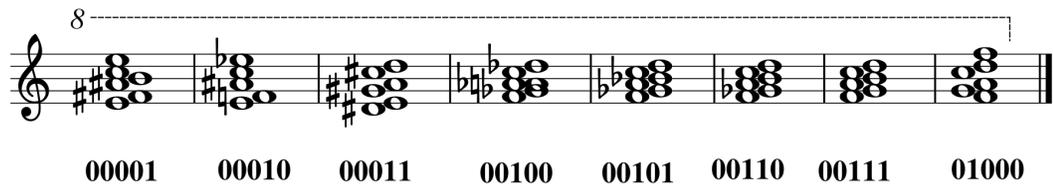


Figure 5.6 – Les huit accords joués dans la pièce *À feu doux* et les doigtés correspondants.

5.3.3 Écriture et structure

La structure de cette pièce est très libre. L'idée est de laisser l'interprète jouer avec les différentes options que permettent les différents processus. Tous les processus peuvent être combinés.

Il y a deux versions sur le support numériques :

- 03-aFeuDoux/2015-01-28aFeuDoux.ogv
- 03-aFeuDoux/2015-05-07aFeuDoux.ogv

La première version commence avec les crépitements avec hauteurs. Après avoir joué un peu plus d'une minute à faire des accumulations toniques ou variées qui par moment deviennent presque mélodiques, nous éliminons les hauteurs et lançons la lecture de l'enregistrement de feu ainsi que les crépitements sans hauteurs. Nous tapotons l'éponge pour créer des accumulations complexes qui varient en densité. Nous introduisons ensuite le son des flammes et, après quelques variations, nous lançons les crépitements avec hauteurs à nouveau. Un à un, les éléments sont stoppés. Pour la finale, il ne reste que les crépitements et la pièce se termine avec la dispersion de cette accumulation complexe.

La seconde version débute avec un jeu de densification et de dispersion des crépitements complexes. Les flammes sont ensuite activées et viennent soutenir le jeu avec les accumulations. L'enregistrement du feu et les crépitements avec hauteurs

sont activés. Les hauteurs générées par les guides d'onde sont dans un registre qui leur donne une couleur très cristalline. Le jeu avec les progressions harmoniques plutôt dissonnantes se poursuit un certain temps et finit par céder la place aux sons complexes des crépitements.

5.4 Improvisations et collaborations

L'interaction avec d'autres musiciens est une idée centrale à cette recherche. Il nous semble donc naturel de jouer le plus souvent possible avec d'autres improvisateurs. En plus d'être, en général, très agréables, les sessions d'improvisation sont très révélatrices des forces et des faiblesses d'un IMN comme l'éponge.

Dernièrement, nous avons joint la formation *Ohms & Fohms* et avons joué aux côtés d'Ida Toninato (saxophone), Geneviève D'Ortun (saxophone), Pierre Michaud (clarinette) et Kevin Gironnay (électronique et traitements). L'ensemble avait été engagé pour jouer durant les pauses d'un colloque qui a eu lieu les 17 et 18 mars 2016. Il était attendu que les musiciens allaient exploiter l'architecture particulière du lieu où se tenait le colloque.

Intégrer l'éponge dans cet ensemble d'instruments traditionnels s'est avéré très plaisant et très intéressant. Première observation : il est très facile pour des saxophonistes de se déplacer dans un espace et de jouer avec l'acoustique d'un lieu. L'éponge peut très bien se déplacer, mais sa source sonore doit généralement rester en place. Il a donc fallu adapter certaines idées musicales à cette limite de l'éponge. Il existerait des moyens techniques pour rendre l'éponge et sa source sonore plus portable, mais faire ces changements (assez importants) n'est pas une priorité pour l'instant. Après tout, le piano et, dans une moindre mesure, la contrebasse et le violoncelle ont le même problème.

Deuxième observation : nous voulons toujours plus d'options. Comme c'est avec le mappage d'*Origami* que nous avons acquis le plus d'expérience en improvisation,

c'est généralement celui que nous employons dans ce genre de circonstance. Par contre, il vient toujours un moment où l'on voudrait accéder à d'autres mappages. Mais à l'heure actuelle, les mappages d'*À feu doux*, d'*Origami* et de *L'éloge du mou* ne sont pas tous accessibles simultanément. Pour passer des crépitements à la synthèse FM, il faut aller à l'ordinateur et l'intervention prend une vingtaine de secondes. Nous travaillons actuellement à intégrer tous les mappages que nous avons conçus jusqu'à maintenant en un seul programme SuperCollider de façon à ce que toutes les options soient accessibles instantanément. Nous tentons d'organiser ce programme pour qu'il soit relativement simple d'y intégrer de nouvelles idées.

Nous avons également eu le privilège d'être invités par le Concordia Laptop Orchestra (le CLOrk) pour une session d'improvisation. Le concert d'environ une heure a eu lieu le 10 mars 2016 et mettait en vedette 24 *laptopistes*, un chef d'orchestre (Eldad Tsabary) et un épongiste (voir l'annexe II pour la liste de tous les participants). Une captation vidéo de cet évènement est disponible sur le support numérique joint.¹⁵

Les signaux monophoniques des 24 ordinateurs ainsi que le signal de l'éponge étaient aiguillés vers un logiciel de mixage que le chef d'orchestre opérait. Les interprètes, en plus d'utiliser les logiciels de leur choix pour faire du son, ouvraient une fenêtre de clavardage où tout le groupe pouvait discuter. La plupart des indications venaient du chef, mais des idées ou des commentaires étaient parfois émis par des membres de l'orchestre.

Le concept même de l'orchestre d'ordinateurs semble aller à l'encontre de nos positions sur l'interprétation des musiques électroacoustiques : nous voulons de l'interaction et du jeu, alors que les ordinateurs interposent des écrans et sont le domaine du contrôle et des mappages *un-à-un*. En effet, les contacts visuels étaient rares et il était souvent difficile de savoir qui faisait quoi. Mais l'écoute était au rendez-vous et les astuces pour compenser les lacunes fonctionnaient plutôt bien. La

¹⁵Fichier nommé 04-impro/2016-03-10c1ork.ogv (Annexe I).

fenêtre de clavardage compensait un peu pour l'absence de contacts visuels et des indicateurs lumineux posés sur chaque ordinateur aidaient à identifier la source des différents sons. En bout de ligne, le résultat était très convaincant et l'expérience, très agréable.

Plus récemment encore, nous avons eu l'opportunité de nous joindre à un groupe d'improvisateurs haligoniens. Le guitariste Geordie Haley, le batteur Ryan Gray et moi-même avons été invités par le bassiste Lukas Pearse à participer à une séance d'improvisation en studio. Ce genre de collaboration impromptue peut facilement mener à des résultats peu concluants, mais celle-ci a donné lieu à de beaux moments musicaux. Cette occasion a permis de démontrer une fois de plus que l'éponge pouvait avoir sa place dans un orchestre et que, dans ce contexte, pouvoir établir un contact visuel avec les musiciens et disposer d'un instrument dont la latence est négligeable sont des avantages indéniables. Un extrait de cette session est incluse sur support numérique qui accompagne ce document.¹⁶

¹⁶Fichier nommé 04-impro/grayHaleyMarierPearse_jam.flac (Annexe I).

CHAPITRE 6

CONCLUSION

Jusqu'à maintenant, le travail sur l'éponge s'est échelonné sur dix ans. Il nous arrive souvent de penser que le temps passé est le facteur qui explique le mieux le relatif succès de l'éponge. Ce temps a été nécessaire pour que les intuitions initiales puissent se concrétiser dans un instrument dont le potentiel musical est satisfaisant.

L'évolution de l'éponge a été balisée par de nombreuses présentations devant public de travaux en chantier. À toutes les étapes, y compris au tout début, performer en public nous est apparu comme la meilleure façon de valider ou d'invalidier l'interface, les mappages ou les idées musicales. Il est bien entendu risqué de se présenter sur scène avec un prototype qui peut cesser de fonctionner, mais cela permet aussi de mettre en lumière les problèmes qui devront être réglés et les réussites qui devront être réitérées.

Nous continuons d'ailleurs de travailler en aller-retour, alternant les étapes de conception, de programmation, de tests et de performance.

Les aspects matériels de l'éponge continuent d'évoluer. Sa forme restera sans doute la même pour longtemps, mais sa texture et sa couleur risquent de changer sous peu.

Nous restons également à l'affût des évolutions des technologies. Les capteurs, les microcontrôleurs et les communications sans fil évoluent très rapidement et il nous semble important de tester les nouveautés dans ces domaines. Nous avons l'intention de construire sous peu une nouvelle version de l'éponge qui fonctionnera en Wi-Fi et qui comportera des gyroscopes ainsi que des accéléromètres plus précis. Nous espérons du même coup réduire la latence.

Il faudra cependant demeurer prudent. Les composantes électroniques sont sans cesse perfectionnées, mais les améliorations techniques n'entraîneraient pas néces-

sairement un gain au niveau de la musicalité ou de la stabilité de l'instrument. Le temps et les efforts investis pour des améliorations marginales n'en vaudraient pas la peine.

De plus, les mappages et les pièces qui existent déjà ont une grande valeur et il nous semble crucial de pouvoir continuer à les jouer. Il est donc essentiel que l'instrument demeure rétro-compatible. Apporter des modifications physiques tout en maintenant une compatibilité avec les mappages et œuvres existants peut représenter un défi de taille, c'est pourquoi nous privilégions une certaine retenue qui entraînera peut-être une certaine stagnation au niveau des technologies employées.

Les recherches qui nous semblent les plus pertinentes pour le futur concernent les stratégies de mappage et les matériaux sonores jouables. Il est très facile d'imaginer des correspondances geste-son, mais il est infiniment plus difficile des les implémenter. Par exemple, il est commun qu'une personne qui touche à l'éponge pour la première fois vocalise les sons qu'elle aimerait entendre. De telles correspondances geste-son imaginées sur le vif sont généralement farfelues et inconsistantes, mais elles peuvent éclairer sur la nature des mappages qui peuvent être perçus comme étant naturels. Si l'on porte attention à ces mappages intuitionnés par des néophytes, on observe que l'éponge, par sa texture et son allure, inspire certaines sonorités plutôt que d'autres. Nous avons l'intention d'explorer plus en profondeur ce phénomène et, surtout, de continuer à implémenter de nouveaux mappages qui sembleront naturels.

La tangente que nos recherches et nos intérêts sont en train de prendre vont certainement impliquer de plus en plus de collaborations et d'improvisations. Nous croyons que l'éponge a finalement atteint une maturité convenable et qu'elle permet enfin des interactions subtiles avec d'autres musiciens. De plus, notre jeu s'est amélioré et nos gestes musicaux sont de plus en plus raffinés. C'est principalement le mappage créé pour *Origami* qui est utilisé pour improviser avec d'autres musiciens, mais cela risque de changer. En intégrant les mappages de *L'éloge du mou*, de À

feu doux et d'*Origami* dans un même programme SuperCollider, nous pourrions passer d'un mappage à l'autre simplement en utilisant les boutons de l'éponge. Avoir accès à cette large palette sonore pourra enrichir grandement notre apport lors de sessions d'improvisation.

La théâtralité de la performance est un aspect de notre travail que nous avons traité plutôt intuitivement. Nous nous sommes intéressés au contact avec le public, mais nous ne nous sommes pas penchés sur la présence en scène et sur le jeu théâtral. Nous sommes conscients que, lorsque nous jouons de l'éponge, nous jouons un personnage, mais les réflexions à ce sujet ont été jusqu'à maintenant superficielles. Il ne s'agit pas d'une priorité, mais il serait intéressant de collaborer avec des spécialistes de la présence scénique pour approfondir cet aspect.

Il arrive régulièrement qu'on nous pose des questions qui concernent la potentielle popularité de l'éponge. Voudrait-on la commercialiser ? Espère-t-on qu'elle devienne un instrument commun, voire standard comme le violon ou la clarinette ? Nous ne sommes pas fermés à la chose, mais nous sommes d'avis que la popularité des instruments de musique les plus connus a été rendue possible par des contextes historiques particuliers. À l'époque actuelle, alors que le numérique permet une personnalisation des outils qui est très attrayante pour plusieurs créateurs, il nous semble peu probable que de nouveaux instruments numériques aient une popularité comparable à celle des instruments traditionnels.

Cela dit, l'éponge continuera d'exister. Nous caressons actuellement un ambitieux projet : une pièce pour cinq épongistes. Nous ne savons pas encore si les quatre autres membres du quintette poursuivront une carrière, mais ils se joindront au club select des épongistes et contribueront au développement et à la popularité de l'instrument.

BIBLIOGRAPHIE

- Daniel Arfib, Jean-Michel Couturier, Loïc Kessous et Vincent Verfaillie. Strategies of mapping between gesture data and synthesis model parameters using perceptual spaces. *Organised Sound*, 7(02):127–144, 2002.
- François Bayle. *Musique Acousmatique, Propositions... . . . positions*. INA Institut national de l’audiovisuel, Paris, 1993.
- Ross Bencina. The Metasurface : Applying Natural Neighbour Interpolation to Two-to-Many Mapping. Dans *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, pages 101–104, Vancouver, 2005.
- Frederic Bevilacqua, Fabrice Guédy, Norbert Schnell, Emmanuel Fléty et Nicolas Leroy. Wireless Sensor Interface and Gesture-Follower for Music Pedagogy. Dans *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, pages 124–129, New York, 2007.
- Frédéric Bevilacqua, Remy Müller et Norbert Schnell. MnM : A Max/MSP mapping toolbox. Dans *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, pages 85–88, Vancouver, 2005.
- Alberto Boem. SculpTon : A Malleable Tangible Interface for Sound Sculpting. Dans *Proceedings of the International Computer Music Conference*, Athens, 2014.
- Jean-Daniel Boissonnat et Frédéric Cazals. Smooth surface reconstruction via natural neighbour interpolation of distance functions. *Computational Geometry*, 22(1-3):185–203, 2002.
- Mary Broughton et Catherine Stevens. Music, movement and marimba : An investigation of the role of movement and gesture in communicating musical expression to an audience. *Psychology of Music*, 37(2), 2009.

- Ross W. Buck, Virginia J. Savin, Robert E. Miller et William F. Caul. Communication of affect through facial expressions in humans. *Journal of Personality and Social Psychology*, 23(3):362, 1972.
- Arshia Cont, Thierry Coduys et Cyrille Henry. Real-time Gesture Mapping in Pd Environment using Neural Networks. Dans *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, pages 39–42, Hamamatsu, 2004.
- Simon Emmerson et Denis Smalley. Electro-acoustic music. *Grove Music Online*.
- Emmanuel Favreau. Les outils de traitement GRM Tools. *Publications du LMA*, 1998.
- Rebecca Fiebrink, Dan Trueman et Perry R. Cook. A Meta-Instrument for Interactive, On-the-Fly Machine Learning. Dans *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, pages 280–285, Pittsburgh, 2009.
- Emmanuel Fléty et Côme Maestracci. Latency Improvement in Sensor Wireless Transmission Using IEEE 802.15. 4. Dans *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, pages 409–412, Oslo, 2011.
- Mick Grierson et Chris Kiefer. NoiseBear : A Malleable Wireless Controller Designed In Participation with Disabled Children. Dans *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, pages 413–416, Daejeon, 2013.
- Ian Hattwick, Joseph Malloch et Marcelo M. Wanderley. Forming Shapes to Bodies : Design for Manufacturing in the Prosthetic Instruments. Dans *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, pages 443–448, London, 2014.

- Andy Hunt et Marcelo M. Wanderley. Mapping performer parameters to synthesis engines. *Organised Sound*, 7(02):97–108, 2002.
- Andy Hunt, Marcelo M Wanderley et Matthew Paradis. The Importance of Parameter Mapping in Electronic Instrument Design. Dans *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, pages 88–93, Dublin, 2002.
- Chris Kiefer. A Malleable Interface for Sonic Exploration. Dans *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, pages 291–296, Sydney, 2010.
- Chris Kiefer. Musical Instrument Mapping Design with Echo State Networks. Dans *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, pages 293–298, London, 2014.
- Hans Leeuw. The electrumptet, additions and revisions. Dans *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression Conference*, Ann Arbor, 2012.
- Thor Magnusson. An Epistemic Dimension Space for Musical Devices. Dans *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, pages 43–46, Sydney, 2010.
- Martin Marier. *Le rapport geste-son en musique électroacoustique*. Mémoire de maîtrise, Université de Montréal, Montréal, 2009.
- Martin Marier. Designing Mappings for Musical Interfaces Using Preset Interpolation. Dans *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Ann Arbor, 2012.
- Eduardo R. Miranda et Marcelo M. Wanderley. *New Digital Musical Instruments : Control and Interaction beyond the Keyboard*. A-R Editions, Middleton, 2006.

- Thomas Mitchell, Sebastian Madgwick, Simon Rankine, Geoffrey Hilton, Adrian Freed et Andrew Nix. Making the Most of Wi-Fi : Optimisations for Robust Wireless Live Music Performance. Dans *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, pages 251–256, London, 2014.
- Garth Paine. Towards Unified Design Guidelines for New Interfaces for Musical Expression. *Organised Sound*, 14(02):142–155, 2009.
- Joseph Butch Rován, Marcelo M Wanderley, Shlomo Dubnov et Philippe Depalle. Instrumental gestural mapping strategies as expressivity determinants in computer music performance. Dans *Kansei, The Technology of Emotion. Proceedings of the AIMI International Workshop*, pages 68–73, Gênes, 1997.
- Jan C. Schacher. Motion To Gesture To Sound : Mapping For Interactive Dance. Dans *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, pages 250–254, Sydney, 2010.
- Andrew Schmeder et Adrian Freed. A Low-level Embedded Service Architecture for Rapid DIY Design of Real-time Musical Instruments. Dans *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, pages 121–124, Pittsburgh, 2009.
- Michael Schutz et Scott Lipscomb. Hearing gestures, seeing music : Vision influences perceived tone duration. *Perception*, 36(6):888–897, 2007.
- Lætitia Sonami. Lady’s Glove, 2010. URL <http://sonami.net/ladys-glove/>. Accédé le 2016-04-26.
- Jim Tørresen, Øyvind Hauback, Daniel Overholt et Alexander Refsum Jensenius. Development and Evaluation of a ZigFlea-based Wireless Transceiver Board for CUI32. Dans *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Ann Arbor, 2012.

- Jim Tørresen, Eirik Renton et Alexander Refsum Jensenius. Wireless Sensor Data Collection based on ZigBee Communication. Dans *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, pages 368–371, Sydney, 2010.
- Michel Waisvisz. The hands, a set of remote midi-controllers. Dans *Proceedings of the International Computer Music Conference*, pages 313–318, Ann Arbor, 1985. Michigan Publishing.
- Marcelo M. Wanderley, Norbert Schnell et Joseph Roan. Escher-modeling and performing composed instruments in real-time. Dans *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, San Diego, 1998. IEEE.
- Marcelo M. Wanderley, Bradley W. Vines, Neil Middleton, Cory McKay et Wesley Hatch. The Musical Significance of Clarinetists' Ancillary Gestures : An Exploration of the Field. *Journal of New Music Research*, 34(1):97–113, 2005.
- Gil Weinberg et Seum-Lim Gan. The Squeezables : Toward an Expressive and Interdependent Multi-player Musical Instrument. *Computer Music Journal*, 25(2):37–45, 2001.
- Eric W. Weisstein. Circle-Circle Intersection, 2005. URL <http://mathworld.wolfram.com/Circle-CircleIntersection.html>. Accédé le 2016-12-17.
- David Wessel. An Enactive Approach to Computer Music Performance. Dans *Le Feedback Dans La Creation Musical*, pages 93–98, Lyon, France, 2006.
- Matthew Wright et Adrian Freed. Open Sound Control : A New Protocol for Communicating with Sound Synthesizers. Dans *Proceedings of the International Computer Music Conference*, 1997.

Mark Zadel, Paul C. Kosek et Marcelo M. Wanderley. An Inertial, Pliable Interface, 2003. URL http://idmil.org/projects/pliable_inertial. Accédé le 2016-04-26.

Annexe I

Support numérique

Titre	Nom du fichier
<i>Clarinette</i>	01-elogDuMou/2010-04-23clari.ogv
<i>Clarinette (Struggling)</i>	01-elogDuMou/2011-02-07clariStru.ogv
<i>Clarinette (Albino Butterfly)</i>	01-elogDuMou/2011-11-03clariAlbi.ogv
<i>L'éloge du mou</i>	01-elogDuMou/2013-02-07elog.ogv
Extrait d'une session d'improvisation avec Myriam Bleau.	02-origami/2013-10-17impro.ogv
<i>Origami</i>	02-origami/2014-01-30origami.ogv
<i>Origami</i> (extraits)	02-origami/2014-07-02origami.ogv
<i>Origami</i>	02-origami/2015-08-19origami.ogv
<i>À feu doux</i>	03-aFeuDoux/2015-01-28aFeuDoux.ogv
<i>À feu doux</i>	03-aFeuDoux/2015-05-07aFeuDoux.ogv
Improvisation avec le CLOrk.	04-impro/2016-03-10clork.ogv
Improvisation avec Ryan Gray, Geordie Hayley et Lukas Pearse.	04-impro/grayHaleyMarierPearse_jam.flac

Annexe II

Liste des musiciens du CLOrk

Elias Bazinjaneh
Didier Bergeron
Nathaniel Clouthier
David Cruz
Omar Dabbous
Maxime Damecour
Jaiden Davis-Jones
Josh Feldman
Jean-Philippe Gomez Sanchez
Edward Grove
Joël Guérin-Simard
Tyler Lewis
Josef McGuigan
Rafferty McMahan
Alexander Metcalfe
Joanne Mitrovic
Patrick Dustin Molicki
Aidan O'Reilly
Ryan Jeffrey Ockenden
Adrian Roy Taylor
Robert Gary Stiglitz
Gabriel Valentini
Georgios Varoutsos
Barry Williams
et
Eldad Tsabary