

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

LE SON PLASTIQUE : EMPREINDRE LE FLUX ET L'INOÛI
SONIFICATION ET AUDIFICATION DANS L'ART DE L'INSTALLATION

THÈSE
PRÉSENTÉE
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DU DOCTORAT EN ÉTUDES ET PRATIQUES DES ARTS

PAR
LORELLA ABENAVOLI

JUILLET 2017

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.10-2015). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Ma gratitude va en premier lieu à ma directrice Louise Poissant et à mon co-directeur Jocelyn Robert. Je n'aurais pu souhaiter meilleure direction de recherche. Pour votre vaste savoir généreusement partagé, pour nos rencontres toujours inspirantes, pour votre intelligence éclairante, pour votre rigueur empreinte de légèreté, pour votre patience et votre confiance jamais démenties, merci. Louise, pour ton extrême disponibilité, ton enthousiasme de tous les instants, ton soutien infailible, merci. Jocelyn, pour ton esprit aiguisé, pour ta vigilance protectrice jamais ébranlée à l'égard de cette fragile contrée qu'est l'art, merci.

Aux membres de mon jury, Jean Dubois, Florian Grond, Emanuele Quinz, pour vos commentaires éclairés, attentifs, fertiles, merci.

Ma reconnaissance va aussi au programme du Doctorat en Études et Pratiques des Arts de l'UQAM, à son directeur Pierre Gosselin et à son équipe dont l'accueil, les conseils avisés et la gentillesse m'ont permis de cheminer avec bonheur dans cette communauté universitaire qui m'était alors étrangère. Aux professeurs qui ont donné les séminaires de recherche et particulièrement à Joanne Lalonde, Louis-Claude Paquin, Andrée Martin, Pierre Gosselin et Sylvie Fortin pour la grande qualité de vos cours et votre bienveillance, merci.

Aux artistes Mary Sherman, Florian Grond, Atau Tanaka, Jocelyn Robert, Peter Gena, Nicolas Reeves, Steve Heimbecker, Jean-Pierre Aubé, Erin Sexton pour le temps et le soin de vos réponses, pour nos échanges quant à vos œuvres, merci.

À Katherine Rochon, Émilie Houssa, Teva Flaman, Louise Boisclair collègues et amis, interlocuteurs privilégiés et généreux au sein de cette recherche doctorale, merci.

VERTICALE, n'aurait pu voir le jour sans Marie Aboumrad, Melvin Tyree, Nicolas Reeves, Christophe Viau, Harold Hébert, Stéphane Claude, Cheryl Sim, Eric Poncet, compagnons des premières recherches et expérimentations, à vous tous, merci.

À Alexis O'hara, Marc Fournel, Stéphanie Castonguay, Jim Kennedy, Stéphane Claude,

Patrice Coulombe dont les conseils avisés des uns et les coups de mains décisifs des autres m'ont permis de finaliser *VERTICALE, étude n°1* (2014), merci.

À Steve Heimbecker qui m'a permis de réaliser *VERTICALE, étude n°3* sur son merveilleux dispositif *TSM*, merci. À Hexagram/UQAM et à son équipe Eric Létourneau, Jean Décarie, Martin Pelletier, Carl Aksynczak, Catherine Beliveau, Jason Pomrenski pour l'accompagnement de la réalisation de *VERTICALE, étude n°3*, merci.

À Magali Babin, Caroline Gagné, Chantal Dumas, Géraldine Eguiluz, mes amies artistes rencontrées au Québec, pour nos discussions si précieuses durant ces dernières années, merci.

À Daniel Charles †, Jacques Donguy, Florian Grond, Arndt Niebisch, Jérôme Joy, Florian Dombois pour vos réponses éclairées à mes questions, merci.

À mes chers amis, Françoise Texier, Luc Sonzogni, Pascale Souvant, Roberta Compagno, Giampaolo Spinnato, Marc Fournel, Christina Oltmann, Jean Gagnon, Cécile Pitois, Don Foresta, Sylvie Seris †, Philippe Boissonnet, Lorraine Beaulieu, Rebecca Ganem et Caroline Baret dont le soutien infailible, confiant et constant m'ont permis de mener à bien ce travail, merci.

À toi Silvana pour ton soutien affectueux dans cette aventure et à ma famille, merci.

Enfin je remercie le Fonds Québécois de Recherche Nature et Technique (FQRNT) et L'Université du Québec À Montréal (UQÀM) pour les bourses d'excellence que ces deux institutions m'ont accordées pour l'accomplissement de cette recherche.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	xi
LISTE DES TABLEAUX.....	xxvi
RÉSUMÉ	xxvii
ABSTRACT.....	xxix
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I	
SUJET DE RECHERCHE, CADRE THEORIQUE, PROBLEMATIQUE ET METHODOLOGIE.....	3
1.1 Postulat.....	4
1.2 Le médium son.....	5
1.2.1 Circonscrire l'objet : le médium peinture versus le médium son.....	6
1.2.2 Le médium son dans ma pratique	8
1.2.3 Le médium son entre arts plastiques, arts médiatiques et arts audio	9
1.2.4 Le médium son dans les installations	13
1.2.5 Du modèle de l'enregistrement à la sonification.....	15
1.3 Introduction à la sonification	17
1.3.1 Émergence d'une discipline	17
1.3.2 Deux modèles archétypaux : le langage et la musique	18
1.3.3 Trois taxonomies fonctionnelles.....	19
1.3.4 Le monocorde de Pythagore.....	20
1.3.5 Audification et sonification par mise en correspondance : les deux grandes orientations de la sonification illustrées par deux instruments, le stéthoscope et le compteur Geiger	21
1.3.6 Des installations qui explorent l'audification et la sonification par mise en correspondance	23

1.3.7	La sonification, une visualisation auditive.....	24
1.3.8	La place de la sonification dans la thèse	24
1.3.9	La sognification versus la so(g)nification.....	25
1.4	La médiologie comme cadre méthodologique et épistémologique	25
1.4.1	Entre phénoménologie et philosophie des techniques en France.....	26
1.4.2	Introduction à la médiologie	26
1.4.3	Le système médiologique.....	27
1.4.4	Audiosphère, paysage sonore et sonosphère.....	29
1.4.5	Le médium de la médiologie versus le médium en art.....	31
1.5	Méthode et plan de thèse	34
1.5.1	Le choix d'un corpus	34
1.5.2	Le plan de la thèse.....	35

CHAPITRE II

	GENÈSE DE LA THÈSE : <i>LE SOUFFLE DE LA TERRE</i>	38
2.1	Origines du questionnement et postulats de travail. Matière, énergie, Einfühlung, forme temporelle.	39
2.1.1	Pendant la matière : matière et énergie	39
2.1.2	Einfühlung : un concept en amont des concepts	41
2.1.3	La forme temporelle du médium son	45
2.1.3.1	Forme	45
2.1.3.2	Dispositif.....	45
2.1.3.3	Forme temporelle	47
2.2	<i>Le Souffle de la Terre</i> (2000-2007).....	48
2.2.1	Intention	48
2.2.2	La méthode.....	48
2.2.3	Présentation générale du <i>Souffle de la Terre</i>	49
2.2.3.1	Recherche et interdisciplinarité.....	50
2.2.3.2	Des ondes sismiques aux ondes sonores	52
2.2.3.3	Captation : les sismomètres et les sismogrammes	53
2.2.3.4	Échelle temporelle.....	56
2.2.4	Le logiciel SdT (comme Son de la Terre).....	57

2.2.4.1	La Bibliothèque	59
2.2.3.2	Le Laboratorio.....	60
2.2.5	Fréquences et échelles dans le <i>Souffle de la Terre</i>	63
2.2.6	Écouter la Terre en temps réel	67
2.2.7	Le son et l'espace dans le <i>Souffle de la Terre</i>	71
2.2.7.1	De l'espace géographique à l'Einführung de la Terre : immersion et dispositif multicanal.....	72
2.2.7.2	De l'espace architectural à l'espace auditif : acoustique locale et déplacement	75
2.2.7.3	L'espace de la déambulation.....	77
2.2.7.4	L'espace que produit le son lui-même.....	80
2.3	Apparition de la sonification.....	81
CHAPITRE III		
SONIFICATION		84
3.1	Naissance d'un domaine de recherche	84
3.1.1	<i>L'International Community for Auditory Display</i>	84
3.1.2	Les relations de l'art et de la recherche en sonification.....	85
3.2	Sonification et interdisciplinarité	88
3.2.1	Le schéma de l'interdisciplinarité.....	88
3.2.2	La perspective : un modèle pour penser la sonification.....	90
3.3	Le dispositif auditif et la sonification : une définition	91
3.4	Les domaines d'application et fonctions de la sonification.....	93
3.5	Taxonomie technique de la sonification	95
3.5.1	Icônes auditives	95
3.5.2	Earcones	96
3.5.3	Sonification par modélisation.....	97
3.5.4	Audification	98
3.5.5	Sonification par mise en correspondance	99
3.6	<i>Le schéma du dispositif auditif de l'audification et de la sonification par correspondance : une méthode d'analyse des œuvres</i>	102

CHAPITRE IV – DE LA SONIFICATION DANS QUELQUES INSTALLATIONS.....	105
4.1 Le choix d'un premier corpus.....	105
4.2 Sonification topographique.....	107
4.2.1 <i>GP4, The Earth is a Disc</i> (2004) Jens Brand.....	107
4.2.2 <i>Delay</i> (2012) Mary Sherman et Florian Grond ou l'audification du regard.....	112
4.2.3 <i>Bondage</i> (2004) Atau Tanaka	117
4.3 Sonification conceptuelle.....	124
4.3.1 <i>L'origine des espèces</i> (2006) Jocelyn Robert.....	124
4.3.2 <i>Genesis</i> (1999) Eduardo Kac, en collaboration avec Peter Gena	127
4.3.3 <i>Sketches of moving equations</i> (2012) Florian Grond	136
4.4 Conclusion	139
 CHAPITRE V	
SONIFIER LE FLUX ET L'INOÛI.....	142
5.1 Choix d'un second corpus	142
5.1.1 Le temps réel	142
5.1.2 L'espace auditif	143
5.1.3 Les Électrosoniques	144
5.2 <i>L'Optophone</i> (1922-1934) de Raoul Hausmann. Synesthésie technologique et phénomène ondulatoire.....	147
5.2.1 Intention et fondement : optique, phonétique, haptique.....	149
5.2.2 Conception et imagination : la forme des données, les ondes, la lumière et le son	154
5.2.3 Mise au point : conception de <i>l'Optophone</i>	157
5.2.4 Synesthésie technologique et phénomène ondulatoire.....	164
5.3 Ondes	165
5.4 <i>VLF</i> (2000-2004) à <i>Save the Waves</i> (2004) de Jean Pierre Aubé.....	168
5.4.1 Paysage.....	168
5.4.2 Les ondes radios naturelles de très basses fréquences	169
5.4.3 <i>VLF Natural Radio</i> (2000-2004)	172
5.4.4 <i>Saves the Waves</i> (2004).....	170

5.4.5	Des technosciences à l'art.....	174
5.5	<i>Electrical Walks</i> (2004-2013) Christina Kubisch ou la forme du temps	176
5.5.1	Un dispositif mobile.....	174
5.5.2	Mirage ou comment les oreilles donnent à voir.....	176
5.5.3	L'induction comme pratique artistique.....	178
5.5.4	Image-Son-Temps-Espace	179
5.6	<i>La Harpe à nuages</i> (1997-2000) de Nicolas Reeves ou la forme du chaos.....	181
5.6.1	<i>L'Harmonis mundi</i> de Johannes Kepler : un premier modèle de sonification	183
5.6.2	La géométrie des nuages	185
5.6.3	Mise au point : paramétrage de <i>La Harpe à Nuages</i>	188
5.6.3.1	Le capteur	188
5.6.3.2	Le générateur de son : trois modules	191
5.6.4	L'espace auditif de La Harpe : <i>in situ</i> , diffusion et temps réel.....	193
5.6.5	Donner forme au chaos	196
5.7	<i>Wind Array Cascade Machine</i> (2003), <i>Turbulence Sound Matrix</i> (2008) et <i>SIGNE</i> (2008) de Steve Heimbecker ou la forme du vent.....	199
5.7.1	<i>Wind Array Casacade Machine (WACM)</i> : 64 accéléromètres pour un méta-capteur.....	200
5.7.2	<i>Turbulence Sound Matrix (TSM)</i> : 64 haut-parleurs pour un espace sonore immersif	203
5.7.3	<i>SIGNE</i> (2008)	204
5.7.4	Sculpter le son : silence et immersion.....	206
5.7.5	La forme sensible versus la forme des lois physiques	207
5.7.6	Du point de vue au point d'ouïe	208
5.7.7	Des études de Léonard à <i>SIGNE</i> : pour une morphopoétique des flux.....	211
5.8	Conclusion. Sonification morphologique	212
5.8.1	Deux méta-catégories : sonification codée et audification	213
5.8.2	Audifications, haptiques et images auditives.....	214
 CHAPITRE VI		
	<i>VERTICALE, L. son d. la m..té. d. .a sève d..s un a.bre au pr..temps</i> (2006-2014).....	218

6.1	Audification auscultatoire.....	218
6.2	Projet. Entendre le flux de la sève	219
6.2.1	Faisabilité.....	219
6.2.2	Captation	220
6.2.3	Audification et recherche : premiers pas.....	222
6.2.4	Réflexions 1 : la recherche et ses moyens.....	223
6.3	<i>VERTICALE, L. son d. la m..té. d. .a sève d..s un a.bre au pr..temps , Étude n°1 (2014).</i>	225
6.3.1	L'écoute	225
6.3.2	Réflexions 2 : le bruit et l'informe	227
6.3.3	<i>VERTICALE Étude n°1 : modelage sonore et construction de l'espace auditif.....</i>	228
6.3.4	Composition spatiale verticale	229
6.3.5	<i>Verticale, étude n°1 à la Galerie R3.....</i>	233
6.3.6	Réflexions 3 : espace auditif, so(g)nification, fiction	234
6.4	<i>VERTICALE, étude n°3 (2015).....</i>	236
6.4.1	<i>VERTICALE et Turbulence Sound Matrix (TSM)</i>	236
6.4.2	Expérimentation du point d'ouïe	237
6.5	Réflexions 4 : de la fin de l'écriture de la thèse à poursuite de la pratique.....	240
6.6	Réflexions 5 : conditions politique pour une recherche en art	241
6.7	Conclusion et prospective.....	241
CHAPITRE VII		
CONCLUSION.....		
7.1	Les deux orientations de la sonification en art	243
7.2	Images auditives : l'audification, une remédiation de l'empreinte	244
7.3	Audification, électrosoniques, arts énergétiques	246
7.4	Le sublime auditif de la so(g)nification	248
7.5	So(g)nification	249
7.6	Lacunes et prospectives	249
BIBLIOGRAPHIE.....		
ANNEXE A		

LISTE DES FIGURES VIDÉO ET AUDIO276
DVD DES VIDÉOS ET DES SONS277

LISTE DES FIGURES

Les figures sonores et vidéo indiquées respectivement par «  » et «  » sont accessibles sur le DVD qui accompagne la thèse.

Figures	Pages
2.1 <i>Bitume et acier</i> (1995) Lorella Abenavoli, 0,15 x 0,15 x 0,15	40
2.2 <i>Empreinte de bitume</i> (1996) Lorella Abenavoli, 0,15 x 0,15 x 0,15 approx., Résine polyester	40
2.3 <i>Défaut originaire</i> (1996-2001) Lorella Abenavoli, 1m3, Collection Fondation François Schneider. Ce que la photo ne montre pas : l'eau s'écoule de façon continue en son centre	40
2.4 <i>Défaut originaire</i> (1996-2001) Lorella Abenavoli, détail.	40
2.5 <i>Machine pseudo-didactique</i> (1961-1965) Piotr Kowalski. Caoutchouc, acier, bois, eau, poudre de métal, moteur électrique 0,86 x 186 x 186 cm	40
2.6 <i>Lightning Field</i> (1977) Walter de Maria. 1 mile x 1 km, 400 poteaux de fer (de 15 à 26 pieds de hauteur). Photo : John Cliett PR	40
2.7 <i>My Red Homeland</i> (2006) Anish Kapoor. 25 tonnes de vaseline rouge, moteur, bras mécanique et parallélépipède en acier	40
2.7 bis <i>My Red Homeland</i> (2006) Anish Kapoor, détail.	40
2.8 Premier schéma de pratique à l'encre et l'aquarelle (Lorella Abenavoli, 2008) qui décrit mon processus de production.	44

2.9	Schéma de pratique (Abenavoli, 2008). Le dernier d'une série, présente les textes et œuvres d'auteurs et d'artistes, les gestes effectués, les techniques employées, les compétences et disciplines sollicitées, les concepts et notions en latence et actives, les technologies utilisées.	46
2.10	Carte présentant les stations sismiques du réseau Géoscope en mai 2003.	53
2.11	Principe de fonctionnement d'un sismomètre à bâti. Animation réalisée par Estium-concept.	54
2.12	Station sismométrique triaxiale actuelle. Les ressorts et aimant se trouvent sous les cloches hermétiques, qui sont désormais raccordées à un numériseur (boîtier bleu).	54
2.13	Graphique d'enregistrements sismiques VLP (Very Long Period) fourni par le Géoscope au début du projet. On remarque les ondes doubles récurrentes qui représentent les déformations plastiques de la Terre par les marées lunaires et solaires. Chacune couvrant approximativement une période de 24 heures. Le graphique représente donc ici une période de 23 jours. Ces ondes périodiques sont parsemées par des ondes de grandes amplitudes qui représentent quant à elles des phénomènes sismiques plus intenses et plus amples.	55
2.14	Détail agrandi de la fig. 2.13 sur lequel on voit les ondes périodiques qui correspondent aux marées lunaires et solaires.	55
2.15	Logiciel SdT3 : vue de l'interface de la "Bibliothèque" et de sa base de données.	58
2.16	Logiciel SdT3 : vue de l'interface du "Laboratorio".	58
2.17	Les trois fenêtres de la Bibliothèque : à gauche la base de données, à droite le fichier sismique sélectionné, en bas le schéma de l'onde du fichier sismique choisi.	60

- 2.18 Les trois parties du Laboratorio. 1 - En haut à gauche les fichiers et les dossiers des signaux sismiques qui ont été sélectionnés. 2 – Sous cette liste, le fichier sélectionné qui montre le profil de l'onde. Il peut être écouté, renommé, commenté. 3 – À droite l'interface de traitement du signal dans laquelle on peut intervenir sur le fichier, ouvrir des sous-fenêtres pour faire apparaître le spectre par exemple ou un espace pour les commentaires. 61
- 2.19 Logiciel SdT3, Laboratorio. Le 2^e signal en bas à droite, le même que dans la figure précédente montre cependant l'affichage du spectre. Ce signal ici a été accéléré à 1000Hz. À cette vitesse de lecture, on observe visuellement dans la partie gauche, la part du signal qui est restée sous le seuil de l'audible. En revanche la partie droite, montre l'ensemble des fréquences qui ont été rendues audibles grâce à l'accélération des fréquences. 63
- 2.20 *Le Souffle de la terre, Etude n°1.* Mai-juin 2001, Jardins secrets, Parc de l'hôpital Charles Foix, Ivry -sur- Seine - France. Vue de l'emplacement et représentation de la diffusion des sons dans l'espace. 64
- 2.21 *Le Souffle de la terre, Etude n°1.* L'une des deux réglettes de laiton à fleur de sol sur laquelle sont gravées les coordonnées terrestres de l'installation. Ici la longitude. 64
- 2.22 *Le Souffle de la terre, Etude n°1.* Ilot arboré, centre de l'installation. Les visiteurs arrivaient par les chemins. Leur arrivée dans un périmètre défini par des capteurs de présence déclenchait le son pendant 15mn. Le lieu redevenait silencieux en l'absence de visiteur. 64
- 2.23 *Le Souffle de la terre, Etude n°1.* Vue axonométrique du site. 64
- 2.24 *Le Souffle de la terre, Etude n°1.* Vue des pierres sous les arbres sur lesquelles les visiteurs pouvaient s'asseoir. 64
- 2.25 *Le Souffle de la terre, Etude n°1.* Caisson de basse, en partie enterré, au centre de l'installation. 64

- 2.26 ◀ *Le Souffle de la terre, Etude n°1*(2000). Extrait sonore. (à écouter au casque) 65
- 2.27 Interface de Sdt3 sur laquelle on voit deux pistes représentant un même signal. Celui du bas montre la sélection extraite du premier signal en VBB de la station Limon Verde au Chili. L'agrandissement visuel a son corrélat sonore : les détails fréquentiels et l'amplitude sont eux aussi amplifiés. 66
- 2.28 ◀ *Souffle de la Terre, Étude n°3*. Captations de Qiongzong Guangduong, Chine, 2004 67
- 2.29 ◀ *Souffle de la Terre, Étude n°3*. Captations de Limon Verde, Chili, 2004 67
- 2.30 ◀ *Souffle de la Terre, Étude n°3*. Captations de College Outpost, Alaska, 2004 67
- 2.31 ☞ *Souffle de la Terre, Étude n°3*. (Octobre 2004). Vidéo 68
- 2.32 *Souffle de la Terre, Étude n°3*. Schéma montrant le principe de renouvellement du signal sismique audifié, dans le temps, en provenance d'une station sismométrique, de façon à obtenir une continuité sonore dans l'espace d'exposition. 69
- 2.33 *Souffle de la Terre, Étude n°3*. Disposition des haut-parleurs et schéma de diffusion spatiale du son. 72
- 2.34 *Le Souffle de la Terre, Etude n°3*, Résonances 2004 - Ircam, Paris - France, Octobre 2004. Photomontage donnant une idée de l'espace et des lumières. 74
- 2.35 *Le Souffle de la Terre, Etude n°3*, Résonances 2004 - Ircam, Paris - France, Octobre 2004. Détail : un des cinq haut-parleurs, avec son ampoule et son bandeau de papier où il est inscrit le nom du lieu de captation et les coordonnées terrestres de celui-ci. 74

- 2.36 *Le Souffle de la Terre, Etude n°3*, Résonances 2004 - Ircam, Paris - France, Octobre 2004. Photo du studio durant le montage. 74
- 2.37 *Le Souffle de la Terre, Etude n°3*, Résonances 2004 - Ircam, Paris - France, Octobre 2004. Maquette préliminaire du studio avec haut-parleurs, enceintes et caisson de basse. 74
- 2.38 *Le Souffle de la Terre, Etude n°3*, Résonances 2004 - Ircam, Paris - France, Octobre 2004. Plan du studio et répartition des sources sonores dans la pièce. 74
- 2.39 *Pulse of the Earth, Study n°7*, SCAD, Pei Ling Chan Gallery, 2007. Coeur de l'installation. 76
- 2.40 *Pulse of the Earth, Study n°7*, SCAD, Pei Ling Chan Gallery, 2007. 4 photos montrent le volume intérieur et l'extérieur de la galerie. 76
- 2.41 *Pulse of the Earth, Study n°7*, SCAD, Pei Ling Chan Gallery, 2007. Le plan et l'élévation de la galerie avec la disposition des haut-parleurs, les caissons de basses et les lignes des coordonnées terrestres. 76
- 2.42 *Pulse of the Earth, Study n°7*, SCAD, Pei Ling Chan Gallery, 2007. Montage. Les panneaux absorbants sont prêts à l'accrochage. 76
- 2.43 *Pulse of the Earth, Study n°7*, SCAD, Pei Ling Chan Gallery, 2007. Point de vue latéral de l'installation et trois détails. 76
- 2.44 *Le Souffle de la terre, Etude n°5*, FRAC - Fond Régional d'Art Contemporain de Lorraine. Metz - France. 02 fév.-20 mars 2005. Représentation du volume intérieur de la cella et du son qui en émane. 78
- 2.45 *Le Souffle de la terre, Etude n°5*, FRAC Lorraine. Metz. France. 02 fév.- 20 mars 2005. Photos du Fonds Régional d'art Contemporain de Metz. La 3e photo montre les fenêtres de la salle où était exposé le Souffle de la Terre. 78

- 2.46 *Le Souffle de la terre, Etude n°5*, FRAC Lorraine. Metz. France. 02 fév.- 20 mars 2005. Photographie de la cella contenant dans ses parois le dispositif audio. On rentre dedans pour écouter les sons qui cependant débordent le volume. 78
- 2.47 *Le Souffle de la terre, Etude n°5*, FRAC Lorraine. Metz. France. 02 fév.- 20 mars 2005. Plan de la cella dans la salle d'exposition. 78
- 2.48 *Le Souffle de la terre, Etude n°5*, FRAC Lorraine. Metz. France. 02 fév.- 20 mars 2005. Axonométrie montrant le dispositif audio : 4 hp en hauteur et les deux caissons de basse au sol. 78
- 2.49 *Le Souffle de la terre, Etude n°5*, FRAC Lorraine. Metz. France. 02 fév.- 20 mars 2005. Visiteur sortant de la cella. 78
- 2.50 *Le Souffle de la terre, Etude n°5*, FRAC Lorraine. Metz. France. 02 fév.- 20 mars 2005. Projection orthogonale du dispositif audio dans les parois de la cella. 78
- 2.51 *Le Souffle de la terre, Etude n°5*, FRAC Lorraine. Metz. France. 02 fév.- 20 mars 2005. Construction en cours de la cella montrant l'intérieur des parois isolée avec de la laine de verre. Les larges parois sont prévues pour accueillir les hp et les sub. La console et l'informatique sont stockés en arrière de la cella, entre sa paroi extérieure et la fenêtre visible sur la photo. 78
- 2.52 *Le Souffle de la Terre*. Principe du projet (1996, Abenavoli) Dessin du profil du Panthéon de Rome dans lequel est représenté le son de la Terre se déployant dans l'espace. 83
- 2.53 *Le Souffle de la Terre*. Principe du projet. Schéma du dispositif technique de la captation à la diffusion (Abenavoli, 2012, p.279) 83

III

- 3.1 Le cercle interdisciplinaire de la sonification et du dispositif auditif : le périmètre externe montre le cycle de transformation de l'information, le cercle intérieur fait la liste des disciplines scientifiques qui y sont associées. Ce diagramme est certainement incomplet et illustre

- simplement l'ampleur interdisciplinaire du champ. (Hermann, 2011, p.2) 89
- 3.2 Map for a general design process of PMSon. Effective PMSon involves translating data features (left) into sound synthesis parameters (right). In this diagram, this process is divided between data and numerical control in grey, and sound and auditory factors in blue. Although data processing (rectangle) can be handled with rigorous objectivity (grey rectangle), human perception (green oval) imposes a subjective component to the process. As the figure suggests, the design of PMSon involves the interplay of, and the conscious intervention in both the data and the signal domains. Integrating both worlds is key in creating effective sonification. (Grond et Berger, 2011, p.366) 100
- 3.3 *Schéma du dispositif auditif de l'audification et de la sonification par correspondance* (Abenavoli, 2015) propose un modèle d'analyse de la sonification dans les œuvres d'art. Ce schéma réactualise le précédent proposé par Grond et Berger. Il est constitué de trois parties essentielles reliées par un organe central (en rouge) qui indique les fonctions de transpositions d'une source ou plusieurs sources/données en données sonores. 103
- ## IV
- 4.1 *G-Player 4* (2004-2007) Jens Brand. Détail de l'installation. Photo by Oliver Swartz. 108
- 4.2 *G-Player 4* (2004) Jens Brand. Vue de l'installation. Soundart Cologne. Art Cologne, 2004. 108
- 4.3 *G-Player 4 and the salesman*, Soundart Cologne. Art Cologne, 2004. 108
- 4.4 *G-POD* (s.d.) Jens Brand. 108
- 4.5 ◀ *GP4* (2004) Jens Brand. Extrait. 109
- 4.6 Principe d'audification de GP4 (2004) de Jens Brand. Schéma : L.

- Abenavoli. Lorsque le satellite survole les continents, le profil des reliefs devient les fréquences du son. Lorsque le satellite survole les océans dont l'altitude est 0m et le relief plat, le système ne diffuse aucun son. 110
- 4.7 Un sillon de disque vinyl agrandi 1000 fois. © Chris Supranowitz, Insitute of Optics atthe University of Rochester. 112
- 4.8 *Delay* (2012) de Mary Sherman, collab. Florian Grond. Vision globale de l'installation. On aperçoit sur le mur du fond en bas, un cadre blanc derrière lequel s trouve 1 des cinq haut-parleurs. 113
- 4.9 *Delay* (2012) de Mary Sherman, collab. Florian Grond. Vue rapprochée. Le volet est ouvert et laisse voir le monochrome blanc. 113
- 4.10 *Delay* (2012) de Mary Sherman, collab. Florian Grond. Vue rapprochée. Le volet est fermé. On aperçoit un rectangle lumineux en train de se former. Cette surface lumineuse est audifié et on entend durant son dévoilement, le son dans l'espace de la galerie. 113
- 4.11 *Delay* (2012) de Mary Sherman, collab. Florian Grond. Détail. 113
- 4.12  *Delay* (2012) Mary Sherman et Florian Grond
Vidéo : Florian Grond. Documentation : Siyi Wang (Editing) 113
- 4.13 *Delay*, 2012, Mary Sherman, Photo : Stewart Clements. peinture monochrome. 115
- 4.14 *Delay*, 2012, Mary Sherman, photo et document : Florian Grond. On voit les fragments isolés par du ruban adhésif, qui apparaîtront derrière les obturateurs et qui seront audifiés. 115
- 4.15 *Delay*, 2012, Mary Sherman, photo et document : Florian Grond. Dessin de la ligne sur l'un des fragments de peinture. Cette ligne dessine la trajectoire du relief de la peinture qui sera audifiée. 115

- 4.16 *Delay*, 2012, Mary Sherman, photo et document : Florian Grond. Le schéma du haut représente le profil du relief de la toile. Les deux schémas du dessous représentent la "même" ligne à laquelle Florian Grond a appliqué une dérivée afin de normaliser la dynamique du son. 116
- 4.17 *Bondage* (2004) Atau Tanaka © Atau Tanaka. Ce schéma montre le processus de sonification, à partir de la photographie originale (en haut à gauche) de Nobuyoshi Araki jusqu'au patch Max-msp qui présente la photo divisée en 12 "partitions". On voit aussi le principe d'incrustation des silhouettes en positif du public sur l'écran, lorsque celui-ci rentre dans l'espace d'exposition. Ces silhouettes vont interférer durant le traitement du signal qui sonifie l'image. (voir explication dans le texte). 118
- 4.18  *Bondage* (2004) Atau Tanaka. Extrait vidéo. (<http://www.ataut.net/site/IMG/mov/Bondage.mov>) 119
- 4.19 *Bondage* (2004) Atau Tanaka, Villette Numérique, Paris Photo : Pierre-Emmanuel Rastoin. Cette photo montre les silhouettes pixellisées en mouvement des deux visiteuses, qui se superposent à la photo de la silhouette de la figure féminine projetée sur l'écran. 120
- 4.20 « Sonogramme de la voix humaine prononçant la voyelle "a" du verbe anglais "had" ». Illustration et légende extraites de Pierce, John (2000) *Le son musical, musique, acoustique et informatique* Belin coll. L'univers des sciences p. 52. 121
- 4.21 *L'Origine des espèces*, 2006, Jocelyn Robert. Photo : Jocelyn Robert Installation sonore et photographique : Impression jet d'encre, 50 haut-parleurs sur pied, baladeur mp3 et amplificateur. Exposition Galerie Leonard & Bina Ellen, Montréal du 19 octobre au 25 novembre 2006. 124
- 4.22  *L'origine des espèces* (2006) Jocelyn Robert. Vidéo tirée du site de l'artiste http://jocelynrobert.com/?page_id=751 125
- 4.23 *Genesis* (1999) Eduardo Kac, Vue de l'installation, Photo de Otto Saxinger consulté sur le site de la Fondation Langlois le 19 avril 2016 128
- 4.24 *Genesis*, 1999, Eduardo Kac. Eduardo Kac utilise la méthode de conversion illustrée ici. Le verset de la bible est converti en code

- morse; le code morse est converti à son tour en code ADN; et le code ADN est à son tour converti en une série d'opérations codées numériquement pour produire des sons. 130
- 4.25 *Genesis* (Kac, 1999) Construction de la sonification par correspondance conçue par Peter Gena. Schéma : Lorella Abenavoli 132
- 4.26 📄 *Skizzen bewegender Gleichungen* (2012) Florian Grond. Enregistrement sonore : L. Alexis Emelianoff consultée sur le site de l'artiste <https://vimeo.com/50775379> 136
- 4.27 *Sketches of moving equations*, 2012, Florian Grond et zur form objects photo : Florian Grond, Thomas, Kienzl and Gabriele Engelhardt 137
- V
- 5.1 *K'perioum* (1918/19) Raoul Hausmann. Optophonetical Poem, printed on Japanese paper (47.5 x 66 cm). [Private collection] Note: exhibited at the Erste International Dada-Messe, Nr. 5; published in *Der Dada* Nr. 1 (June 1919) 1. Cat. Hausmann (1994) 178. Source : <http://www.dada-companion.com/hausmann/soundpoetry.php> 151
- 5.2 ◀ *K'perioum* (1918) Raoul Hausmann, Poème phonétique. 1'09". Source : <http://www.ubu.com/sound/hausmann.html> 151
- 5.3 *f m s b w t ö z ä u* (1918) Raoul Hausmann. Poème phonétique en forme d'affiche, 33 X 48, Paris, Collection Centre Georges Pompidou, Musée national d'art moderne, Paris 152
- 5.4 ◀ *b b b b et F m s b w* (1918) Raoul Hausmann. Poème phonétique, 1'09" Source : <http://www.ubu.com/sound/hausmann.html>, consultée le 22 avril 2015 152
- 5.5 Barr, A. (1921). "The Optophone". *Journal of the Royal Society of Arts*, 69 (3571), 371 155

- 5.6 Optophone, Scientific American, Nov. 6, 1920, vol. CXIII n° 19
Original from Michigan University. 158
- 5.7 Schéma simplifié de l'*Optophone* (Raoul Hausmann, s.d.) localisation
et date inconnues. Cependant, vu qu'il est rédigé en français on peut
imaginer qu'il date des années 30. Dessin sur papier localisation
inconnue Illustration tirée du livre de Jean-François Bory,
Prolégomènes à une Monographie de Raoul Hausmann, Paris, Edition
de l'Herbes, 1972 Extrait de Son et Lumière p.205 160
- 5.8 *Improvements in and relating to Calculating Apparatus.* (Hausmann et
Broïdo, 1934-1936) «Patent Specification. Application Date :
Sept.25,1934. N°27436/34. Complete Spécification Left: Oct. 25,
1935. Complete spécification Accepted: April27, 1936. Provisional
Specification.» Reproduction de deux des trois schémas présents dans
le brevet déposé par Hausmann et Broïdo aux Bureau des brevets à
Londres en 1934-36. 162
- 5.9 Peter Keene (2004) *Raoul Hausmann revisited*, photo Rolan Ménégon 163
- 5.10 Peter Keene (2004) *Raoul Hausmann revisited*, Consulté sur le site de
l'artiste [http://www.peter-
keene.com/Raoul%20Hausmann%20revisited.html](http://www.peter-keene.com/Raoul%20Hausmann%20revisited.html) 163
- 5.11 Le tableau des différents types d'ondes électromagnétiques existants.
La lecture se fait de gauche à droite, des longueurs d'ondes les plus
longues (50Hz) aux plus courtes (30×10^{18} Hz). En haut sont indiquées
des technologies qui exploitent les différentes ondes
électromagnétiques. Sur fond noir on perçoit la place qu'occupe la
lumière que nous voyons au sein de ce vaste champ. En bas la
périodicité de ces ondes. 167
- 5.12 Domaines du spectre électromagnétique qui complète le tableau
précédent. Attention : la lecture ici se fait de droite à gauche. On voit
en bas du tableau les longueurs d'ondes et, dans le champ
intermédiaire, les noms données par la physique à différentes classes
d'ondes réunies en fonction de leur longueurs. 167
- 5.13 *Capture de sons V.L.F. sur la Baltique* (2002). Jean-Pierre Aubé
enregistrant les VLF sur la Baltique. Épreuve à développement

- chromogène montée sous plexiglas. Photo: Emmanuelle Léonard.
Consulté sur le site de l'artiste :
http://www.kloud.org/projet.php?id_projet=5 171
- 5.14 *V.L.F. Natural Radio* (2000-2005) (14.08.2002 Saint-Jean-Port-Joli, Québec ; 21.12.2002 Jerisjärvi, Finlande; 10.07.2003 Meall Fuar-mhonaigh, Écosse) images tirées de la vidéo, Collection d'œuvres d'art de l'UQAM. Image fixe extraite de la vidéo montrant l'image «stéréo». 171
- 5.15  *VLF Natural Radio* (2002) Jean-Pierre Aubé. Vidéo réalisée en Finlande en 2002. Consultée sur le site de l'artiste <https://vimeo.com/6536339> 171
- 5.16  *Save the Waves* (2004) Jean-Pierre Aubé. Vidéo de la performance inaugurale à Fonderie Darling (Montréal, 2004). Consultée sur le site de l'artiste <https://vimeo.com/14486307>. 172
- 5.17 *Save the Waves* (2004) Jean-Pierre Aubé. Photographie de l'installation extraite de la vidéo de la performance inaugurale à Fonderie Darling (Montréal, 2004). Consultée sur le site de l'artiste <https://vimeo.com/14486307>. 173
- 5.18 *Save the Waves* (2004) Jean-Pierre Aubé. Détail. Système de diffusion octophonique fait de 24 haut-parleurs. Consultée sur le site de l'artiste <https://vimeo.com/14486307>. 173
- 5.19 *Electrical Walk* (2008) Christina Kubisch. Plan de Montréal. 177
- 5.20 *Electrical Walks* (2006) Christina Kubisch. Écouteurs, Ikon Gallery, Birmingham. July 25-October 1, 2006 177
- 5.21 *Electrical Walks* (2006) Christina Kubisch. Détail d'un casque audio. 177
- 5.22 *La Harpe à Nuages* (2006) Nicolas Reeves cadre *francoffonies ! Québec_numériQ*. Théâtre du Châtelet à Paris, France. Photo : Lorella Abenavoli 181

- 5.23 Représentation de la localisation de *La Harpe à nuages* (Reeves, 1997-2000) à Paris en 2006 au Théâtre du Châtelet. Photomontage : Lorella Abenavoli. Les ondes circulaires représentent l'émanation des sons de *La Harpe* située sur la terrasse du Théâtre, la ligne verticale évoque le laser, et la tache verte le point de rencontre entre le laser et le nuage. 182
- 5.24 Extrait d'une page de *l'Harmonices mundi libri V De motibus planetarum* (Cap. VI) p.207 de Johannes Kepler (1619) sur laquelle on voit les extraits de partitions correspondant aux séquences des rotations des sept planètes autour du soleil. Immédiatement sous les partitions il est intéressant de noter le commentaire de Képler qui évoque le mouvement uniforme de Vénus autour du soleil, justifiant ainsi sa séquence unitonale. 183
- 5.25 Schéma des étapes de sonification de *La Harpe à nuages* (1997-2000) qui décrit le dispositif où la mise en correspondance et l'audification sont toutes deux utilisées. Il reprend les phases décrites dans le schéma général de la sonification présenté dans le chapitre précédent (fig. 3.3). Il se lit de gauche à droite et se structure en cinq phases : représentation de *La Harpe* et de son laser, les données, les paramètres des données, la synthèse sonore et la diffusion. Ce sont les flèches rouges et jaunes qui indiquent les correspondances établies entre les données initiales, leur décomposition en paramètres quantifiables. 190
- 5.26 ◀ *La Harpe à nuages* (2008) Nicolas Reeves. Le fichier son propose un extrait enregistré durant une tempête de verglas, dans lequel on entend de nombreux échantillons de sons phonographiques mêlés aux sons de synthèse produit par une *Harpe* exposée à Montréal en 1998. 192
- 5.27 Schéma de Nicolas Reeves (2015) qui montre les correspondances entre les altitudes des nuages envisagées sur une échelle verticale et les "voix" qui, dans le cas de *La Harpe*, sont les différentes catégories de synthèses sonores qu'il a choisies. 193
- 5.28 La première *Harpe à Nuages* (1997). 3e Symposium en arts visuels de l'Abitibi-Témiscamingue : *Vingt mille lieu(x)es/sur l'esker*. Amos (Québec) Commissariat Alain-Martin Richard. 194

- 5.29 *La petite Harpe à Nuages, Étude n°VI (Nomade 3 – Marseille) Festival MIMI Îles du Frioul Marseille du 1^{er} au 14 juillet 2010.* 194
- 5.30 *Wind Array Cascade Machine (WACM) (2003) Steve Heimbecker. Plan de la grille des 64 capteurs. Dessin : Steve Heimbecker, extrait de Songs of Place (Heimbecker, 2005)* 200
- 5.31 *Wind Array Cascade Machine (WACM) (2003) Steve Heimbecker. Installation sur le toit de la Fondation Daniel Langlois (2004-2005). Photo : S. Heimbecker*
<http://www.steveheimbecker.net/installations/wind-array-cascade-machine-2003/> 200
- 5.32 *Wind Array Cascade Machine (2001) Steve Heimbecker. Dessin technique du capteur de mouvement. À droite on voit précisément le principe du fonctionnement de détecteur de mouvement, qui, ici, a rejoint son inclinaison maximale de 30 degrés. Extrait de Songs of Place (Heimbecker, 2005a). Dessin : Steve Heimbecker.* 201
- 5.33 *POD (2005) Steve Heimbecker. Installation à Ars Electronica. Ce dispositif était relié à ACM qui était sur le toit de la Fondation Langlois à Montréal. On voit à la base des épis, à gauche, quelques diodes allumées diminuant sur les épis de droite.* 202
- 5.34 *SIGNE (2008) Steve Heimbecker. Interface du Patch Max et extrait audio de la pièce. On voit le « damier » qui représentent les capteurs de WACM dont le changement de valeur indiquent les flux éoliens qui induisent les variations sonores de SIGNE.* 203
- 5.35 *Turbulence Sound Matrix (TSM) (2008) Steve Heimbecker. Photographie du dispositif. photo : S. Heimbecker durant la Nuit Blanche à Toronto (2008).* 204
- 5.36 *SIGNE (2009) Steve Heimbecker. Festival Elektra 2009, Montréal. Extrait.* 205
- 5.37 *Draughtsman Making a Perspective Drawing of a Reclining Woman Albrecht Dürer (All., Nuremberg 1471–1528) ca. 1600, gravure sur bois, (7.7 x 21.4 cm). Cette gravure d'Albrecht Dürer (vers 1600) est*

une référence importante depuis le début du travail de Steve Heimbecker. On y perçoit la grille comme modèle de construction de la perspective, principe repris et extrapolé par Heimbecker pour la construction de ses dispositifs audio. 210

VI

- 6.1 Photographie durant la captation de la sève. En haut, de gauche à droite : le câble dans le prolongement du capteur fixé dans un orifice fait dans l'arbre pour la récolte; Harold Hébert et Lorella Abenavoli (2005) avec l'ensemble du dispositif de saisie. En bas (2006), de gauche à droite : l'érable; vue rapprochée du capteur dans l'arbre; Christophe Viau au travail. 221
- 6.2 ◀ *VERTICALE* (2006-2014) Lorella Abenavoli. Premières captations de la sève dans un érable à sucre en 2006. Échantillons à 1 MHz ralentis à 96 KHz. 221
- 6.3 *VERTICALE* (2006-2014) Lorella Abenavoli. Première esquisse (2007) Dessin : Lorella Abenavoli. 223
- 6.4 1 - Courbe montrant grâce aux pics les « explosions » des bulles de cavitation. L'ensemble du signal est arrimé au bas du graphe. 2 - Le même signal « normalisé ». 3 – Agrandissement de la courbe se situant entre les pics de cavitation. 226
- 6.5 *VERTICALE* (2014) Lorella Abenavoli. En cours de réalisation à l'atelier, en juillet 2014. 230
- 6.6 *VERTICALE* (2014) Lorella Abenavoli. Esquisse technique montrant le raccord de chaque niveau aux amplis ainsi que la connexion en parallèle des haut-parleurs afin qu'il n'y ait pas de déperdition de puissance à la sortie. C'est la connexion en parallèle qui a permis d'envisager 6 haut-parleurs par niveau. 230
- 6.7 *VERTICALE* (2014) Lorella Abenavoli. Interface Pro-tools montrant les sept pistes du bas vers le haut correspondant aux sept canaux audio des sept niveaux de haut-parleurs. 232

- 6.8 *VERTICALE, Étude n°1*, (2014) Lorella Abenavoli. Octobre 2014, Galerie R3, Trois-Rivières. En haut à droite : le bas-relief de l'empreinte d'un érable en plâtre (1,80 x 1,60m.). en bas à droite : suspension contenant toute l'électronique et l'informatique de l'installation. (Long. approx. 1m.). 233
- 6.9  *VERTICALE* (2014) Lorella Abenavoli. Exposition à la Galerie R3. Octobre 2014. <https://www.youtube.com/watch?v=8oBzqFYz6GA> 233
- 6.10 *VERTICALE, Étude n°3* (2015) Lorella Abenavoli. Organisation du studio à Hexagram-UQAM (août 2014) durant le travail de production pour l'évènement *Sonic Jello*. 237
- 6.11 *TSM* (2008) Steve Heimbecker. Profil d'une des colonnes de haut-parleur montrant l'angle formé par la structure en aluminium. 237
- 6.12 *VERTICALE, Étude n°3* (2015) Lorella Abenavoli. Détail. Indication du point d'ouïe au sol, au centre du dispositif de diffusion. 238
- 6.13  *VERTICALE, Étude n°3* (2015) Lorella Abenavoli. Événement Sonic Jello. Enregistrement stéréo. Enregistrement : Steve Heimbecker. 239
- 6.14 *VERTICALE, Étude n°3*, Évènement Sonic Jello, Montréal. Photo : Laurie Dezainde-Dubuc. 239

LISTE DES TABLEAUX

- 4.1 Tableau de synthèse et proposition de typologies de sonification explorées dans le corpus d'œuvres du quatrième chapitre 139
- 5.1 Tableau de synthèse et proposition de typologies de sonification explorées par les artistes dans le corpus des œuvres analysées. 216

RÉSUMÉ

Le son s'est affirmé depuis un siècle comme matériau des artistes plasticiens grâce aux techniques d'enregistrement d'abord analogiques puis numériques. Depuis les années 1920, avec l'arrivée du son optique, et de façon plus décisive à partir des années 1960, de nombreux artistes, d'abord dans le domaine de la musique puis dans celui des arts audio, ont utilisé le son afin de révéler certains phénomènes physiques comme source de leurs œuvres. Par ailleurs, depuis les années 1990, parmi les nouvelles disciplines de recherche, corrélatives du développement de l'informatique et de l'audio-numérique, on peut identifier le développement d'un vaste domaine qui utilise le son à des fins de « visualisation » de phénomènes physiques ou de données abstraites *non sonores*. Ce domaine de recherche s'appelle la *sonification*. La sonification au quotidien se retrouve dans toutes nos interfaces numériques sous la forme d'alertes ou d'alarmes ou encore en médecine (dont les échographies sonores sont un exemple désormais familier), mais elle se déploie aussi dans la recherche proposant des systèmes de représentation auditifs complexes en plein essor. La sonification s'est définie et nommée comme telle depuis 1992, à l'occasion de la fondation de l'International Community for Auditory Display (ICAD) par Gregory Kramer. Si les sciences ont réalisé une production technologique et théorique foisonnante et protéiforme dans ce domaine foncièrement interdisciplinaire, la recherche en arts audio a très peu théorisé cette pratique bien que les artistes en déclinent de nombreuses variations à travers des productions qui croissent de façon exponentielle.

Cette thèse en recherche-crédation en art se concentre sur la pratique de la sonification dans les installations et interroge la place du son comme médium des artistes plasticiens. Sculpteure de formation, la sonification s'est imposée dans mes œuvres depuis la fin des années 90. C'est au sein d'un dialogue entre ma pratique artistique, celle d'autres artistes et le champ théorique de la sonification que s'est élaboré ce texte. S'appropriier le terme de sonification tout en le redéfinissant dans un contexte de production artistique constitue l'un des défis majeurs de celui-ci. Cette thèse vise à élargir le territoire de l'art audio en y incorporant la sonification comme branche spécifique du domaine. La médiologie qui constitue le cadre épistémologique de ce travail en structure son orientation : comprendre comment les artistes s'emparent de l'audiosphère moderne et contemporaine en vue de produire des paysages sonores révélant des dimensions inouïes de la matière.

Le Souffle de la terre (Abenavoli, 1997-2007) et *VERTICALE, L. son d. la m..té. d. .a sève d..s un a.bre au pr..temps* (Abenavoli, 2006-2015) sont deux de mes œuvres qui encadrent cette recherche. Outre ma pratique, l'histoire de la sonification, ses définitions, ses applications, ses catégories fonctionnelles et taxonomiques ont servi de référent pour mettre à l'épreuve de l'analyse diverses œuvres du répertoire des arts audio. À partir de ce travail ont surgi les deux grandes orientations de la sonification en art : d'une part les œuvres dont les sons ont une relation analogique et indicielle avec leur source et qui s'inscrivent dans la catégorie

taxonomique de l'audification. D'autre part les œuvres dont les sons ont une relation codée et symbolique avec leur source et qui s'inscrivent dans la catégorie taxonomique de la sonification par mise en correspondance.

C'est au sein de l'audification que se nouent intimement mes recherches artistiques et théoriques. L'audification consiste essentiellement, mais pas uniquement, à saisir des mouvements et vibrations inaudibles qui appartiennent le plus souvent au domaine physique des ondes électromagnétiques et des ondes mécaniques. Elle révèle et joue avec ces flux imperceptibles qui traversent et lient nos corps aux phénomènes cosmiques. Cette pratique partagée par de nombreux artistes appartient à une catégorie artistique, les électrosoniques, dont le terme a récemment été conçu par Douglas Kahn (2013). Si cette pratique est éminemment contemporaine, la relation indicelle qu'elle entretient avec le monde la situe dans la lignée d'une pratique plastique archaïque, celle de l'empreinte. Cette approche morphologique de l'art réaffirme l'une de ses fonctions implicites, en envisageant la pratique artistique comme une connaissance en acte pour le praticien et comme une connaissance matérialisée pour l'amateur.

À l'instar de la perspective à la Renaissance, la sonification élabore des systèmes symboliques de description et de construction du monde. La sonification s'est invitée dans cette thèse comme terme, comme technique, comme discipline de recherche théorique et pratique neutralisant les termes historiquement chargés de figuration et de représentation. Comment, en art, le son produit-il des images auditives qui inaugurent de nouvelles représentations du monde? C'est la question pourtant posée en filigrane tout au long de cette thèse.

Mots clés : Sonification. Audification. Sonification par mise en correspondance. Installation. Art audio. Électrosonique. Art sonore. Installation sonore. So(g)nification.

ABSTRACT

For more than a century, first due to analog and later digital recording technologies, sound became material for the visual artist. With optical sound since the 1920's, and more definitively since the 1960's, many artists, first in music and later in sound art used sound to reveal physical phenomena as the point of departure of their artistic practices. Otherwise since the 1990's with the advent of new research disciplines related to computing and digital audio technologies, we can identify the development of a broad domain which uses sound to perceptualize *non-audible* physical phenomena or abstract data. This domain is called *sonification*. Sonification has become part of our every day user experience of digital interfaces as alerts or alarms, and also in some more elaborated uses, for example medicine (audio sonograms have become familiar practices) and in scientific research through increasingly complex auditory systems. The practice of sonification as a research field was defined in 1992, when Gregory Kramer organized the first symposium of the International Community for Auditory Display (ICAD). Ever since, the field has developed into a technologically and theoretically prolific and deeply interdisciplinary research. Many sound artists haven't integrated concepts from this research field yet despite the fact that they have been producing a broad range of artworks in the same domain.

This research-creation thesis focuses on sonification in installation practices and questions how sound has been becoming a medium for visual artists. As a sculptor, sonification became part of my own practice since the end of 1990. The dialog between my practice, those of other artists and the theoretical field of sonification is the foundation of this text. Absorbing the notion of sonification, redefining it from an artistic point of view was the main research question and the outcome is the contribution. The thesis aims to enlarge the territory of sound art, incorporating sonification as a specific area of the domain. Mediology constitutes the epistemological frame of this text giving it its orientation : how artists seize the modern and contemporary audiosphere in order to create soundscapes that reveal the unheard dimensions of matter.

Two of my own artworks frame this research : *Le Souffle de la terre* (1997-2007) and *VERTICALE, L. son d. la m..té. d. .a sève d..s un a.bre au pr..temps* (2006-2015). My practice apart, the history of sonification, its definitions, its applications, its fonctionnal and taxonomic categories have been used for testing, comparing and analyzing several artworks from the sound art installation repertory. From this work, appear two essential orientations of sonification in the arts : first, artworks whose sounds have an analog and indexical relations with their sources. Those enter into *audification* taxonomy. Second, artworks whose sounds have code and symbolic relationship with their sources. Those enter into *parameters mapping sonification* taxonomy.

My artistic and theoretical research are intimately linked within audification. Audification essentially consists, but not only, of catching inaudible movements and vibrations which most often belong to waves physics : electromagnetic and mechanical waves. It plays and reveals those imperceptible flows passing through and linking our bodies to cosmic phenomena. This practice shared by several artists is part of an artistic category, the Aeloelectronics, a term recently coined by Douglas Kahn (2013). If this practice is pre-eminently contemporary, the indexical relation it maintains with its sources, make it closer to the practice of imprinting (empreinte), one of the most archaic artistic practices. This morphological approach of art reaffirms one of its implicit functions, considering artistic practice as knowledge in action for the practitioner and a materialization of knowledge for the public.

Like Renaissance perspective, sonification draws up symbolic systems to describe the world. Sonification imposed itself in this thesis as a term, as a technic, as a theoretical and practical research discipline neutralizing the historically overload of figuration and representational terms. How, in audio art, has sound been producing auditive images which usher in a newer paradigm? This fundamental question comes up throughout the entire thesis.

Keywords : Sonification. Audification. Parameter Mapping Sonification. Installation. Sound art. Audio art. Sound installation. So(g)nification.

INTRODUCTION

Artiste franco-italienne, diplômée des Beaux-arts en France dans les années '90 et venant d'une culture visuelle profondément ancrée, rien ne me destinait un jour à travailler le son. Cependant une question obsédante traversait ma recherche de jeune artiste : quel médium me permettrait un jour de donner forme à la vibration du monde? Interrogeant par la pratique les notions de forme, de représentation et de matière, le son est apparu comme médium remplaçant ainsi ceux plus tangibles de la sculpture et de la peinture, les remédiant (Bolter et Grusin, 1999), en renouvelant un système de représentation s'inscrivant dans la continuité des arts figuratifs de la forme. Ma thèse posera ainsi la question suivante :

Comment le *médium son* électronique avec sa faculté d'empreindre les formes temporelles, remédie-t-il, dans une perspective plastique, le dessin, la peinture, la sculpture, dans ma pratique et celle de nombreux artistes? Et comment, plus spécifiquement dans les pratiques installatives sonores, renouvelle-t-il ainsi les représentations du monde?

Avec les techniques d'enregistrement d'abord analogiques puis numériques, le son s'est affirmé comme matériau pour les artistes plasticiens. Ce médium qui avait toujours été celui du vaste domaine de la musique déborde et se déploie dans le domaine des arts visuels, timidement depuis le début du XXe siècle puis en s'affirmant depuis les années 1960. Depuis deux décennies une pratique spécifique du sonore, désignée par un néologisme, *la sonification*, est de plus en plus explorée par les artistes médiatiques. Ce néologisme qui désigne tout à la fois une technique et une discipline de recherche a essentiellement été défini par les sciences. Si les artistes la pratiquent depuis plusieurs décennies, son discours est surtout pris en charge par les artistes-chercheurs universitaires et peine à toucher la communauté artistique extra-muros. Or la communauté artistique dans son ensemble est concernée par cette pratique qui bouleverse les codes de l'image. Cette thèse tentera ainsi de répondre à différentes questions interrogeant la place du *médium son* dans ce contexte spécifique de la *sonification* : comment les praticiens de ce jeune médium produisent-ils des

formes symboliques ? Avec quelles stratégies techniques et conceptuelles le façonnent-ils? Comment la sonification renouvelle-t-elle les codes et les représentations au sein des œuvres ? Peut-on dire que cette pratique renouvelle les arts de l'image? Ma thèse interrogera la sonification plus spécifiquement au sein des installations. L'approche médiologique orientera cette étude vers l'analyse des divers dispositifs artistiques mis en place dans mes œuvres et dans celles de nombreux artistes, en vue de proposer des typologies et de mettre en évidence les façons dont les artistes renouvellent les notions de formes et avec elles les représentations du monde.

Cette recherche trouve son origine dans ma pratique et dans un projet spécifique, *Le Souffle de la Terre* (1999-2007), dont la réalisation s'inscrivait, à mon insu, dans la sonification, ce jeune domaine identifié seulement lors de cette recherche doctorale. Cependant, ma problématique de praticienne étant comblée par le *médium son*, cette thèse a été entreprise, non pour théoriser ma pratique mais bien pour en exposer une dimension spécifique, *la sonification*, que de nombreux artistes ont en partage. Cette thèse aspire donc à transformer mon expérience particulière en une connaissance générale afin de développer des outils conceptuels pour la communauté en art audio. C'est en effet le manque de références et d'échanges avec ce milieu dans la première décennie des années 2000 en France qui a exigé d'abord une expatriation vers le Québec puis une théorisation née de ma pratique et de celle de nombreux artistes afin d'en exposer les règles et les codes. Règles construites, d'une part, avec les technologies électriques, électroniques et numériques et héritées, d'autre part, des arts visuels de la représentation. Ce texte est probablement l'un de ceux que j'aurais souhaité pouvoir lire lors de ma recherche artistique d'étudiante et de jeune artiste. Il est destiné à la communauté des artistes en art audio, aux théoriciens de l'art, à tous les jeunes artistes mais aussi aux amateurs et aux publics qui méconnaissent l'art audio et restent sur le seuil de cet art en éclosion.

CHAPITRE I

SUJET DE RECHERCHE, CADRE THÉORIQUE, PROBLÉMATIQUE ET MÉTHODOLOGIE

Cette thèse en recherche-création prend racine dans ma pratique dont le domaine est l'installation sonore. L'installation sonore se situe à la croisée de trois domaines artistiques : les arts médiatiques, les arts plastiques et les arts audio. Elle appartient aux arts médiatiques par les technologies qu'elle exploite et qui induisent des dimensions esthétiques singulières quant au traitement de la temporalité et de l'espace. Elle appartient aux arts plastiques par l'approche installative, par les dimensions plastiques et spatiales qu'elle met en œuvre; enfin elle appartient à l'art audio par son médium même : le son.

Ce premier chapitre expose le cadre théorique et la problématique de la thèse. La première partie s'attache à définir *le son comme médium* dans les *installations sonores* et à identifier et proposer une taxonomie de ces dernières. La deuxième partie présente *la sonification*, comme discipline et technique du sonore, son domaine de recherche, ses deux grandes orientations que sont *la sonification par mise en correspondance* et *l'audification*, et précise quelle est sa place dans cette thèse. Enfin la troisième partie est consacrée à la *médiologie* qui participe tout à la fois du cadre théorique mais aussi du cadre épistémologique venant étayer la méthodologie choisie pour la thèse. Si on insiste surtout, dans ce premier chapitre, sur l'apport de la médiologie comme étayage d'un discours théorique issu de la pratique, on verra en conclusion de la thèse que la pratique artistique constitue un autre cadre épistémologique dont l'objet n'est pas le texte mais l'œuvre.

Enfin la problématique, quant à elle, est élaborée et formulée au fur et à mesure de l'exposé du cadre théorique. Chaque notion abordée, chaque définition proposée, chaque néologisme participent ensemble à la formulation de la problématique.

1.1 Postulat

La première question qui se pose, lorsque l'on s'engage dans un doctorat en recherche-crédation dans le domaine des arts, concerne les relations qu'entretiennent la pratique artistique et la théorie. Mais encore en amont de cette question se pose celle de la raison d'être d'une telle démarche. En effet, que signifie le fait d'entreprendre un doctorat au milieu d'un parcours artistique? Pourquoi vouloir s'emparer du discours, *a priori* « logique » pour parler d'une pratique dont la raison d'être est de nature poétique¹? Pourquoi se mettre à l'épreuve d'une telle déchirure? Pourquoi prendre un tel risque intellectuel et psychique, plonger dans l'inconnu, chez « l'ennemi »?

Le discours démonstratif est probablement le plus grand des défis de ce travail. Il semble toujours insuffisant, partiel, incomplet ou au contraire trop précis, limitatif, autoritaire. Chaque mot écrit soulève un doute, donne le sentiment de trahir l'indicible en osant nommer ce qui ne peut l'être et dont seule l'œuvre d'art, même imparfaitement, peut se faire l'écho. Cette relation à la langue et à l'écriture a déterminé mon sujet, mes cadres épistémologique et méthodologique. Si je crois intimement que la nature poétique de l'œuvre ne peut s'exprimer que par l'art, en revanche je crois tout aussi intimement que les outils techniques sont indissociablement des outils conceptuels, que le médium est le message et qu'il est possible et surtout nécessaire d'énoncer et d'expliquer comment une œuvre médiatique est matériellement et techniquement construite. Cette nécessité est mue par le sujet même de la thèse dont le paradoxe (le *son* pour des artistes en *art visuel*), la nouveauté, le renouvellement continu et l'expansion exigent une réflexion et une analyse dans une langue partageable.

Ainsi, en m'engageant dans une recherche doctorale, l'objectif n'a pas été d'élaborer ce que la recherche-crédation en art nomme « une théorisation de ma pratique », mais d'en « saisir un aspect essentiel » (Pierre Gosselin, 2006, p.26) et de rejoindre ainsi une question plus vaste mais aussi plus extérieure à l'univers narcissique – mais non moins nécessaire - de la production artistique, en me concentrant sur un aspect que je partage avec d'autres artistes.

Cet aspect concerne *le technique*. En art, le technique n'est pas ce terme desséché, désincarné

¹ Poétique est utilisé ici au sens d'une poiesis (ποίησις), d'un « faire apparaître » par l'art tel que le définit Heidegger dans *La question de la technique* (Heidegger, 1958/1990). Une poiesis, c'est-à-dire une des modalités d'un « pro-duire ».

que la culture industrielle a désolidarisé de sa finalité. En art, le technique est le moyen et la fin. Il transmue la matière – toute matière - en un objet spirituel qui garde la trace de sa genèse, qui montre, exhibe sa matérialité, qui, par une transsubstantiation mystérieuse, donne corps au sacré. Mais si les œuvres, certaines œuvres, ont ce pouvoir magique c'est bien par le biais du technique au sens complet du terme qui est la condition de leur existence.

L'objet de ma thèse se situe ainsi à la croisée de trois champs. Tout d'abord le *son* envisagé comme *médium*; ensuite *l'installation sonore* comme pratique spécifique de l'art audio; enfin *la sonification* comme champ générique d'une discipline dont la mise en œuvre du dispositif technique construit des images auditives.

1.2 Le médium son

Pourquoi dans cette recherche parler de *médium son* plutôt que de *son*? La notion de médium dans les arts de la matière désigne ce tiers capable d'incarner une autre entité que lui-même. Il est un *moyen* mais aussi un *véhicule et un lieu* entre l'artiste et le monde, entre l'artiste et l'"autre", entre les publics qui l'expérimentent. Dans ma pratique le son est un médium qui n'est pas là pour lui-même. Sa fonction est de produire des images auditives qui donnent à percevoir les énergies qui nous traversent, nous entourent, interagissent imperceptiblement, dans le temps. Pour autant ses qualités plastiques sont fondamentales puisqu'elles font l'œuvre. Parler de *médium son* plutôt que de *son* oriente aussi la recherche vers les dispositifs qui l'engendrent, qui lui servent de support et qui en paramètrent à la fois les caractéristiques physiques et représentationnelles. Enfin parler de *médium son* plutôt que de *son* c'est aussi inscrire le son de plain-pied comme matériau; un matériau appartenant au champ des arts plastiques. Afin de saisir cette plasticité du sonore on fera, dans ce premier chapitre, un détour par le son enregistré pour se rendre finalement *au son issu d'enregistrements non sonores* nous conduisant ainsi vers la *sonification*. En parlant ici d'enregistrements on peut d'entrée de jeu dire que le son dont il sera question est corrélatif de l'apparition et de la manipulation des techniques électriques, électroniques et enfin numériques de production.

1.2.1 Circonscrire l'objet : le médium peinture versus le médium son

Provenant d'une famille d'un thème indo-européen *medhyo* qui a peu varié durant ses migrations linguistiques, le médium est défini comme ce « qui est au milieu » (Picoche, 1992, P.318-319). On le retrouve en latin sous la forme substantivée actuelle de *médium* qui signifiait alors « milieu » et aussi « lieu accessible à tous » ce qui qualifierait merveilleusement l'utopie artistique. La plaque de verre du dispositif perspectiviste incarne ce milieu, matérialisant le lieu métaphorique de la rencontre entre le monde perçu et l'œuvre. Lorsqu'il est formé, ce médium est l'œuvre et devient potentiellement *ce lieu accessible à tous*. La notion de médium dans les arts est ancienne et son usage commun. Il désigne ce tiers par lequel l'œuvre prend forme. La peinture est un exemple, *a priori* simple, de ce que recouvre la notion de médium. Si je demande à un peintre quel est son médium, il me répondra naturellement la peinture. Or si la réponse est claire et sans ambiguïté elle contient un haut niveau de complexité. 1 - La peinture d'abord est un médium en tant que matière à laquelle l'artiste donne une forme; ici le médium est la "matière première", la matière plastique in-formée. 2 - Cette matière est indissociable de son support et des outils grâce auxquels l'artiste va pouvoir peindre; ici le médium, devient procédure, procédés et processus techniques. 3 - Cette technique est, dans le cadre de la peinture figurative, indissociable des techniques de représentation et de ses conventions symboliques; ici le médium incorpore et donne forme aux codes et aux règles de représentation. 4 – Aussi, lors de son exécution, la peinture est médium ou véhicule, entre l'artiste et le monde; ici la peinture devient médium en action, sa plasticité construit le peintre pendant que la peinture s'élabore et le transforme en retour. Le médium prolonge l'artiste dans l'espace et dans le temps. 5 – Ce dernier aspect du médium peut être décliné en quatre temps : il est entre l'artiste et le monde, entre l'artiste et l'« autre », entre les publics qui l'expérimentent, et entre les publics et le monde; ici le médium est l'œuvre. Ainsi en peinture ce seul terme de médium recouvre des réalités et des savoirs multiples : indissociablement techniques et conceptuels.

À partir de ces cinq acceptions du médium en peinture, on peut tenter d'en transposer les principes au médium son et commencer ainsi son analyse. 1 – Le son d'abord est un médium en tant que matière acoustique et sensible à laquelle l'artiste donne une forme; il est la matière

plastique in-formée. 2 - Cette matière est indissociable de ses outils de production mais l'air est son ultime « support »; les supports du *médium son*, dans cette thèse, sont ses supports d'enregistrement, de stockage et de transport mais les œuvres audio installatives dont il sera question sont le plus souvent des objets sonores éphémères. En effet, l'une des caractéristiques fondamentales de ce médium est sa faculté à révéler, en temps réel, des formes temporelles du monde, flux éphémères dont la disparition est une des singularités. Cependant cette deuxième acception du mot n'en exclut pas moins les procédures, procédés et processus techniques qui comprennent les instruments de captation, les supports d'enregistrement, les instruments de transduction, l'ordinateur, le dispositif audio de diffusion. Par ailleurs, rares sont les œuvres audio qui n'ont pas une part tangible, matérielle et visuelle, si minimaliste soit-elle; la présence même de haut-parleurs dénudés et de lumière a souvent constitué le cadre visuel et spatial des œuvres les plus dépouillées. (*Le Souffle de la Terre, Étude n°1* (2001) Lorella Abenavoli, *Wave* (2008) Villu Jaanisoo, *Silent Music* (1994 – 2010) Robin Minard, *The Forty Part Motet* (2011) Janet Cardiff) 3– Tout comme dans le cadre de la peinture figurative, les procédures techniques sont indissociables des systèmes de représentation qu'elles construisent. Dans le domaine de l'art audio visé par cette thèse, ce processus spécifique est appelé la *sonification*. La sonification est ainsi définie par Gregory Kramer (1994, p.185) et Thomas Hermann (2002, p.23), deux spécialistes scientifiques de cette discipline, comme « l'utilisation de signaux acoustiques, excluant le langage parlé, pour représenter des données quantitatives ou qualitatives dans le but d'en faciliter l'interprétation ou la communication. » Cette définition est à la fois très large et en même temps strictement orientée vers les pratiques scientifiques; elle devra au long de cette thèse être confrontée à la pratique artistique et ajustée². Ce que cette définition met en évidence, c'est la faculté du son à représenter des données. Les données qui intéressent cette thèse sont *a priori* essentiellement des données numériques (mais pas exclusivement) issues de captations de

² La publication « *Sonification: what where how why artistic practice relating sonification to environments* » (2011) *AI & SOCIETY*. Volume 27 Number 2 réunit de nombreux auteurs, et constitue une des premières sinon la première publication qui traite exclusivement de cette notion dans le domaine des arts. L'article éditorial de Peter Sinclair qui a dirigé la publication, est une approche novatrice qui interroge la notion de sonification au sein des arts audio. L'ensemble de la publication sera une référence importante.

formes temporelles, spatiales ou lumineuses, artificielles ou naturelles. Le chapitre 3 est entièrement consacré à son histoire. 4 - Aussi le *médium son* tout comme la peinture est médium entre l'artiste et le monde. Le son est par essence un médium en action, sa plasticité éphémère construit le praticien pendant que les sonorités s'élaborent, elles le transforment en « temps réel ». 5 - Enfin le son est médium entre l'artiste et le public, entre les publics et entre le public et le monde ; ici le médium est l'œuvre.

1.2.2 Le médium son dans ma pratique

L'émergence, en 1996, du *médium son* dans ma pratique de plasticienne est à l'origine de ce travail de recherche. Ce médium est d'abord apparu comme une idée puis comme une matière. Il répondait à un désir : rendre audible tout ce qui se meut et palpète, donner à percevoir l'énergie du monde, entendre la matière muette, entendre le marbre, la terre, les arbres, les corps, tout ce qui bat et vibre. Je pressentais alors que, grâce aux instruments numériques³, le son pourrait donner forme à une œuvre proche de ma perception tout en venant combler ce qui faisait encore défaut dans ma pratique : la possibilité de représenter, c'est-à-dire de littéralement rendre à nouveau présent une expérience esthétique. Avec les techniques de captation et d'enregistrement j'avais le sentiment qu'un système pouvait enfin s'élaborer, c'est-à-dire une structure et un « langage commun » partageables par les artistes mais aussi à plus long terme par le public. C'est avec *Le Souffle de la Terre* (Abenavoli, 1999-2007), qui fait l'objet du deuxième chapitre, que s'est matérialisé ce projet, en rendant audible l'activité tellurique permanente de la Terre. Ensuite de nombreux projets ont exploré les potentialités du son à rendre sensibles des phénomènes « inframince » dont les principaux sont *Nox Mater, étude pour muons et silences*⁴ réalisés en collaboration avec Nicolas Reeves (2006-2007), projet qui rend sensible l'arrivée des particules cosmiques de haute énergie sur la Terre; *Batraciens, l'après-midi*⁴ (2006-2009), scénographie sonore

³ Cette thèse montrera que le numérique n'est pas forcément nécessaire pour rendre perceptibles les phénomènes qui intéressent ma recherche. Cependant le numérique, même s'il implique une certaine complexité lors de la programmation, il facilite ensuite grandement toutes les interactions entre les dispositifs électroniques, de la captation à la diffusion.

⁴ Ce titre est celui de la chorégraphie.

réalisée pour le chorégraphe Bernardo Montet, pour lequel j'ai conçu un instrument afin d'amplifier les gestes imperceptibles du danseur et ses souffles, construisant simultanément l'environnement sonore de la chorégraphie; enfin *VERTICALE*, (2006-2015) réalisée durant cette période doctorale, qui donne à entendre le flux de la sève dans un érable et qui fait l'objet du dernier chapitre.⁵

Dans ce parcours, le son a *remédiatisé*⁶ le dessin, la peinture et la sculpture tout en apportant une dimension *temporelle* décisive. Il est aussi venu apporter une autre dimension, inespérée : la possibilité de figurer le monde, possibilité que j'avais perdue depuis de nombreuses années. Si le médium son est venu palier presque toutes les défaillances des autres médiums⁷ et ainsi résoudre un problème dans ma pratique, en revanche il ne semblait pas évident sur les plans conceptuel, historique et artistique qu'il entre comme médium dans le domaine des arts visuels au sein desquels s'inscrivait mon travail. C'est précisément la faculté du *médium son* à engendrer des représentations symboliques figuratives ou encore des images auditives que cette thèse souhaite interroger et saisir.

1.2.3 Le médium son entre arts plastiques, arts médiatiques et arts audio

Le médium son dans *les arts visuels et médiatiques* désignait, à l'origine, mon objet de recherche, et en exposait explicitement une des problématiques : comment le son pouvait-il s'inscrire dans une catégorie artistique dont l'énoncé indiquait le visuel comme principale destination? Aujourd'hui, je choisirais plutôt, pour nommer ce grand ensemble dans lequel s'inscrit l'objet de cette recherche, une appellation hybride issue de la langue française de France et du Québec : *les arts plastiques et médiatiques*, pointant simultanément le médium et sa plasticité.

⁵ Cette liste n'est pas exhaustive mais donne une idée des œuvres d'où ce texte prend racine.

⁶ Terme inventé par Jay Bolter et Jay David Grusin, qui désigne les cycles historiques d'apparition de nouveaux médiums et leur mécanismes d'absorption de ceux qui les précèdent. (Bolter et Grusin, 1999).

⁷ Médium avec un "s" a pour objectif de le différencier des media. Cela étant dit, aujourd'hui l'un et l'autre s'écrivent avec un accent, passent dans le champ orthographique français (et non plus latin) et on lira plus souvent les médias et les médiums, orthographe qui sera ensuite adoptée dans la thèse.

Cependant il existe un autre domaine auquel appartient mon objet qui se dessine et croît depuis les années '80 (Licht et O'Rourke 2008, p.11) bien qu'il ait ses racines dans des époques antérieures. Il s'agit de *l'art audio* ou *art sonore*, interprétations francophones indéfinies de la forme anglophone *sound art*⁸. Le mot « son » est un vocabulaire apparu très récemment dans le langage artistique⁹, à la même période que les premières techniques d'enregistrements analogiques et de diffusion du son, à la charnière des XIXe et XXe siècles. Le XXe siècle apparaît dans le domaine de l'art audio comme un vaste laboratoire où musique, cinéma et arts plastiques s'emparent de façon expérimentale de ce matériau et de ses techniques. Les premiers textes qui construisent une histoire d'un art audio sont très récents ; ils remontent aux années '90¹⁰ et sont essentiellement états-uniens, canadiens et australiens. Ces textes aspirent à raconter les origines de cette forme artistique afin de lui bâtir une place autonome parmi les arts. Grâce à ces recueils, il a été possible pour les arts audio de retrouver des filiations avec quelques artistes et quelques démarches développées depuis le début du XXe siècle au rythme de l'apparition et parfois de la disparition des techniques audio émergentes. Ces pionniers de l'histoire et de la théorie de l'art audio permettent de dessiner la naissance d'un continent dont les frontières sont le plus souvent poreuses avec les autres

⁸ Dans la langue française de France on a essentiellement parlé d'art sonore pour désigner ce domaine encore jeune et en éclosion. Cependant, le centre d'artiste québécois Avatar, spécialisé dans les arts audio et électroniques, utilise depuis 1998 le terme d'art audio que nous adopterons plus volontiers dans cette thèse.

⁹ À ce sujet voir le texte de François Delalande, L'invention du son, *Cahier de médiologie n°18*, Fayard, 24 nov. 2004.

¹⁰ Par exemple ces titres qui ont marqué l'histoire des arts audio grâce à la réunion de nombreux textes de spécialistes sur une tentative de définition du domaine : Lander, Dan et Lexier, Micah (1990) *Sound by artists* Ed. Art Metropole et Walter Phillips Gallery, Canada. Kahn Douglas et Whitehead, Gregory (1992) *Wireless imagination, Sound, radio and the avant-garde*, M.I.T. Press, USA; Kahn, Douglas (1999) *Noise, Water, Meat : A History of Voice, Sound, and Aurality in the Arts*, MIT Press.

Depuis la rédaction de cette introduction en 2011 de nombreux livres aspirant à penser l'histoire de l'art audio ont été publiés tant dans la littérature spécialisée nord-américaine que française. Voici quelques titres : Migone, Christof (2012) *Sonic Somatic – Performances of the Unsound Body*, Errant Bodies. Kahn, Douglas, (2013) *Earth Sound, Earth Signal, Energies and Earth Magnitude in the Arts*, University of California Press. Labelle, Brandon (2015) *Background Noise: Perspectives on Sound Art*, seconde édition (Bloomsbury, 2015). La revue annuelle *TACET*, ss la dir. de Matthieu Saladin et Yvan Etienne, Ed. Haute Ecole des arts du Rhin et Les presses du réel, Gallet, Bastien (2017) *Bruits de fond*, Presses Universitaires de France.

formes d'art déjà existantes. En effet le terme composé de Sound art/art audio a inclus jusqu'à peu presque toutes les formes de pratiques sonores issues des techniques audio, électroniques puis informatiques, allant de la musique expérimentale aux installations, sans opérer de distinction disciplinaire¹¹. Cependant avec l'enregistrement d'abord, puis l'avènement de l'outil numérique, le son est devenu le médium de prédilection de nombreux artistes plasticiens, n'appartenant plus seulement au domaine de la musique mais se déployant radicalement dans le domaine des arts plastiques. Tout au long du XXe siècle, il existe des mouvements¹² qui croissent simultanément dans les différentes parties de l'Occident, se saisissant des techniques émergentes du téléphone, du phonographe, de la pellicule cinématographique, de la radio, de l'enregistrement sur bande magnétique et enfin des techniques informatiques afin de produire des œuvres expérimentales, qui réouvrent les domaines des arts, opérant des glissements sémantiques et conceptuels issus d'approches intrinsèquement interdisciplinaires et *intermédiatiques*.

On peut distinguer trois grands domaines de diffusion où s'exprime l'art audio. D'abord celui qui est directement lié aux supports et aux techniques émergents du XXe siècle : comme la cassette magnétique, le disque vinyl puis laser, la radio (Celant, 1977)¹³ et enfin Internet. Puis les pratiques performatives qui convoquent le corps où poésie, bruits, voix, objets construisent un univers sonore (Donguy, 2007). Enfin les pratiques installatives qui (comme

¹¹ Cette distinction entre médium et "discipline" doit être précisée. Le poète et le philosophe travaillent le même médium, pour autant leur discipline est souvent très éloignée. Il en est de même pour un plasticien et un musicien quant au médium son. Cependant la transversalité ou l'interdisciplinarité des pratiques existe et sera soulevée dans le quatrième chapitre permettant de questionner les points de rencontre et de disjonction entre les œuvres de ces praticiens.

¹² Par exemple le futurisme dans les années 1910 avec Luigi Russolo et Filippo Tommaso Marinetti en Italie et en France, le Laboratoire de l'ouïe fondée en 1917 à Moscou avec Dziga Vertov, le cinéma sonore avec *Wochenende*, plus connu sous le nom de *weekend* de Walter Ruttmann en 1930, film sans image uniquement construit par le son réalisé en Allemagne. Plus proche de nous l'Internationale Situationniste, Fluxus ou encore le Pavillon Philips (Le Corbusier, Iannis Xénakis, Edgard Varèse, exposition internationale de 1958, Bruxelles, Belgique, 1958) qui peut être considéré en soi comme une œuvre manifeste.

¹³ Celant, Germano *The record as artwork from futurism to conceptual art*, (1977), Ed. Museum of Contemporary Art in Chicago. Publication réalisée à l'occasion des expositions éponymes (Celant, 1977)

les pratiques performatives) désignent moins des techniques que des formes esthétiques, conceptuelles et matérielles, investies par les arts plastiques (Licht et O'Rourke, 2007; Ouzounian, 2008)¹⁴. C'est cette dernière forme, l'installation, qui sera au cœur de cette thèse.

Durant les 30 dernières années et particulièrement en Amérique du nord et en Australie, l'art audio définit son domaine tant par l'accroissement des pratiques que par la diffusion des œuvres et l'écriture de textes qui participent de son existence. *Sound by Artists*¹⁵ (Lander et Lexier, 1990) est la première anthologie qui aspire à embrasser la complexité du sujet¹⁶. À l'image de cette complexité, elle réunit des textes de « critiques, de commissaires, de compositeurs, d'artistes de la vidéo, de l'installation, de la performance et ceux précisément appelés les artistes sonores, artistes audio ou encore artistes radio »¹⁷ (Lander et Lexier, 1990, p.10). Dans son introduction, Dan Lander, insiste sur la nécessité d'opérer une distinction entre la musique et l'art audio. Aujourd'hui encore, même dans le domaine de l'installation, cette distinction reste difficile. Dans le contexte spécifique de la *sonification*, on verra dans les quatrième et cinquième chapitres ce qui distingue l'approche musicale de l'approche plastique. Enfin s'il y a des artistes audio qui ont consacré l'ensemble de leur démarche à cette forme qu'est l'installation sonore (à titre d'exemples : Max Neuhaus, Bill Fontana, Bernard Leitner, Robin Minard, Erik Samakh, les duos Bechard/Hudon, [The User]) d'autres, bien plus nombreux, ont des pratiques qui alternent ou mêlent de nombreux médiums, produisant parfois mais non exclusivement des œuvres sonores (à titre d'exemples : Ryoji Ikeda,

¹⁴ Licht, Alan & O'Rourke (2007) Jimmy, *Sound art : Beyond Music Between Categories*, Ed. Rizzoli et Ouzounian, Gascia (2008) thèse de doctorat, *Sound Art and Spatial Practices: Situating Sound Installation Art Since 1958*, A Dissertation submitted in partial satisfaction of the requirements for the degree Doctor of Philosophy, University of California, San Diego consulté le 19 juillet 2016 : https://www.academia.edu/7166588/Sound_Art_and_Spatial_Practices_Situating_Sound_Installation_Art_Since_1958.

¹⁵ Lander Dan, Lexier, Micah (1990) *Sound by Artists*, Art Metropole and Walter Phillips Gallery, Canada

¹⁶ D'autres ouvrages ont été publiés auparavant mais leur faible diffusion en a limité l'influence. Ils n'en restent pas moins très précieux. Je pense en particulier à *Sound Sculpture*, John Grayson (1975) A.R.C. Publications Aesthetic Research Centre of Canada Vancouver. Canada.

¹⁷ Citation trad. par Lorella Abenavoli. (Lander et Lexier, 1990, p.10)

Christian Marclay, Janet Cardiff, Carsten Nicolai, Jocelyn Robert, Caroline Gagné). Cet état de fait a conduit à définir un corpus d'œuvres plutôt par son appartenance au domaine interrogé (l'installation sonore) que par l'appartenance de son auteur au domaine exclusif de l'art audio.

1.2.4 Le médium son dans les installations

L'installation est une pratique qui s'inscrit dans l'espace d'un lieu, qui s'en inspire et l'intègre comme matière même de l'œuvre. Cette forme artistique inclut physiquement les visiteurs et en cela induit, dès la première moitié XXe siècle, un rapport nouveau à l'œuvre tant du côté de l'artiste que du public. Il n'y a plus de socle, plus d' « objet », l'espace de l'installation est tout à la fois symbolique et réel; en cela il s'apparente à certains égards à la sculpture et aux arts de l'espace. L'écllosion de cette forme artistique correspond à une époque où certains artistes souhaitent soustraire leurs œuvres des structures officielles, placer l'art au cœur de la vie et le public au cœur de l'œuvre, refusant la production d'objets. Ce n'est pas un hasard si ce sont les artistes Dada, désirant rompre avec les œuvres-objets d'une société bourgeoise et mercantile, qui ont inauguré cette forme (Johannes Baader, *Plasto-Dio-DADA-Drama*, juin 1920, Berlin; Kurt Schwitters *Merzbau* 1919-1933 Hanovre; Marcel Duchamp *Sixteen Mile of string* 1942 New-York) ainsi que les constructivistes russes juste après la Révolution d'Octobre 1917 (Vladimir Tatline et ses *Contre-reliefs* à la fin des années 1910, Lazar Lissitzky et ses *Prouns* dans l'espace dans les années 1920).

Les œuvres installatives sonores se déclinent sous différentes appellations qui correspondent à des nuances plus ou moins perceptibles dans le traitement de l'espace : on parlera d'œuvre *in situ*, d'œuvre environnementale, de paysage sonore (soundscape), de sculpture sonore (sound sculpture), de promenade ou de marche sonore (sound walks) selon la dominante de chacune de ces œuvres. Le terme d'*installation sonore* lui-même étant le plus souvent réservé pour les œuvres s'exposant dans les musées et les galeries. On peut enfin ajouter à cette énumération les installations sonores interactives.

On pourrait distinguer ici trois types de matériaux sonores pour ces installations :

1 - les matériaux de synthèse ou électro-acoustiques « purs » qu'on nommera ici les matériaux sonores abstraits. Citons à titre d'exemples historiques, la plupart des installations de Max Neuhaus dont la plus connue est *Times Square* (1977-1992 et depuis 2002)¹⁸, *Dreamhouse* (1969 pour la première) de La Monte Young et Marian Zazeela, les œuvres sonores de Bernard Leitner dont les premières remontent aux débuts des années '70, *Polytopes* de Jannis Xenakis (dont le premier est exposé à Montréal en 1967).

2 – les matériaux sonores engendrés par les mouvements mécaniques des objets mêmes de l'installation tels les frottement, percussion, grattage, cliquetis... On les retrouve dans les premières sculptures sonores de Jean Tinguely, dans les *Pendules magnétiques* (1964-1966) de Vassilakis Takis ou plus proche de nous dans *Sewing Machine Orchestra* (2010) de Martin Messier (Montréal), dans *La voix des choses* (2004-2005) et *Au bout du fil* (2003) de Béchard-Hudon, dans *Flesh + Wood + Metal* (2012) de Magali Babin et Hermann Kolgen, dans *Être bien encadrée* (2013) de Jonathan Villeneuve.

3 - les matériaux sonores issus d'enregistrements que je nommerai les sons figurants. Prenons, à titre d'exemples, des œuvres issues de chacune des catégories installatives citées plus haut. Installation sonore muséale : *I'm Sitting in a Room* (1969) de Alvin Lucier; œuvre *in situ*, œuvre mémorielle : *Sound Island* (1994) de Bill Fontana; sculpture sonore : *Box with the sound of its own making* (1961) Robert Morris; œuvre environnementale ou paysage sonore *Module Acoustique Autonome – L'île aux oiseaux* (1989) de Erik Samakh; *The Missing Voice (Case Study B) (La Voix manquante [étude de cas B]* 1999) de Janet Cardiff. Ces œuvres sont toutes issues d'enregistrements sonores : voix, découpe de bois, merles, ressac de l'océan... La transposition du modèle de l'enregistrement sonore va permettre dans le prochain paragraphe de comprendre une des pratiques de la sonification *qui rend audibles des phénomènes et des données inaudibles*. Par ailleurs l'enregistrement met en place un rapport "mimétique"¹⁹ et indiciel avec une forme originelle, et c'est dans l'analogie de cette pratique avec l'empreinte dans les arts visuels, que se trouve l'un des enjeux de cette recherche.

¹⁸ <http://www.max-neuhaus.info/images/TimesSquare.gif> et <http://www.diacenter.org/sites/main/55> ces 2 sites de Max Neuhaus et de la DIA foundation ont été consultés le 26 juin 2016.

¹⁹ L'adjectif "mimétique" est problématique. Il a l'avantage d'exprimer clairement la notion de ressemblance entre un objet et sa représentation dans l'œuvre, mais ce terme appartient à la théorie de

1.2.5 Du modèle de l'enregistrement à la sonification

L'enregistrement sonore requiert trois phases : la captation, la conservation (l'enregistrement à proprement parler), la diffusion. Capter signifie étymologiquement "prendre, chercher à prendre, faire la chasse à" (Picoche, 1992, p.88). Capter des sons constitue la première étape technique de l'enregistrement. Les capteurs audio, c'est-à-dire les microphones, saisissent les mouvements de l'air produits par des sources sonores par la mise en vibration de leur membrane. La deuxième étape consiste à graver ces mouvements originaux sur des supports afin de les fixer et de les conserver. Le phonautographe fabriqué en 1857 par Scott de Martinville, ouvrier typographe, est l'ancêtre des enregistreurs. Son appareil « comprenait un cornet au sommet duquel était tendue une membrane. Une pointe (le stylet), qui reposait sur un cylindre rotatif de papier enduit de noir de fumée, était fixée au centre de la membrane. Le son recueilli par le cornet faisait vibrer la membrane qui entraînait le stylet devant lequel tournait le cylindre. Les vibrations s'inscrivaient sur le papier fumé sous forme d'une longue trace hélicoïdale »²⁰. Cet appareil réalise les deux premières étapes de l'enregistrement mais seulement celles-ci : la captation et l'enregistrement mais pas la lecture. Il faut attendre le phonographe de Thomas Edison en 1878 pour que les sons "emprisonnés" puissent être "lus" et entendus à leur tour. Il est muni d'un microphone à charbon, d'un papier non plus fumé mais recouvert de cire et d'un pavillon qui dédouble ses fonctions : il amplifie les ondes sonores captées par le microphone afin de graver un trait de profondeur variable dans la paraffine et, en retour, lors de la lecture, il amplifie les vibrations que le stylet transmet au micro pour donner à entendre les sons gravés. La troisième étape de l'enregistrement, la "lecture" analogique et sonore, est ainsi complétée.

l'art plus qu'à l'intention de l'artiste. Les théories qui ont questionné la relation entre l'artiste et la forme qui l'inspire et à laquelle il s'identifie pour la reproduire (partiellement) sont issues de la psychologie de l'art allemand de la fin du XIXe avec Theodor Lipps et Wilhelm Worringer qui propose le concept d'*Einfühlung*, pour nommer le processus sensible qui se met en place entre l'artiste et l'objet qu'il représente. On consacra quelques pages du deuxième chapitre à définir cette notion.

²⁰ *L'histoire de l'enregistrement sonore : du papier fumé au disque laser* pp.233-237 in Ratteray Taylor, Gordon, Payen, Jacques (1983) *Les inventions qui ont changé le monde*, article : Selection de Reader's Digest, Paris, Bruxelles, Zurich, Montréal 367p.

Ce que techniquement le microphone capte c'est une vibration émise par un corps et transmise par l'air. Ce que phénoménologiquement il saisit, c'est une vibration de la matière vivante, qui nous "touche à distance", une distance entre la source et notre corps que, cependant, l'air lie intimement. La caresse de l'air prolonge et transmue ce mouvement en une onde sonore qui nous touche littéralement. La membrane du microphone qui ondule prend l'empreinte temporelle de la vibration de la matière et devient la matrice de cette forme temporelle qu'est le son, qui sera ensuite diffusée. Le son émis par le haut-parleur peut être considéré comme l'empreinte temporelle sonore inscrite analogiquement sur un support.

Le microphone nous permet de comprendre la façon dont il saisit le phénomène sonore. Nous comprenons aussi comment les gravures sur supports, reproduisant ces ondulations de l'air, enregistrent, fixent et conservent l'empreinte de ces sons en jouant le rôle de *matrice* qui aura permis au XXe siècle la reproduction analogique puis numérique des formes sonores captées que nous écoutons et ré-écoutons sur nos divers lecteurs de son. Pierre Schaeffer avait, le premier²¹, conceptualisé dans les années 50 cette matérialité du sonore en nommant ces empreintes des *sons concrets* (Schaeffer, 1973); il parlait bien, alors, du support pouvant être découpé, copié, collé, inversé... bref travaillé à partir de la matérialité de leur empreinte plutôt qu'à partir des sons eux-mêmes²².

Ce processus identifié, on peut poursuivre vers les procédures de création qui donnent forme au *médium son* mais dont la forme d'origine n'est pas sonore, pratiques qui nous font finalement entrer dans le monde de la *sonification*. En effet, les vibrations sismiques, les variations de température de l'air, la croissance des végétaux, les trajectoires des particules

²¹ De façon intuitive mais non moins élaborée, Lazlo Moholy Nagy, avait théorisé et réfléchi à la matérialité du support sonore dans *Produktion, reproduktion*, *De Stijl*, n°V/7, juil. 1922, élaborant «sa proposition d'une "écriture sonore" au moyen du disque puis de la piste optique, le projet d'un optophone à usage artistique». Extrait de (Lista, 2004b).

²² On peut presque dire que l'aspect figuratif des sons concrets est un sujet resté tabou pendant longtemps chez les musiciens concrets. Les sons enregistrés sont assujettis au projet musical tandis que chez de nombreux plasticiens c'est justement la qualité des sons du monde – avec leurs accidents et leur figurabilité qui constitue l'intérêt premier.

cosmiques, la variations des marées océaniques, le déplacement des nuages, la circulation sanguine, l'ensemble des flux ondulatoires électro-magnétiques et les interactions de toutes ces manifestations entre elles constituent un échantillon des *formes temporelles* de la matière qu'ont travaillées de nombreux artistes audio contemporains (Lorella Abenavoli (*Le Souffle de la Terre, Etude n°6* 2007), Alexandre Metcalf (*The Tree Listening installation*, 2008), Lorella Abenavoli et Nicolas Reeves (*Nox Mater, Etude pour muons et silence* 2007), Magali Babin (*L'eau Fi, composition pour aquarium* 2010), Jean-Pierre Aubé (*V.L.F. Natural Radio* - 2000-2004), Christian Boltanski (*Les archives du cœur*, 2010-), Caroline Gagné (*Cargo* 2011), Christina Kubisch (*Promenades électriques Montréal*, 2008), pour n'en citer que quelques-uns). Les techniques de captation du mouvement utilisent divers senseurs²³ selon la nature de la forme temporelle que l'on souhaite saisir. On fera ainsi appel à des capteurs de mouvement, de vitesse, de lumière, de température etc. qui sont autant de matrices prenant la forme de phénomènes temporels qui seront rendus audibles. Si dans ces pratiques le moment de la saisie est fondamental, le dispositif de *transduction* (Paquin, 2006, P.42-45) des données l'est tout autant. C'est là que réside le cœur de *la sonification* (Hermann, 2011, p.1).

1.3 Introduction à la sonification

"Captation, amplification et transfiguration de vibrations émises par la matière. Tout comme aujourd'hui on écoute le chant de la forêt et de la mer, demain nous serons séduits par les vibrations d'un diamant ou d'une fleur." (Marinetti et Masnata, 1933)

1.3.1 Émergence d'une discipline

La *sonification* est un néologisme qui désigne une discipline scientifique et une technique. Elle s'est définie et nommée ainsi depuis 1992, à l'occasion de la fondation de l'*International Community for Auditory Display (ICAD)* par Gregory Kramer²⁴. Depuis, l'ICAD est devenu un réseau en plein essor et une rencontre éponyme internationale annuelle, réunissant tous les acteurs des milieux académiques de la sonification qui actualisent et partagent ainsi les

²³ Autre terme pour capteur.

²⁴ Gregory Kramer est un chercheur, auteur, compositeur, entrepreneur et professeur. Il est une des figures fondatrices de l'Auditory Display et il a publié le premier livre de ce domaine (Kramer,1994).

recherches et les productions de ses membres. C'est aussi un site internet qui rend accessible de nombreuses recherches en libre accès²⁵. En 2011, le 2^e ouvrage collectif²⁶ universitaire de synthèse est publié, *The Sonification Handbook*, faisant un état des lieux de la discipline. Ce manuel constitue un ouvrage de référence pour cette thèse. Il s'appuie sur les nombreuses recherches produites durant les vingt dernières années s'efforçant ainsi de circonscrire le domaine de façon exhaustive.

Le terme d'*Auditory Display* que l'on retrouve dans l'acronyme ICAD, dont la traduction littérale est l'«affichage auditif», est en fait l'ensemble du dispositif technique qui permet la captation et/ou la construction des données, leur transformation, et enfin leur diffusion sous forme acoustique. La *sonification*, quant à elle, relève du dispositif conceptuel, qu'il soit codifié ou analogique, et désigne les divers systèmes construits qui rendent perceptibles ces données grâce à leur transposition dans le domaine sonore. *The Sonification handbook* (2011) décrit ainsi cette articulation :

Auditory Display encompasses all aspects of a human-machine interaction system, including the setup, speakers or headphones, modes of interaction with the display system, and any technical solution for the gathering, processing, and computing necessary to obtain sound in response to the data. In contrast, Sonification is a core component of an auditory display: the technique of rendering sound in response to data and interactions. (Hermann, Hunt, Neuhoff, 2011b, p.1)

1.3.2 Deux modèles archétypaux : le langage et la musique

On comprend au regard de cette définition que la sonification est contemporaine de l'expansion des techniques électriques et numériques et que cette discipline est éminemment reliée au contexte technologique actuel. Cependant bien avant l'émergence du numérique, parmi les plus anciennes formes de sonification dans les productions humaines on retrouve la musique et le langage²⁷. Avec l'écriture textuelle et la partition, tous deux entretiennent une

²⁵ <http://www.icad.org/>

²⁶ Le premier ouvrage de référence date de 1994 sous la direction de Gregory Kramer (voir note de bas de page p.1)

²⁷ La recherche en sonification exclut explicitement le langage de sa définition. Cette exclusion s'explique par la nécessité de cette discipline de dessiner des limites claires de ce champ de recherche

relation entre des données codifiées et des sons. Les sons, qu'ils soient verbaux ou musicaux, rendent audibles et signifiants les codes auxquels ils se réfèrent. La partition et l'écriture sont d'abord les modalités d'un enregistrement qui advient grâce à l'inscription sur support avant de devenir à leur tour des techniques de production (Delalande, 2004, p.22). L'avènement de la maîtrise de l'électricité au XIXe siècle puis l'introduction de l'enregistrement sonore à l'orée du XXe introduisent de nouvelles modalités de production du sonore en enregistrant de façon analogique sur support les ondes acoustiques. Ces deux grandes tendances — l'enregistrement codifié d'une part et l'enregistrement analogique d'autre part — esquissent les deux grandes orientations techniques de la sonification. La première technique consiste à mettre en correspondance des données, le plus souvent abstraites, avec des sons. On l'appelle *the Sound Parameter Mapping* que l'on traduira par *la sonification par mise en correspondance*²⁸ (Provencher, 2008, p.12). La deuxième technique, dont le modèle est celui de l'enregistrement, consiste à transduire analogiquement et « directement » des phénomènes physiques temporels en son. On l'appelle *l'audification*, terme qui est conservé tel quel en langue française.

1.3.3 Trois taxonomies fonctionnelles

Aujourd'hui, la sonification se manifeste dans toutes nos interfaces électroniques (écrans tactiles, téléphones intelligents, tablettes, lecteurs de musique, jeux, appareils électroménagers, transports, médecine...) qui associent désormais un couplage sensoriel

déjà très vaste sans s'encombrer de toute l'histoire de la linguistique et de la sémiotique, bien qu'il s'y réfère parfois pour penser sa mise en œuvre. Je m'autorise cependant à m'appuyer sur cet exemple peu orthodoxe à des fins didactiques car cela permet de comprendre une des constructions de la sonification.

²⁸ Cette traduction a été lue pour la première fois dans le mémoire de Françoise Provencher étudiante à l'UdM. Elle renvoie en mathématique à la théorie des ensembles. Françoise Provencher indique dans son mémoire : " Le terme original anglais est *parameter mapping*. J'ai essayé plusieurs tentatives de traduction, et la plus sensée est celle qui est recommandée par le grand dictionnaire terminologique[1] pour *data mapping*, soit «mise en correspondance». *in* Provencher, Françoise, 18 avril 2008, Françoise Provencher (PROF 11608308), La sonification : un outil pour la « visualisation » de données, Travail de session remis à Caroline Traube dans le cadre du cours MUS. 6321 : psychoacoustique musicale. Le dictionnaire auquel elle fait référence : Grand dictionnaire terminologique. En-ligne [www.granddictionnaire.com]. Consulté le 10 juillet 2016.

interactif visuel, tactile et auditif. Mais parfois la sonification advient en dehors de ce couplage et le son constitue à lui seul une information pertinente. Ce sont les facultés du sonore et nos capacités auditives qui sont alors exploitées à des fins de communication et d'élaboration de savoirs. La recherche envisage ainsi trois taxonomies fonctionnelles de la sonification correspondant à ses applications : 1 – Les alarmes, alertes et avertissements 2 – les révélateurs d'état, de processus, monitoring/contrôle des messages 3 – l'exploration de données (Walker et Nees, 2001, p.12). Ces deux dernières catégories taxonomiques seront essentielles à la compréhension de la sonification en art. On retrouve la fonction de contrôle des messages dans les œuvres sonores performatives et interactives (Alvin Lucier, *Music for Solo Performer* (1965), David Rockeby, *Very Nervous System* (1982-1991), Peter Sinclair, *RoadMusic AutoSync*, 2008-), et l'exploration des données dans toutes celles qui se saisissent de données physiques ou abstraites imperceptibles avant que le son ne leur donne forme (toutes les œuvres étudiées dans cette thèse).

1.3.4 Le monocorde de Pythagore

Si l'apparition de la sonification comme champ de recherche est corrélative des développements de l'informatique, sa fonction exploratoire existe au moins depuis Pythagore (c-580-500 av JC)²⁹ (Grond et Schuberg-Minski 2009) qui incarne l'une des figures les plus anciennes au sein du récit historique de la discipline. Nicomaque de Gêrase³⁰ (2^e siècle av. JC) raconte qu'en passant devant l'atelier d'un forgeron, Pythagore entendit différentes harmoniques produites par le martellement du fer sur l'enclume. Il en déduisit que les sons produits dépendaient de la masse des volumes travaillés. Habité par le désir de découvrir un instrument de mesure fiable des sons musicaux, il envisage alors la construction d'un premier

²⁹ Tout comme Socrate, Pythagore doit sa postérité aux philosophes de l'école pythagoricienne qui ont laissé des textes sur sa pensée et ses expériences, car lui-même n'a laissé aucun texte. En nommant Pythagore, on parle ici d'une école dont les expériences sont avérées par de nombreux disciples tel Philolaos et héritiers tels Platon et Aristote pour ne citer que les plus célèbres.

³⁰ Gêrase, Nicomaque de, (2e siècle av. JC) *Manuel d'harmonique et autres textes relatifs à la musique*, traduit pour la première fois avec commentaire perpétuel par Ruelle Charles-Emile (traducteur), 1880, Tiré de l'Annuaire de l'Association pour l'encouragement des Études Grecques en France. Œuvre numérisée par Marc Szwajcer.

dispositif constitué de cordes fixées sur un mur, puis tendues sous l'effet d'une masse de métal dont le poids lui permet d'établir une première relation entre la longueur de corde, la tension exercée par le poids et la note obtenue lors de la percussion de la corde. Il élabore ensuite son fameux monocorde, instrument constitué d'une caisse de résonance sur laquelle une corde unique est tendue entre une clef et un chevalet afin d'en régler la tension. En pressant la corde contre la table d'harmonie, sur un point de sa longueur (comme on le fait avec une corde de guitare) et en pinçant ou en percutant la partie restante de la longueur il obtient un son. L'écoute interactive du monocorde, lui permet d'établir une relation métrique entre l'emplacement du point de pression sur la corde, la hauteur du son obtenu, et la longueur du segment de la corde au regard de la longueur totale de celle-ci. Tierce, quarte, quinte, octave... sont ainsi mathématiquement établies³¹. Cette expérience marque la genèse des relations intimes entre musique et mathématique en Occident, entre perception auditive et savoir quantitatif. Ce récit marque aussi l'une des premières expériences scientifiques de sonification où l'écoute informe le chercheur Pythagore sur la structure physique de la matière. On est dès lors dans ce que la recherche en sonification nomme l'exploration des données (data mining)³² où le son est aujourd'hui utilisé pour révéler des saillances au sein de cette production massive d'informations qui touche tous les domaines de la société.

1.3.5 Audification et sonification par mise en correspondance : les deux grandes orientations de la sonification illustrées par deux instruments, le stéthoscope et le compteur Geiger.

³¹ En réalité ce récit est vertigineux car il contient en germe l'origine même des mathématiques mais détermine aussi et simultanément le canon à partir duquel une grande partie de l'art occidental s'est développé. Concernant la musique, il propose le récit fondateur de la gamme qui déterminera les règles de la musique occidentale jusqu'à aujourd'hui, véhiculée par le premier traité d'harmonique de Nicomaque de Gérase, qui sera suivi par de nombreux ajustements au gré des développements instrumentaux, culturels et musicaux. En quantifiant et en attribuant des valeurs numériques au phénomène physique, esthétique et divin qu'est le son, cela a conduit à la transposition de ces valeurs et de ces proportions à d'autres domaines. C'est ainsi que le canon des harmoniques musicales est tout d'abord transposé au cosmos d'où naît la notion de musique des sphères puis, par le nombre d'or, au canon des arts de la poésie, de l'architecture, de la sculpture, de la peinture.

³² Expression imagée anglophone qui évoque une approche géologique des productions exponentielles des données.

Plus proche de nous, parmi les dizaines de dispositifs auditifs expérimentés au XIXe et au XXe siècle, il en existe deux qui symbolisent les deux orientations majeures de la sonification. D'une part le stéthoscope, dont l'invention revient à Laennec en 1816, qui permet grâce à l'auscultation de « voir » l'intérieur des corps, et d'autre part le compteur Geiger qui rend compte de la mesure des rayonnements ionisants dont l'invention en 1913 revient à Hans Geiger. Le premier met en place une approche tactile et indicielle dont l'amplification permet l'exploration et la production d'une image auditive du cœur, des poumons, de la circulation sanguine... Quant au deuxième il rend compte de l'intensité d'une énergie ionisante mettant en correspondance des sons qui n'ont pas de relation indicielle avec leur source mais une relation symbolique. L'intensification des clics exprime l'augmentation de la radioactivité d'un environnement mais les sons ne rendent pas littéralement audibles les ondes électromagnétiques de très haute intensité; ils ne font que signaler leur présence et leur quantité. Dans le premier cas on rend directement audible un phénomène physique grâce à une instrumentation immédiate. On retrouve ici l'*audification* qui rend compte directement et analogiquement d'un mouvement matériel. Dans le deuxième cas on rend perceptibles des quantités physiques (l'intensité ionisante) que l'on met en correspondance avec des sons qui en révèlent un des aspects. On retrouve ici la *sonification par mise en correspondance*. D'un côté une relation indicielle, de l'autre une relation symbolique³³.

Si on comprend intuitivement comment l'auscultation par amplification nous permet d'entendre l'intérieur d'un corps, aujourd'hui l'audification nous permet d'accéder, grâce au développement de diverses technologies, à des réalités physiques qui échappent presque totalement à notre appareillage sensoriel s'il n'est justement pas appareillé par des prothèses technologiques adaptées. Il en est ainsi de la captation de toutes les ondes électromagnétiques

³³ Ces deux notions issues de la sémiologie seront récurrentes tout au long de ce texte. Conçues par Charles Sander Peirce elles sont désormais entrées dans le langage courant et ne feront pas l'objet d'un développement sous l'angle de la sémiologie mais seront plutôt instrumentalisées pour explorer les deux approches de la sonification. Rappelons brièvement ici les définitions que Peirce en donne. « Un indice est un signe qui renvoie à l'objet du fait qu'il est réellement affecté par cet objet. (...) l'indice n'est pas la réplique d'un objet, puisqu'il est sa modification réelle par l'objet. (...) Le symbole est un signe qui renvoie à l'objet en vertu d'une loi (association d'idées) qui fait que le symbole est interprété comme se référant à l'objet. » Gérard DELEDALLE, « PEIRCE (C. S.) ». In Universalis éducation [en ligne]. Encyclopædia Universalis, consulté le 14 mai 2017. Disponible sur <http://www.universalis-edu.com.proxy.bibliotheques.uqam.ca:2048/encyclopedie/charles-sanders-peirce/>

et mécaniques qui s'inscrivent elles aussi dans ce que l'on nomme l'*audification* qui est une sous-catégorie taxonomique de la sonification. Par ailleurs le compteur Geiger est lui aussi très intuitif et l'on comprend bien comment l'intensification périodiques des clics correspond à l'augmentation de l'énergie ionisante émise par un environnement. Cependant le principe de *la sonification par mise en correspondance* utilisée dans le compteur Geiger peut être infiniment plus subtil en fonction de la complexité des phénomènes étudiés par exemple dans les domaines de la biologie, de la météorologie ou encore de la géologie.

1.3.6 Des installations qui explorent l'audification et la sonification par mise en correspondance.

On peut transposer ces deux grandes orientations de la sonification dans les pratiques artistiques. Parmi les œuvres qui seront étudiées un certain nombre appartiennent *a priori* à l'audification. On retrouvera cette pratique dans *Le Souffle de la Terre* (Abenavoli, 1999 - 2007), qui rend perceptibles les ondes sismiques ; *l'Optophone* (Hausmann, 1922) qui donne à entendre les ondes électromagnétiques de la lumière visible ; *VLF Natural Radio* (Aubé, 2000-2004) qui rend perceptibles les ondes électromagnétiques naturelles de basses fréquences ; *Electrical Walks* (Kubisch, 2004) qui produit des paysages sonores à partir des ondes électromagnétiques du paysage technologique urbain ; *VERTICALE* (Abenavoli, 2014-2015) qui rend sensible le flux de la montée de la sève dans un arbre (Chapitre 5). Il y a d'autre part des données qui peuvent être issues de phénomènes physiques mais pas exclusivement, dont les mesures, c'est-à-dire la description quantitative, serviront de partitions codées dont les données seront *mises en correspondance* avec des paramètres sonores eux mêmes construits au regard de l'intention formelle que l'artiste souhaite attribuer à ces données. Parmi les œuvres étudiées qui aspirent à produire des formes sonores à partir de données quantitatives non sonores, on étudiera *Bondage* (Tanaka, 2004), *l'Origine des espèces* (Robert, 2006), *Genesis* (Kac et Gena, 1999)³⁴, *La Harpe à nuages* (Reeves, 1997), *SIGNE* (Heimbecker, 2008) (Chapitres 4 et 5).

³⁴ L'auteur de *Genesis* est Eduardo Kac. Peter Gena est le compositeur qui a réalisé la sonification de *Genesis*.

1.3.7 La sonification, une visualisation auditive

À l'aune de cette introduction à la sonification on peut maintenant aborder sa définition proposée originellement par Kramer et désormais largement admise par la communauté scientifique :

Sonification is the use of nonspeech audio to convey information. More specifically, sonification is the transformation of data relations into perceived relations in an acoustic signal for the purposes of facilitating communication or interpretation.³⁵ (Thomas Hermann).³⁶

On pourrait dire que la fonction de la sonification produit une forme de *visualisation auditive de toutes sortes de données* grâce à un ensemble de *dispositifs techniques et conceptuels de représentation sonore*. Elle consiste à produire des objets sonores qui rendent audibles des données issues de phénomènes physiques ou abstraits non-sonores qui ne seraient pas perceptibles autrement. La sonification a pris un essor considérable durant les vingt dernières années, essentiellement à cause de la quantité exponentielle de données produites par les calculateurs numériques dont le traitement ne peut plus se satisfaire des seules représentations visuelles et/ou linguistiques qui sont devenues insuffisantes ou inopérantes à traiter ces informations temporelles.

1.3.8 La place de la sonification dans cette thèse

La sonification s'est invitée dans cette thèse comme terme, comme technique, comme discipline de recherche théorique et pratique neutralisant les termes historiquement chargés de figuration et de représentation. Cependant sa définition et son emploi sont, encore aujourd'hui, essentiellement pris en charge par la recherche scientifique même si certains artistes-chercheurs sont des acteurs importants dans la définition du domaine (Florian Grond, Peter Sinclair, Stephen Barrass, Florian Dombois, Marcus Maeder, pour n'en citer que

³⁵ sonification.de - <http://sonification.de/son/definition> - Thomas Hermann's research on *Sonification, Data Mining and Ambient Intelligence* - Update: Nov 3rd, 2010

³⁶ La sonification est l'utilisation de signaux sonores non-verbaux permettant de véhiculer de l'information. Plus précisément, la sonification est la transformation de relations de données afin que celles-ci deviennent perceptibles sous forme sonore dans le but d'en faciliter la communication ou l'interprétation. Trad. de Lorella Abenavoli. <http://www.icad.org/node/400> -

quelques-uns). S'il arrive dans la pratique, à l'occasion de collaborations, qu'artistes et scientifiques expriment une aspiration commune quant à la faculté du médium son de révéler des dimensions inaccessibles et inouïes, cette aspiration n'emprunte que très exceptionnellement des chemins communs étant donné la différence de leurs paradigmes disciplinaires. Ce texte de thèse aspire à élargir la définition de la sonification au sein des arts audio et plus particulièrement au sein des arts de l'espace et de l'installation. En retour, il vise aussi et surtout à élargir le territoire de l'art audio en y incorporant la sonification comme branche spécifique du domaine. C'est l'un des défis et l'une des problématiques majeures de ce texte : s'approprier ce terme et le redéfinir dans un contexte de production artistique.

1.3.9 Sonification versus so(g)nification

Ce "g" accidentel qui est venu à de nombreuses reprises se glisser au cœur du mot "sonification" dès l'origine de la rédaction de cette thèse pourrait être envisagé comme un néologisme qui fait entrer de plain pied la sonification dans le domaine de arts et en retour l'art dans la sonification. Cependant, bien que ce lapsus si(g)nifiant ait ponctué l'ensemble de mes brouillons, il n'a pu prendre place qu'au dernier chapitre et dans la conclusion de cette thèse, une fois que la sonification a été analysée au sein des œuvres du corpus. Ce "g", qui introduit la dimension onirique et sensible³⁷ de la sonification, annonce l'écart poétique qui sépare la sonification telle qu'elle est définie et utilisée par les sciences et telle qu'elle est travaillée dans les arts. Les chapitres 4 et 5 consacrés à l'analyse de la sonification dans de nombreuses installations éclaireront cette intuition d'abord fondée sur l'expérience de cette pratique.

1.4 La médiologie comme cadre méthodologique et épistémologique

"D'un point de vue paléontologique, l'acte technicien est matriciel. C'est de lui que tout part, si l'on admet avec Leroi-Gourhan, que l'anthropogénèse est une technogénèse. Tout et d'abord la libération du dedans par le dehors, - du silex au silicium, de la clepsydre à la montre à quartz -, grâce à « cette propriété unique que l'homme possède de placer sa mémoire en dehors de lui-même dans l'organisme social ». Or cette mémoire est déjà une accumulation de programmes de

³⁷ So(g)nification réunit la sonification, le songe et la signification ou encore le(s) sens.

comportements, de gestes en puissance, et donc une information symbolique matérialisée." (Régis Debray 2000 p.53)

1.4.1 Entre phénoménologie et philosophie des techniques en France

À l'orée du 20^e siècle, en réintroduisant le sensible au cœur de la pensée philosophique occidentale, la phénoménologie ouvrait aussi la voie d'une pensée de la matière. Notre corps devenait une partie du monde, grâce auquel nous pouvions avec Husserl recommencer à penser notre relation avec celui-ci. Ce mouvement philosophique ouvrait la voie à une pensée de la matière où la "chair du monde" (Merleau-Ponty) constitue le substrat de notre spiritualité. C'est ainsi qu'assez naturellement la pensée occidentale s'est mise à re-questionner la technique non plus comme un champ périphérique de la pensée mais comme condition de la pensée même. L'anthropologie avec Leroi-Gourhan, l'histoire des techniques avec Bertrand Gilles et la philosophie avec Gilbert Simondon posent ensemble la technogénèse comme une anthropogénèse inversant les valeurs de la pensée occidentale : il n'y a pas de texte parce qu'il y a une pensée qui s'exprime mais il y a une pensée parce qu'il y a un texte qui s'imprime. En somme donner forme à la matière c'est construire notre hominisation. La notion d'objet technique s'étend avec Bernard Stiegler (1994-1996) jusqu'au langage, ce dernier apparaissant ainsi comme une construction complexe, certes, mais technique. D'une transparence absolue du langage, Stiegler le transforme en un médium opaque, matériellement construit, qu'il soit parole dans l'oralité ou qu'il soit écriture, il se transmet grâce à la matière par laquelle il prend forme : l'air ou le papier, constituant ainsi notre mémoire externe, condition de la transmission entre les générations, de notre individuation psychique et collective (Simondon, 1964/1995). Ce dernier, quant à lui, développe une théorie de l'ontogénèse autour de notions complexes parmi lesquelles l'individuation pose l'humain comme un être non fini en constante individuation au sein d'un système fluide qu'il organise et qu'il entretient.

1.4.2 Introduction à la médiologie

La médiologie se construit sur ce terreau philosophique et scientifique français et servira dans cette thèse de cadre épistémologique induisant la méthode d'analyse du corpus des œuvres choisies. La médiologie naît en 1991 avec la publication du *Cours de médiologie générale* de

Régis Debray (1991) auteur de ce néologisme. Medio- renvoie au médium, concept et notion qui se distinguent des médias, et la médiologie est le discours qui s'élabore autour et à partir de cette notion. "On veillera d'emblée à soigneusement dissocier : le médium (la notion construite, et donc non évidente, de dispositif véhiculaire), des médias (contraction de l'anglo-latin mass media, pour "grand moyen d'information") (Régis Debray, 2000, p.31). C'est dans son *Introduction à la médiologie* (2000) éditée en 1999 qu'il en expose les objectifs, la problématique, son positionnement au sein des disciplines de recherche et son vocabulaire, en la proposant comme méthode d'une discipline nouvelle. Il en développe les fondements et en précise le contenu dans des ouvrages successifs jusqu'à en explorer collectivement sa pertinence, accompagné par de nombreux auteurs³⁸, dans les *Cahiers de médiologie* dont le premier numéro paraît en 1996. Discipline nouvelle et méthodologie de recherche, le concept de médium forme le cœur de son système et sa périphérie. C'est à partir de celui-ci que la médiologie se donne comme premier objectif de comprendre comment l'humain transmet. "Après deux siècles d'effort, nous connaissons déjà assez bien l'homme qui parle (linguistique), désire (psychanalyse), produit (économie), s'agroupe (sociologie), [...] À quel "sujet" la médiologie a-t-elle à faire ? [...] elle s'intéresse plus particulièrement à *l'homme qui transmet.*" (Debray, 2000, p.53). En effet la médiologie se présente comme la genèse d'une discipline qui étudie les faits de transmission, enjeu du devenir de l'humain. C'est avec cette préoccupation comme horizon que Régis Debray élabore cette discipline. Cette thèse reprend à son compte cet objectif et une partie de sa méthode.

1.4.3 Le système médiologique

"Le silex poli prolonge le polisseur, et on peut voir dans l'outil le plus rustique, un passeur silencieux, le plus ancien de nos anciens testaments" (Debray, 2000, p.19). Le premier outil n'est donc plus seulement affilié ici au champ de l'histoire des techniques, mais il devient un support de mémoire qui transmet d'une génération à l'autre, une culture et un savoir, capitalisant dans sa forme l'énergie et la connaissance déployées par son producteur. Le

³⁸ Daniel Bougnoux, Louise Merzeau, Catherine Bertho-Lavenir, Monique Sicard, François Bernard Huyghe, Pierre Levy, Serge Tisseron, Bernard Stiegler, Dominique Païni, Elie During de très nombreux autres.

médium est donc d'abord un objet technique in-formé qui contient un savoir gestuel et spirituel, une mémoire matérielle ou encore ce que Bernard Stiegler nomme une rétention tertiaire³⁹ qui transmet du spirituel. On retrouve aussi dans l'exemple du silex poli les notions de prothèse et d'objet technique : le premier évoquant le prolongement de notre corps entre soi et le monde à transformer et en transformation, le second envisageant toute production humaine comme "techne", du silex au texte, médium souvent invisible tant il nous est familier, cependant condition matérielle de notre individuation. Ainsi le médium concerne « tout ce qui a trait à la dynamique de la mémoire collective ». « Faire apparaître des médiations côté "technique", là où on n'en voit pas ou plus côté "culture", sera donc le premier moment de la démarche (...) établir des corrélations entre nos "fonctions sociales supérieures" (science, religion, art, idéologie, politique) et nos procédés de mémorisation, représentation et déplacement. » (Debray, 2000, p.70). Révéler cette part d'inconscient technique qui constitue notre écologie culturelle afin de comprendre comment l'humain transmet et outrepassé son statut de mortel est l'objectif de la médiologie. Cela rejoint l'aspiration profonde de cette thèse : faire apparaître les constructions invisibles, parfois inconscientes, inhérentes aux dispositifs des œuvres en art audio et électronique.

Afin de donner un exemple du processus d'analyse du médium (de la médiologie), prenons ce texte, à l'instar de Régis Debray. Ce que je lis me donne à penser. La condition première de cette pensée en acte est avant tout sa "forme", sur son support de papier ou sur mon écran. Sans support pas de texte. Mais ce qu'induit aussi l'existence de ce texte c'est un auteur et un lecteur, une langue commune définissant une communauté linguistique, relayée ici dans notre culture occidentale francophone, par des institutions : les écoles qui nous transmettent la lecture et l'écriture, les bibliothèques qui conservent et gardent dans leurs murs les écrits de plusieurs générations, une industrie du papier, de l'imprimante et de l'informatique, l'université qui valide ma recherche qui se déploie dans ce texte, un pouvoir politique qui

³⁹ La rétention tertiaire désigne le troisième niveau de la mémoire, extériorisée, incluant tous les objets techniques, c'est-à-dire absolument toute production humaine. Il développe ce concept qui constitue l'une des pierres angulaires de sa théorie, à l'issue de l'analyse de la perception engagée par Husserl dans son analyse de la mélodie. (Stiegler, 1996) *La Technique et le temps, La désorientation*, Vol. 2, Galilée, Paris, 281p.

organise ces institutions, leur pérennité et leur transformation. Chacune des entités citées précédemment prend corps le plus souvent dans des bâtiments réels dont l'architecture symbolique assoie leur autorité et leur organisation. C'est ce que Régis Debray appelle d'une part la matière organisée (MO) : livre, technique d'écriture, architecture et d'autre part l'organisation matérialisée (OM) : école, bibliothèque, université, ministère, gouvernement. On voit dans cet exemple comment le déploiement du système qui rend possible l'acte d'écrire et de lire est complexe et construit, et ne tient pas seulement dans l'esprit de son auteur mais dans ce qui a rendu possible le partage de cet esprit. La médiologie construit ainsi un vaste système à partir du concept de médium, qui lorsqu'il est déplié, révèle la complexité de l'organisation humaine qui le produit, le conserve et le transmet. Selon Debray l'humanité évolue au sein de systèmes médiologiques englobants (qu'il nomme les sphères spatio-temporelles) dominés par un médium, au cœur desquelles se constitue une culture, inconsciente de ses propres outils tant elle s'identifie à eux. L'histoire de ces sphères ou ères paradigmatiques sont aujourd'hui selon Debray au nombre de cinq : la mnémosphère, la logosphère, la graphosphère, la vidéosphère et l'hypersphère.

1.4.4 Audiosphère, paysage sonore⁴⁰ et sonosphère

Debray inclut dans la vidéosphère tout ce qui est de l'ordre de l'audio, cependant ce médium mérite une place autonome à l'égal de la vidéo. Peu importe à ce stade de cette étude qu'il ait un statut de médium dominant ou non, il est en tout cas un médium omni-présent et englobant au sens propre comme au sens figuré. Ainsi on nommera l'*audiosphère*⁴¹, la sphère des matières organisée (MO) et des organisations matérialisées (OM) qui concourent, grâce aux technologies de production, de conservation et de diffusion du son, à produire des formes sonores. Ainsi, c'est au sein de l'audiosphère artistique et plastique, c'est-à-dire des procédés,

⁴⁰ « Le paysage sonore » est la traduction consensuelle de *soundscape*, terme et discipline introduits par R. Murray Schafer. Schafer, R. Murray et Gleize, Sylvette trad. (1979 et 1991) *Le paysage sonore, Le monde comme musique*, Ed. Wildproject 2010, France 411p.

⁴¹ Vincent Tiffon a élaboré la notion d'audiosphère dans ses textes critiques concernant les musiques électro-acoustiques. (Tiffon, 2008) <http://www.ems-network.org/ems08/papers/tiffon.pdf> consulté le 18 août 2016.

procédures et processus⁴² techniques du sonore utilisés par les artistes contemporains, que nous nous demanderons *comment* certaines œuvres de l'art audio proposent des images auditives qui, tout à la fois, le construisent, le décrivent et le renouvellent poétiquement.

Il est impossible en abordant cette jeune notion d'audiosphère de faire une impasse sur celle de *soundscape* ou de *paysage sonore*. Le paysage sonore de l'Occident depuis le XIXe siècle s'est considérablement complexifié à l'image des paysages techniques et culturels. Dans les années 1970 une *écologie du sonore* s'est constituée sous l'impulsion du compositeur et chercheur canadien Raymond Murray Schafer, entreprise relayée par de nombreux centres de recherches internationaux. Cette nouvelle discipline de recherche a d'abord été désignée par le terme de *soundscape* désignant selon son auteur « L'environnement des sons. Techniquement, toute partie de cet environnement pris comme champ d'étude. Le terme s'applique aussi bien à des environnements réels qu'à des constructions abstraites, telles que des compositions musicales ou des montages sur bande, en particulier lorsqu'ils sont considérés comme faisant partie du cadre de vie. »⁴³ (Schafer, 2010, p.384) Avec le temps ce mot a désigné aussi des pratiques musicales, performatives et installatives, intégrant l'enregistrement d'environnements sonores⁴⁴ s'inscrivant au sein d'une pensée écologique. Il désigne aussi de façon très large les dispositifs d'écoute enveloppant le public et proposant des traitements spatiaux qui renvoient à la notion de paysage⁴⁵. La démarche de Murray Schafer a avant tout une valeur prescriptive : construire un archivage mondial des sons du monde, dans une perspective écologique, au sein d'un vaste projet de design sonore, à l'instar d'un Bauhaus du sonore. Ma thèse ne s'inscrit pas dans cet objectif prescriptif. Pourtant une partie des œuvres sonores de ma pratique et de mon corpus interrogent la notion de paysage.

⁴² Didi-Huberman, Georges (2008) *La ressemblance par contact Archéologie, anachronisme et modernité de l'empreinte* Les Éditions de minuit Coll. Paradoxe Paris

⁴³ Citation extraite du Glossaire d'écologie sonore. (Schafer, 2010)

⁴⁴ Cette pratique est communément appelée le « field recording ».

⁴⁵ Brandon Labelle artiste et théoricien a participé activement à la définition des sons environnementaux comme matière artistique dans deux livres : *Background noise, perspective on sound art* (2007) Ed. The continuum international publishing Group Inc et *Acoustic territories/Sound culture and every day life* (2010) Ed. The continuum international publishing Group Inc

En effet elles donnent accès à des phénomènes inaudibles de notre environnement qui n'en demeurent pas moins des paysages naturels ou artificiels que le son construit et révèle.

Les termes de *paysage sonore* et *d'environnement sonore*, qui ont été consensuellement choisis pour traduire le terme de *soundscape*⁴⁶, sont englobés par un troisième terme, la *sonosphère*, qui « embraces a full sweep and barrage of energies, including the magnetic, electrical, electromagnetic, geomagnetic, and quantum, as well as the acoustical ». (Kahn, 2013, p.174). Ce terme que Douglas Kahn emprunte à Pauline Oliveros recouvre l'ensemble des pratiques d'audification que cette thèse explorera, sans leur attribuer de valeur prescriptive. On y reviendra dans la chapitre 5. Outre cette définition, le terme même évoque avec grâce la forme même de l'expansion du volume sphérique de l'onde sonore et contient aussi l'idée d'une matière englobante, d'un milieu.

1.4.5 Le médium de la médiologie versus le médium en art

Le terme de « médium » défini en début de chapitre visait à identifier ses multiples facettes dans le contexte de l'œuvre d'art, en vue de circonscrire l'objet de cette thèse : le *médium son* au sein de la *sonification*. Ce n'est pas un hasard si la médiologie, qui place la notion de médium au cœur même de son appellation, s'est imposée comme cadre épistémologique. Dans les deux cas *le technique* est convoqué pour décrypter les contenus opaques d'une part dans les œuvres d'art audio pour ma thèse et d'autre part dans nos environnements culturels pour la médiologie. Cependant on comprend que ce même terme répond à deux nécessités conceptuelles différentes. Ce paragraphe essaie de saisir comment le médium de la médiologie vient étayer le discours sur le *médium son* des œuvres étudiées.

« La médiologie propose une nouvelle façon d'écrire le monde et de raconter des histoires selon une logique ternaire (le médium inclus) et non plus binaire en prenant congé du sol grec. » (Debray, 2000, p.170). La logique binaire incarnant le clivage corps-esprit ou matière-esprit ou encore une frontière entre un intérieur et un extérieur tandis que la logique ternaire introduit une autre dialectique qui pourrait prendre une forme circulaire et dynamique entre le

⁴⁶ Ibid. le titre même de l'ouvrage français est *Paysage sonore*, qui ne traduit pas le titre original *The Tuning of the World* mais l'idée qui se trouve au cœur de cette discipline.

corps, le médium et l'esprit. Schéma que l'on retrouve dans les neuro-sciences chez Francisco Varella⁴⁷ et dans sa thèse de l'énaction ou encore chez Gilbert Simondon dans sa thèse sur l'individuation, où l'individu s'élabore dans une relation dynamique à son milieu, lequel se voit modifié en retour. En médiologie, ce rapport dynamique transite dans et par le "médium", dans l'objet technique que l'humain façonne, et qui prend ici la place du tiers ou encore "du dispositif véhiculaire" (Debray, 2000, p.31) entre l'individu et le monde, entre l'individu et la société, formant ainsi une mémoire individuelle et collective, un testament et un héritage.

"the" *médium* n'existe pas *per se*, comme unique et visible en soi. C'est un mot traquenard. Il désigne en effet plusieurs réalités de nature différente. Elles ne se contredisent pas, se superposent souvent mais ne peuvent en aucun cas se confondre. Un médium peut désigner: 1/ un *procédé général de symbolisation* (parole articulée, signe graphique, image analogique) ; 2/ un *code social de communication* (la langue utilisée par le locuteur ou l'écrivain); 3/ un *support physique* d'inscription et stockage (pierre, papyrus, support magnétique, microfilms, CD-ROM), et 4/ un *dispositif de diffusion* avec le mode de circulation correspondant (manuscrit, imprimerie, numérique). (Debray, 2000, p. 35)

Ces quatre « réalités » du médium de la médiologie semblent trouver leur corollaire dans celles du médium en art, tel qu'il a été énoncé plus haut (p.3 à 6). Tentons de les transposer à l'œuvre sonore.

1/ Le médium est d'abord "*Un procédé général de symbolisation* (parole articulée, signe graphique, image analogique)". Si pour la parole articulée par exemple, le procédé est une construction implicite, quel est ce procédé général de symbolisation pour l'œuvre sonifiée? Le procédé général de symbolisation est l'œuvre elle-même dont la forme sonore, image temporelle a un référent dans le monde "réel" dont certains éléments ont été captés et transformés afin d'en faire une forme symbolique. Le procédé semble ainsi être la matière informée qui conduit à la forme sonore de l'œuvre.

⁴⁷ Francisco Varela (1946-2001) était neurobiologiste et philosophe. Il a été l'un des premiers à adopter une approche interdisciplinaire dans le domaine des sciences cognitives, introduisant la phénoménologie au sein de la neurologie, nommée ultérieurement la neuro-phénoménologie s'opposant au computationnalisme. Il crée le concept d'énaction qui désigne le processus de connaissance qui caractérise l'être humain : l'action modifie la structure interne de l'individu qui à son tour agit sur son milieu. Il ne sépare pas le corps de l'esprit et étudie à partir d'une imagerie médicale les modifications que le corps subit lorsqu'il est en action.

2/ Le médium est ensuite "*un code social de communication* (la langue utilisée par le locuteur ou l'écrivain)". Qu'en est-il dans l'œuvre d'art? Prenons l'exemple de la perspective. La représentation perspectiviste est un code social. Il est un système complexe et sophistiqué qui s'est affirmé à la Renaissance et qui a pris un essor universel difficilement prévisible, en traversant les médiums : peinture, photo, cinéma, vidéo. Il est moins facile d'identifier un code interne aux œuvres abstraites. Une approche médiologique de ces formes d'art nous apprendrait que l'œuvre n'est pas seulement dans l'œuvre mais dans tout ce qui la constitue comme œuvre : école, musée, économie, rituels, littérature spécialisée. Cependant même si l'on connaît le code, on n'a pas forcément accès au symbole. Ce n'est pas parce que je peux identifier les éléments représentés dans le *Portrait dit "des époux Arnolfini"* (1434) de Jan van Eyck, que je peux interpréter le tableau. Connaître le code constitue une condition première mais insuffisante. Le code est le plus souvent invisible ou inconscient parce qu'il est intériorisé. Je ne me dis pas en regardant un film : je suis en train de regarder une image animée en perspective. Je regarde phénoménologiquement un film. Cet aspect du médium est crucial pour ma thèse : une de mes hypothèses est que le code des œuvres qui utilisent la sonification n'est pas encore connu ou plutôt reconnu et intériorisé. Révéler, à travers l'étude des dispositifs des œuvres, les codes sous-jacents à celles-ci est l'objectif de cette thèse. Le parcours entre la forme de l'œuvre perçue et les matières informées pour la rendre perceptible, est le chemin à parcourir.

3/ Le médium est ensuite "*un support physique d'inscription et stockage* (pierre, papyrus, support magnétique, microfilms, CD-ROM)". Le son nécessite un support physique d'inscription et de conservation, un lecteur qui décode cette inscription, un réseau électrique qui permet à un système matériel électronique de transmettre un mouvement à des haut-parleurs qui donneront naissance au flux sonore. Ce dispositif sera analysé dans la thèse car c'est bien grâce à une histoire des techniques électroniques et du son que cet art a pu voir le jour et que c'est dans une compréhension de la façon dont les artistes s'en sont emparé qu'on pourra comprendre comment cette forme symbolique se construit tout en construisant une image du monde, liée donc profondément au point 1, au "procédé général de symbolisation".

4/ Enfin le médium est "*un dispositif de diffusion* avec le mode de circulation correspondant (manuscrit, imprimerie, numérique)." Ce quatrième point concerne le livre. Qu'en est-il de

l'œuvre d'art installative? L'œuvre d'art est unique même si son médium incorpore des moyens reproductibles. Chaque exposition est un acte artistique unique d'autant plus pour les œuvres temporelles installatives ou performatives que pour les œuvres "fixes". Un dispositif de diffusion pour une œuvre ce sont les lieux de son exposition : galerie, musée, espaces communs ou publics qu'ils soient alternatifs ou officiels. Pour les œuvres en art audio il y a aussi le net et la radio. Les éditions papier, supports numériques, sites d'artistes ou sites spécialisés participent aussi à la diffusion de l'œuvre. La médiatisation d'une œuvre lui donne une valeur et permet sa dissémination. Médiologiquement parlant, toutes ces sphères (grapho, vidéo, hyper) construisent l'environnement de l'œuvre et ses lieux de circulation. Cependant pour l'artiste de l'installation sonore les premiers lieux de circulation sont ceux de l'exposition de l'œuvre où elle existe pleinement et peut être vécue telle qu'il l'a imaginée. L'enjeu du médium tel qu'il est défini dans cette quatrième partie sera moins abordé dans cette thèse même si la question très actuelle de l'inadéquation des espaces de "monstration" des œuvres d'art audio est problématique et participe d'une méconnaissance de ce médium.

Le médium tel que le définit la médiologie recoupe ainsi certains aspects du médium de l'art. Cependant je ne transposerai pas l'ensemble du système médiologique aux œuvres d'art étudiées mais seulement la part qui en révélera la structure, les systèmes et les dispositifs de sonification mis en œuvre. En ce sens la médiologie ne constitue pas le cadre méthodologique *stricto sensu*. En revanche il constitue le cadre épistémologique, l'horizon intellectuel, qui légitime, dans le contexte universitaire, l'orientation de ma recherche qui vise à mettre en lumière et à décrire l'émergence d'un dispositif technique et conceptuel sonore.

1.5 Méthode et plan de thèse

1.5.1 Le choix d'un corpus

L'angle d'approche étant posé il faut dès maintenant l'adoucir, le préciser et le mettre en perspective de ma pratique et des œuvres convoquées dans cette thèse. En découvrant le domaine de la sonification il fallait faire un choix : soit choisir des œuvres qui illustraient la théorie, soit partir des œuvres et identifier comment la sonification opérait en elles. C'est la deuxième option qui a été retenue.

Le choix du corpus s'est enrichi tout au long de la thèse au gré de l'exploration et des découvertes faites quant à la sonification. Etant donné que l'une des questions essentielles de la thèse sera de comprendre comment les artistes élaborent, à travers la pratique de la sonification, des correspondances entre, au départ, des sources physiques ou abstraites et, à l'arrivée, des images auditives qui les représentent, le corpus s'est constitué en choisissant des œuvres sonores dont les sources étaient variées. À titre d'exemple et sans les citer toutes, mon œuvre *Le souffle de la Terre* (1999-2007) sonifie les ondes sismiques, *Sketches of moving equations* (2012) de Florian Grond sonifie une équation mathématique, *Saves the Waves* (2004) de Jean-Pierre Aubé sonifie les ondes électromagnétiques naturelles qui parcourent la magnétosphères, *L'origine des espèces* (2006) de Jocelyn Robert sonifie le code source d'un fichier d'une photographie numérique, *SIGNE* (2008) de Steve Heimbecker sonifie les courants éoliens etc. Et c'est bien l'analyse du traitement technique et conceptuel de la diversité de ces sources qui permettra d'élaborer *in fine*, aux chapitres 4, 5 et en conclusion, des schémas de pratique récurrents chez les artistes sonores posant ainsi les bases théoriques de la sonification en art.

1.5.2 Le plan de la thèse

Le dialogue tendu entre la recherche d'une règle qui traverse l'ensemble des productions artistiques et l'hétérogénéité de ces productions a d'ailleurs été la gageure de ce travail. Si le point de mire de la méthode a été inspiré par la médiologie, la méthode, quant à elle, a été ponctuée de stratégies simples, nombreuses, rhizomatiques. On n'évoquera ici que les méthodes qui ont été récurrentes, qui se sont imposées pour la construction du plan de ce texte, en laissant pour compte les chemins de traverses, les sables mouvants, les théories parfois lumineuses, les rêveries, les multiples schémas... pourtant tout aussi nécessaires.

L'articulation de la pratique et de la théorie a déterminé le plan et la chronologie des chapitres. L'une et l'autre se sont élaborées au sein d'un différé inévitable au regard de l'impossibilité que j'aie eu de mener simultanément une pratique de l'écriture et une pratique plastique.

Ainsi la thèse a d'abord pris racine dans *Souffle de la Terre* (2000-2007) réalisé en amont de celle-ci. Le chapitre 2 lui est consacré ainsi qu'à ses différentes versions afin de faire

apparaître les bases techniques et conceptuelles qui exposent une première dimension singulière et subjective d'une pratique maîtrisée de la sonification. Ce travail est réalisé à partir d'une documentation importante glanée et conservée tout au long de ce projet, des archives des œuvres, des logiciels, des programmes, des mémoires des étudiants qui ont travaillé sur le projet.

Le chapitre 3 expose l'histoire de la sonification, l'état de la recherche et tente un premier rapprochement de ses différentes taxonomies techniques avec de nombreuses œuvres. Une fois identifiée, en 2010, la sonification comme champ de recherche englobant le système de représentation auditif que je souhaitais explorer dans la thèse, le premier travail fut d'en appréhender sa jeune histoire, d'en comprendre les enjeux techniques, d'en connaître les différents champs d'application à l'aide de nombreux textes et articles scientifiques accessibles en ligne pour la plupart. En 2011 la publication du *Sonification Handbook* (Hermann, Hunt et Neuhoff, 2011) fut un cadeau qui offrait la synthèse de 20 années de recherche devenant ainsi le texte de référence pour cette thèse. Ayant l'intuition des frontières de cette discipline avant même d'en connaître les recherches théoriques, un corpus avait déjà été partiellement établi. La visite d'expositions, la direction artistique d'Avatar, l'organisation de colloques élargirent la liste des œuvres de cette recherche. Ainsi un dialogue entre les lectures d'articles scientifiques et la création artistique constitua une autre méthode d'apprentissage et de construction théorique dont témoigne le troisième chapitre.

Le chapitre 4 met un premier corpus d'œuvres à l'épreuve des définitions de la sonification. C'est la fonction heuristique de l'écriture qui a dessiné les premiers contours d'une sonification dans le domaine de l'installation. J'ai expérimenté presque toutes les œuvres choisies et lorsque la documentation à leur sujet était insuffisante les artistes ont été sollicités lors d'entretiens, d'échanges de courriers électroniques ou d'appels téléphoniques pour saisir les dimensions techniques et comprendre la sonification que leurs œuvres respectives construisaient. Les sources de ce corpus tout comme celui du cinquième chapitre sont les expositions, les catalogues d'expositions, les monographies, les sites des artistes, les articles en ligne et les artistes eux-mêmes. Ces œuvres ont, la plupart du temps, exigé une recherche dans des champs technologiques et scientifiques avec lesquels les artistes ont travaillé. Faut-il

préciser que dans ce texte, les œuvres ont une valeur équivalente aux textes, elles n'illustrent pas un discours mais le fondent.

Le chapitre 5 poursuit ce travail en choisissant cependant des œuvres qui s'inscrivent dans mon champ de recherche ayant la particularité de révéler des phénomènes physiques temporels. Les procédures sont semblables à celles du chapitre précédent. Par ailleurs deux des artistes dont le travail est présenté (Nicolas Reeves et Steve Heimbecker) ont été des partenaires sur divers projets d'œuvres audio dont l'un est présenté dans le cadre de la thèse ; il s'agit de *VERTICALE* (Abenavoli, 2015) qui fait l'objet du dernier chapitre. Ces collaborations font partie intégrante de la méthode.

Le chapitre 6 est un retour sur ma pratique et ainsi sur la dernière œuvre réalisée au cours de ces années de recherche. *VERTICALE, L. son d. la m..té. d. .a sève d..s un a.bre au pr..temps* (Abenavoli, 2006-2014) est elle aussi réalisée sur plusieurs années. Ses procédures ouvrent de nouvelles perspectives tant sur le plan artistique que technique à la lumière du *Souffle de la Terre* (Abenavoli, 2000-2007) mais aussi d'une pratique de l'audification dont la définition a été affinée dans les chapitres précédents et qui fera l'objet d'une synthèse dans la conclusion.

CHAPITRE II

GENÈSE DE LA THÈSE : *LE SOUFFLE DE LA TERRE*

Le Souffle de la Terre est une installation sonore révélant en temps réel les mouvements de l'astre terrestre. Cette œuvre, *work in progress*, est à l'origine de cette thèse. Élaborée pendant plusieurs années depuis 1998, la première version a été réalisée en 2001, puis de nombreuses versions ont été exposées jusqu'en 2007, année de mon inscription au doctorat, marquant une approche réflexive et théorique de ma pratique. Ces réalisations ont fait l'objet d'expositions et m'ont permis de développer à chaque nouvelle version des dimensions sonores et plastiques inédites dans les versions précédentes. L'une des dimensions récurrentes dans chacune de ces versions est l'objet de cette thèse, je la nommai à partir de 2010, la sonification.

Je pratiquais la sonification bien avant de le savoir et bien avant de connaître le vaste chantier de recherche ouvert à son sujet¹. Cependant je pressentais un enjeu assez important pour entamer une thèse autour de ce que j'appelais alors "la représentation sonore" ou encore "la figuration sonore". Ce chapitre est un retour sur ma recherche artistique menée lors de l'élaboration du *Souffle de la Terre*. La première partie sera consacrée à quelques concepts qui ont fondé ce travail et qui sont nés tout à la fois de ma pratique de sculptrice et d'une culture générale ancrée dans celle-ci. Puis dans une seconde partie plus vaste, j'aborderai la mise en œuvre matérielle et logicielle de quelques-unes des réalisations du *Souffle de la Terre* en vue d'introduire la notion de sonification en art comme construction spécifique d'un art sonore.

¹ En 1992 est fondé l'ICAD, l'*International Community of Auditory Display* qui place la sonification au cœur du domaine de recherche. Voir chapitre 1 (p.16) et le chapitre 3 dédié à l'histoire contemporaine de la sonification.

2.1 Origine du questionnement et postulats de travail. Matière, énergie, Einfühlung, forme temporelle.

2.1.1 Pendant la matière² : matière et énergie

Au commencement de mon travail de sculpteur j'ai constaté que je ne pouvais envisager les matériaux traditionnels de la sculpture comme des entités inertes utilisées pour venir recevoir l'idée qui habitait mon imaginaire. La puissance et la beauté de presque toutes les *matières*, qui deviennent matériaux pour la sculpture, inhibaient presque toute action de transformation. À peu près au même moment, je vécus une expérience épiphanique déterminante qu'il m'est encore aujourd'hui difficile de formuler; j'ai senti physiquement, psychiquement puis intellectuellement appartenir à cette Matière dont le monde est fait et que malgré, bien entendu, la différence des états respectifs de tout ce qui forme le monde, nous étions traversés et mus par une vibration et une force communes que le terme d'*énergie* pouvait nommer et englober. C'est ainsi que les concepts de *matière* et d'*énergie* sont apparus corrélativement dans ma pratique en 1991 et m'ont autorisée à ouvrir la pratique sculpturale à toutes les matières en vue d'en saisir leur énergie singulière. La matière désignait ainsi tout ce qui est, condition d'existence et chair du monde; l'énergie, son corrélat, nommant alors ce battement immatériel et invisible, cette palpitation omniprésente. À partir de ce postulat, je me suis demandée quel serait dorénavant mon travail de sculpteur. Comment pourrai-je désormais élaborer une *forme*? Je pensais que si une énergie commune traversait tout ce qui est, mon travail consisterait alors à entrer en relation, grâce à la sculpture, avec cette vibration universelle. Je conçus alors mon projet de sculpteur et je sentis que ma responsabilité d'artiste serait désormais de tenter de donner corps à la *forme* énergétique contenue en puissance dans la matière, une forme que j'atteindrai grâce à un travail lent et attentif à « l'être » de celle-ci.

Ces concepts m'ont ainsi permis d'embrasser le monde de la matière à l'instar de John Cage avec celui des sons et de pouvoir ouvrir la sculpture au vent, à la lumière, à la poussière, à la nuit, tout autant qu'à la pierre, à la terre etc. et de commencer à penser la sculpture et la

² Je reprends ce titre au recueil de Valère Novarina (1991) *Pendant la matière*, P.O.L. 135p.

forme dans ce cadre conceptuel. Durant quelques années je travaillais d'abord le bitume puis

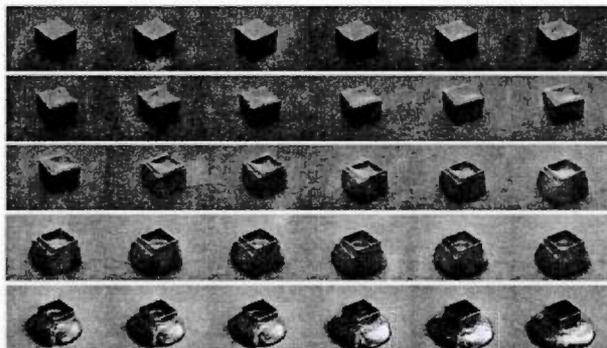


Fig. 2.1 - Bitume et acier, 1995, Lorella Abenavoli, 0,15 x 0,15 x 0,15,

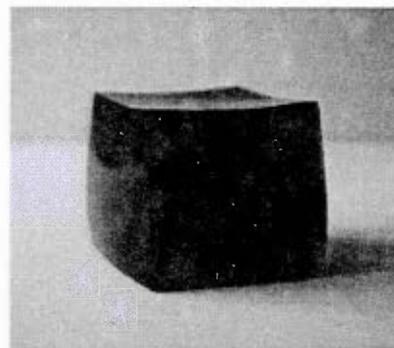


Fig. 2.2 - Empreinte de bitume, 1996, Lorella Abenavoli, 0,15 x 0,15 x 0,15 approx., Résine polyester

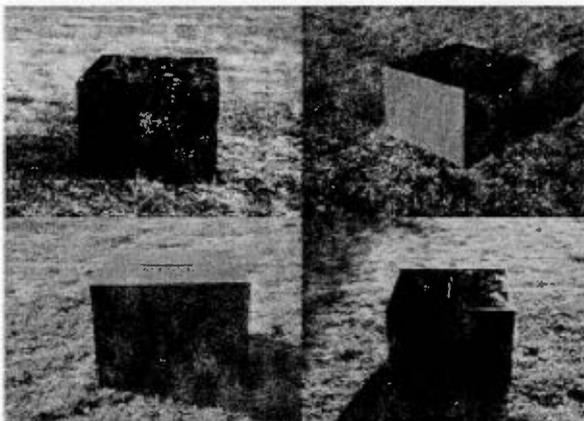


Fig. 2.3 - Défaut originare, 1996-2001, Lorella Abenavoli, 1m3,
Collection Fondation François Schneider
Ce que la photo ne montre pas : l'eau s'écoule de façon continue en son centre

Fig. 2.4 - Défaut originare, Détail



Fig.2.5 - (ci-dessus) Machine pseudo-didactique (1961-1965) Piotr Kowalski
Caoutchouc, acier, bois, eau, poudre de métal, moteur électrique
0,86 x 186 x 186 cm



Fig.2.6 - (à gauche) Lightning Field (1977) Walter de Maria
1 mile x 1 km, 400 poteaux de fer (de 15 à 26 pieds de hauteur)
Photo : John Cliett PR

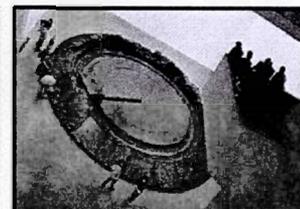


Fig.2.7 et 2.7bis - (à droite)
My Red Homeland (2006) Anish Kapoor
25 tonnes de vaseline rouge, moteur, bras mécanique et parallépipède en acier



l'eau (Fig. 2.1 à 2.4) dont la fluidité fit apparaître de nouveaux concepts parmi lesquels celui de *temps* qui devint opérant plus tard lors de mon travail avec le son. De nombreux artistes avaient déjà ouvert leur pratique à l'univers des matières acceptant d'abandonner la maîtrise du matériau au profit de celle des dispositifs dont la fonction révélait les qualités sensibles de la matière. En réalité, dans le domaine de la sculpture, la quantité d'artistes qui se sont dirigés dans cette voie est innombrable. Parmi les œuvres qui ont marqué mon parcours (Fig. 2.5 à 2.7bis) certaines incarnent cette orientation artistique en privilégiant un travail sur le dispositif qui expose des matières souvent fluides comme *Machine pseudo-didactique* (1961-1965) de Piotr Kowalski, sculpture d'un liquide métallisé en constante reformation³ ou malléables comme *My Red Homeland* (2003) de Anish Kapoor ou encore environnementales et météorologiques comme *The Lightning Field* (1977) de Walter de Maria. Pour ma part, désigner la *matière* dans son ensemble comme champ d'investigation et l'*énergie* comme *forme* spécifique de chaque matière abordée, balisait et posait les premières règles de mon travail⁴.

2.1.2 *Einfühlung* : un concept en amont des concepts

Durant ces années je me nourrissais de textes scientifiques, de philosophie, de poésie, d'essais sur l'art et d'expositions dans lesquels je recherchais comment ces notions de matière et d'énergie étaient envisagées dans ces disciplines et comment elles pouvaient faire écho à ma propre recherche. Cependant j'éprouvais au sein de ma pratique une tension et une contradiction persistantes. C'est la lecture d'*Abstraction et Einfühlung* de Wilhelm Worringer (1993) qui vint pointer la source de cette contradiction et proposer grâce au concept d'*Einfühlung* un ancrage pour mon travail à venir. La notion d'*Einfühlung* me permit d'abord de comprendre que ma recherche et mon processus artistique, que je pensais issus d'une

³ Vidéo visible à cette adresse : http://www.rvdv.net/vincennes/?page_id=657, Film de Jason Karaindros, exposition aux Beaux arts de Rouen en 2011.

⁴ L'anthologie *Histoire matérielle et immatérielle de l'art* (1994) de Florence de Mèredieu en théorise l'approche à un moment où l'émergence des arts médiatiques en France bouleversait les catégories de l'histoire de l'art. En revanche ce n'est que plus récemment que j'ai rencontré la catégorie d'un «*Energetic Arts*» dans *Earth Sound Earth Signal, Energy and Earth Magnitude in the Arts* (2013) dans lequel Douglas Khan étudie les énergies en esthétique et en art, à travers l'histoire des télécommunications du 19^e siècle jusqu'à aujourd'hui. Le médium son constitue le fil conducteur des œuvres qui révèlent et travaillent cette nouvelle catégorie artistique.

expérience très singulière et intime, s'inscrivaient en réalité dans une histoire très ancienne, reformulée par la philosophie allemande au XVIII^e siècle, concernant l'origine d'une certaine pratique artistique construite à partir d'une relation empathique avec la nature ou plutôt avec la φύσις⁵ telle qu'elle est envisagée chez les présocratiques.

L'*Einfühlung* est une notion qui a plus de deux siècles. Elle trouve son origine chez les philosophes allemands Theodor Lipps et Robert Vischer et se développe au 19^e siècle, à la croisée de deux nouvelles disciplines : la psychologie et l'esthétique. Elle interroge les origines de l'acte artistique dans les arts plastiques. Puis elle se développe au cours du 20^e et 21^e siècles dans les domaines de la danse, de la littérature, du théâtre et de la psychologie. Ici c'est dans le contexte des arts plastiques que cette notion nous intéresse. En 1901, pour Wilhelm Worringer, l'*Einfühlung* est à l'origine de la pratique figurative et s'inspire nécessairement des formes organiques et vivantes de la nature. Celles-ci étant un ancrage à partir duquel une certaine activité artistique se déploie. L'*Einfühlung* qui a été traduit très tardivement en français par "empathie"⁶, décrit avant tout une expérience sensible et cognitive. Robert Vischer écrit en 1872 que « Le mot *Einfühlung* (...) désigne la relation esthétique qu'un sujet peut entretenir avec un objet, une œuvre d'art, le monde environnant. » (Vischer, 1872)⁷. Je l'utilise ici comme l'expérience cognitive qui inaugure mon activité artistique et qui précède la réalisation de l'œuvre. Vischer la décrit aussi comme « "un transfert inconscient [*Unbewusstes Versetzen*] [sic] de la forme corporelle propre, et donc aussi de l'âme, dans la forme de l'objet » (Caliandro, 2004). Mais c'est surtout avec Stefania Caliandro, que la définition s'accorde le mieux avec l'expérience de l'*Einfühlung*. Elle parle

⁵ La notion de nature dans le contexte de l'anthropocène semble presque obsolète. En revanche la notion de φύσις, telle qu'elle est envisagée chez les présocratiques, englobant la nature et la physique, désigne tout ce qui est et se meut, tout ce qui se métamorphose dans un flux commun, notion pouvant elle-même englober l'ère appelée l'anthropocène.

⁶ À l'instar de Dora Vallier, spécialiste de l'abstraction, qui signe la préface française de *Abstraction et Einfühlung* de Worringer, nous ne retiendrons pas le terme d'"empathie" dont l'usage a surtout été retenu en psychologie et qui est réducteur au regard de l'*Einfühlung*.

⁷ Robert Vischer est le premier à avoir théorisé le concept d'*Einfühlung*, traduit par la suite en anglais par *Empathy*. Ce qui est particulièrement intéressant c'est qu'il s'agit d'une approche née des arts plastiques, qui interroge la perception en abordant la question de l'empathie avec la matière dite "inerte" et *a priori* "immobile".

en 2004⁸ "d'une délocalisation de l'expérience sensible", c'est-à-dire d'un déplacement de l'expérience du sensible de notre propre corps vers et *dans* le « corps » de l'objet. En effet, lors de cette expérience on sent disparaître les limites de son propre corps qui déterminent habituellement notre rapport au monde provoquant un « phénomène d'unification des sensations qui organise l'appréhension du sensible en une perception unitaire et intériorisée ». (Caliandro, 2004 p.795). Cependant ce phénomène empathique n'est pas seulement un mouvement de soi vers et *dans* un objet externe à soi.

Quand la relation avec l'objet n'est plus perçue comme externe, (...) on pénètre à l'intérieur du phénomène lui-même, que ce soit par "*une enesthésie au repos*" ou par "*une enesthésie cinétique et volitive*", qui concerne aussi bien des formes en mouvement que des formes immobiles (celles-ci étant alors mobiles seulement pour le sujet sentant). Cette "représentation" que le sujet se fait *de* et *dans* la perception de l'objet, de l'œuvre ou de son environnement, cette dimension imagée que l'aperception instille dans le perçu, est une sorte de "mélangeur [*ein Mischerin*]", un médium fluide dans lequel les contradictions du monde, repos et mouvement, moi et non-moi, coulent et se rassemblent en un tout énigmatique". (Caliandro, 2004 p.795-796).

Il est en effet fort difficile lors de l'expérience esthétique de l'*Einfühlung* d'identifier les sens sollicités, car le corps est tout entier actif et simultanément inconscient de son activité. Pour ma part c'est, me semble-t-il, la vue qui le plus souvent entraîne ensuite l'ensemble du corps à « percevoir » ainsi. L'enveloppe du corps, la matière charnelle s'évanouit comme limite et devient perméable voire inconsistante. Ce que Stefania Caliandro nomme dans cet extrait « représentation », et que j'interprète littéralement comme le fait de « rendre à nouveau présent » une expérience vécue, marque chez moi l'origine du désir de l'œuvre. Cette dynamique est représentée sur le schéma de pratique (Fig. 2.8) dessiné préalablement à l'écriture de la thèse.⁹ L'émotion provoquée durant l'*Einfühlung* est excessive par essence car elle excède mon corps, cet habitacle originaire, par cette *délocalisation de l'expérience sensible* qui me transporte littéralement *hors de moi*. Le désir de donner corps à l'œuvre vient

⁸ *Ibid.* p.794

⁹ En début de thèse, lors du cours de méthodologie au DEPA, je fus initiée aux schémas dans le contexte d'un cours sur l'approche systémique, pour élaborer une pensée de ma pratique mais aussi pour construire le plan de la thèse. J'adoptais cette technique pour spatialiser et synthétiser mes idées sur la feuille et ces schémas furent un préalable déterminant quant à l'écriture.

d'abord de cette expérience qui me dépasse. L'œuvre est l'excédant de cette expérience. Toute la nécessité de la production artistique qui succède consiste en la transformation de cette expérience d'une volatilité extrême en une œuvre tangible et transmissible. Si l'*Einfühlung* est l'expérience esthétique fondatrice à l'origine de ma production, lors de sa

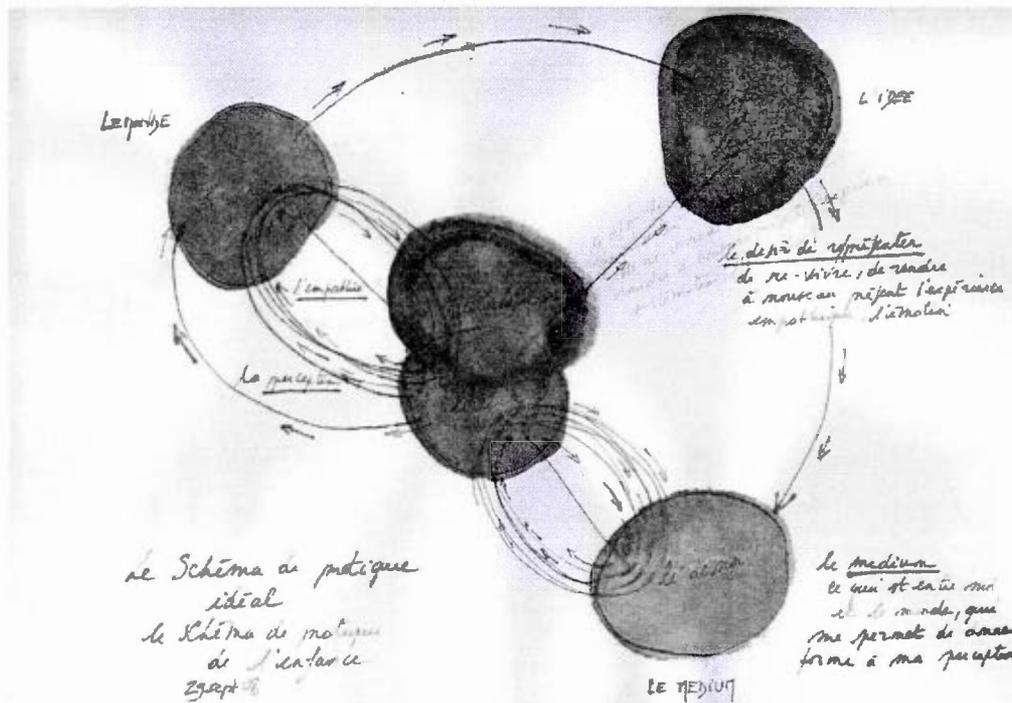


Fig. 2.8 - Premier schéma de pratique à l'encre et l'aquarelle (Lorella Abenavoli, 2008) qui décrit mon processus de production. Ce processus dynamique montre les transports vécus durant l'*Einfühlung* de soi vers un objet hors de soi, à l'origine de la nécessité et du désir de produire une œuvre. La tache bleue dans laquelle est inscrit le mot "dessin" représente l'œuvre en général. Le mot empathie doit être compris comme *Einfühlung*.

symbolisation - qui s'actualise la pratique et dans la réalisation de l'œuvre, dès que je choisis des médiums pour incarner cette expérience - je bascule dans la pratique artistique, activité qui se situe, quant à elle, dans un contexte culturel et médiologique, dans un savoir collectif où je dialogue plus ou moins clairement avec mes contemporains.

2.1.3 La forme temporelle du médium son

C'est au regard d'une production plastique du son que je souhaite aborder la question de la forme. Dans la tradition figurative, la notion de forme recèle un mystère, celui des correspondances entre une forme perçue et une forme représentée. Une des questions centrales que je me posais avant *Le souffle de la Terre* et qui est toujours actuelle, c'est la relation qu'entretiennent la forme de l'œuvre avec la forme du monde perçue en amont.

2.1.3.1 Forme

Dans le langage courant, on entend par "forme" des objets dont la limite est facilement repérable au regard du milieu qui l'entoure. La notion de forme en art et particulièrement en sculpture est prépondérante. On la retrouve d'ailleurs dans l'étymologie latine *forma*, dont la première signification désigne « le moule », ou « l'objet moulé » (Picoche, 1992, p.222). Dans la forme résonne ainsi la limite, celle du moule, comme matrice qui donne forme à une matière plastique, d'abord fluide puis qui se solidifie. D'un point de vue esthétique la forme fait l'œuvre. Ce qui est en jeu dans la forme de l'œuvre c'est l'œuvre elle-même.

En ouvrant la sculpture à toutes les matières, j'ai posé comme postulat que toute matière avait une forme propre et que mon rôle de sculpteur était de la révéler. Avec ce postulat les concepts de forme et de matière subissent un renversement de sens au regard d'une approche traditionnelle. Mon travail de sculpteur ne consistant plus à projeter une forme (au sens cette fois-ci de l'εἶδος, de l'idée) dans la matière mais à recueillir la forme de la matière. C'est ici que la notion de dispositif apparaît pour révéler et réfléchir la forme des flux.

2.1.3.2 Dispositif

Le dispositif recouvre ici une première signification, opérante dans le domaine de l'art de l'installation. Ainsi que le mentionne Jean Gagnon dans sa thèse de doctorat, "Nous rencontrons souvent le mot de dispositif dans les discours et les discussions de la critique ou des amateurs intéressés à l'art contemporain. Il est associé et se confond parfois avec le mot installation. [...] Il désigne tout assortiment d'équipements électroniques et informatiques intervenant dans l'espace, dans le rapport du spectateur à l'image et à son image, pour une

transformation de l'espace et du sujet de la réception" (Gagnon, 2013, p.114)¹⁰. Dans ce texte le dispositif désignera l'appareillage technique qui donne corps à l'œuvre sonore. Dans le *Souffle de la Terre* on a à faire avec un dispositif audio-numérique, sorte de machine à transformer les données en un médium sensible. La notion de dispositif est particulièrement opérante avec tous les médiums qui existent sous formes de flux. Le dispositif devient une machine à révéler la forme de ces flux.



Fig.2.9 – Ce schéma de pratique (Abenavoli, 2008), le dernier d'une série, présente les textes et œuvres d'auteurs et d'artistes, les gestes effectués, les techniques employées, les compétences et disciplines sollicitées, les concepts et notions en latence et actives, les technologies utilisées. Le désordre apparent relève en réalité d'une construction logique mais complexe dont on peut voir le processus dans les schémas qui précèdent. Ce schéma expose la complexité du processus artistique dont seulement très peu d'éléments seront extraits pour l'élaboration de la thèse.

¹⁰ Le 2^e chapitre de la thèse de Jean Gagnon est consacré à la définition et à la distinction de l'instrument, de l'appareil, de l'appareillage et du dispositif dans les sciences et dans les arts, afin de préciser ces termes dans le contexte des performances audiovisuelles qui font l'objet de sa thèse.

Le dispositif recouvre un sens non moins important proposé par Giorgio Agamben (2007) et réinterprété par Gagnon. Il est aussi le système englobant qui "arraisonne" l'ensemble du projet et dont le schéma de pratique ci-dessus (Fig. 2.9) en présente certains éléments : textes et œuvres d'auteurs et d'artistes, les gestes effectués, les techniques employées, les compétences et disciplines sollicitées, les concepts et notions en latence et actives, les technologies utilisées. Cet essaim de mots, qui symbolise l'ensemble de ces éléments, constitue le dispositif, au sens d'un "arraisonnement de la subjectivité" ainsi que le nomme Gagnon dans sa thèse¹¹. Ce dispositif est ce qui inscrit le processus de création, qu'on le veuille ou non, au sein du corps social à travers de multiples relations au sein d'un système complexe. La subjectivité de l'artiste se construit et se débat au sein du dispositif, radoub instable de l'œuvre à venir, dont la forme contient en puissance l'ensemble de ces forces.

2.1.3.3 Forme temporelle

La notion de forme temporelle, quant à elle, est apparue à la lecture de *La technique et le temps* (1996) de Bernard Stiegler. Il y écrivait à propos du cinéma et de la coïncidence entre le flux de la conscience et celui des images cinématographique. À cette occasion, il parlait d'*objet temporel*, reprenant ce concept à Husserl. Celui-ci le conçut pour qualifier un des aspects de la mélodie, à partir de laquelle il analysa le processus de la perception et de la mémoire. En parlant d'objet temporel à propos de la mélodie, Husserl (1964) inaugurerait conceptuellement la notion d'objet sonore¹² dont la forme audible est temporelle. Cependant je remplaçais pour mes propres besoins l'objet temporel par *la forme temporelle* pour désigner tout à la fois la forme vibrante de la matière et de son énergie ainsi que celle des œuvres sonores. Ces dernières étant pour le plasticien, non pas musique, mais formes dans le temps.

¹¹ Dans cet extrait de thèse Gagnon compare appareil et dispositif au regard des approches de Agamben et de Déotte. *Ibid.* p.115

¹² Cette notion ne prit tout son potentiel, dans le domaine musical, qu'un demi siècle plus tard, avec la théorisation de la musique concrète par Pierre Schaeffer.

2.2 *Le Souffle de la Terre* (2000-2007)

2.2.1 Intention

Entendre la terre¹³, donner à sentir son intériorité, l'énergie diffuse qui traverse la matière minérale de notre astre, que notre corps prolonge, dans le temps et dans l'espace. Créer une œuvre immersive dans laquelle le corps éprouve cette énergie, l'*Einführung* de la Terre. À peine avais-je imaginé le son pour ce projet qu'il m'est apparu comme ce tiers, ce médium si longtemps attendu, se distinguant de ma source d'inspiration et pouvant pourtant lui donner corps. J'ai imaginé le son comme médium de façon immédiate et indissociable avec l'idée de cette œuvre. Il en était sa condition et son origine.

Le son est apparu intuitivement comme le médium idéal pour donner à sentir les vibrations terrestres, la respiration tellurique, constante, tremblante, souterraine. Il pourrait devenir matière enveloppante et pénétrante. Il produirait non pas un espace sonore, mais un lieu-œuvre sensible incarné par le son. L'objectif à long terme : réaliser une œuvre monumentale¹⁴ permanente, objet temporel, donnant à entendre les profondeurs de la Terre. Ainsi en 1998, j'envisageais la travail sonore comme le déploiement de l'acte sculptural, consistant à extraire une forme de la masse matérielle terrestre, une forme temporelle qui se retrouve en toute chose, la forme du monde qui bat et respire. Je souhaitais simplement recueillir ce flux, imperceptible mais sensible et ainsi sculpter le temps. Sculpter le temps constitue le point de départ, l'idée et l'orientation jamais abandonnées depuis lors, le point de mire vers lequel ma pratique tend de façon constante. Comment le son pourrait-il donner corps à cette intention?

2.2.2 La méthode

À la toute origine du projet je souhaitais rendre audible le bloc de marbre en extrayant son énergie de sa masse physique. Cela m'a d'abord conduit à capter la radioactivité du granit avec un compteur Geiger. Assez rapidement j'éliminais le compteur Geiger comme

¹³ "t" minuscule. La terre désigne tout à la fois l'humus et notre planète. Dans les premières études je conservais le "t" minuscule car j'aspirais à entendre cette matière première issue du mort et de la décomposition, source de la vie.

¹⁴ L'adjectif « monumentale » ne renvoie pas tant ici à une dimension exceptionnelle en terme de volume mais bien plus à son étymologie qui évoque la mémoire. La Terre une mémoire entre le mort et le vif.

instrument potentiel pour ce projet, car s'il révélait l'énergie du granit, les sons qu'il produisait ne correspondaient pas aux fréquences propres de la radioactivité de la roche mais à l'intensité de sa radioactivité. Or ce que je cherchais c'étaient les rythmes propres du minéral. Ceci me conduisit après plusieurs autres tentatives à l'Institut de Physique du Globe de Paris dont les laboratoires se trouvent dans l'Université de Jussieu. Je découvris alors que la Terre faisait l'objet d'enregistrements continus qui révélaient ses moindres tremblements. Cette palpitation constante de la Terre fut une réelle source d'inspiration bien qu'effrayante. Il me semblait que j'allais toucher une dimension sacrée et je me sentais dépassée par mon propre projet. C'est pourtant cette dimension qui fût décisive et qui m'imposa mes premières règles de travail : tout d'abord une étude (en autodidacte) de la sismologie grâce à l'aide de Jean-Paul Montagner. Ensuite une rigueur dans le processus de production n'acceptant que peu de concession : par exemple un premier ingénieur passa les fichiers sismiques dans un logiciel de traitement musical sans savoir m'expliquer ce qui se produisait. Je refusais cette procédure hasardeuse pour mettre en place une méthode de travail en quatre étapes : 1) étudier les ondes sismiques, 2) comprendre la nature des données récoltées par la sismologie, 3) réaliser un logiciel de transformation des ondes sismiques en son, 4) enfin réaliser des œuvres sonores. C'est ainsi que le projet a commencé.

2.2.3 Présentation générale du *Souffle de la Terre*

La Terre se meut. Les marées lunaires et solaires qui la déforment, l'énergie qui la fait vibrer et celle qu'elle dispense, les mouvements telluriques perpétuels qui se mêlent aux mouvements célestes, constituent la forme temporelle et intime de la Terre. *Le Souffle de la terre* est une installation dont le son allait être le principal médium et dont la forme se déploierait dans le temps et dans l'espace. Un son créé à partir des mouvements de la Terre, dont les ondes enregistrées seraient retravaillées afin de les rendre audibles et d'en faire œuvre *in situ*. Quant à la notion d'installation¹⁵ elle est apparue corrélativement au son, l'une et l'autre proposant ensemble un dispositif d'immersion, une stratégie plastique pour que le corps tout entier expérimente cette présence, abandonnant ainsi la frontalité, bien que déjà quadridimensionnelle, de l'objet sculptural.

¹⁵ L'installation prolongeait mon travail de sculpteur. En effet l'idée de rendre audibles les ondes sismiques aurait pu prendre la forme d'une diffusion radiophonique ou encore d'un dispositif avec casque. Cependant j'ai choisi l'installation pour sa dimension spatiale, physique et immersive.

Les sismomètres électroniques, capteurs hyper-sensibles, enregistrent les séismes mais aussi les mouvements, plus subtils, internes de la Terre. Grâce à la technologie numérique et à la création d'un logiciel pour ce projet, les ondes matérielles infra-graves seront rendues audibles. Ces mouvements vibratoires constituent la matière première de cette œuvre. C'est la construction de correspondances entre les ondes sismiques et les ondes sonores de l'œuvre, c'est-à-dire la construction d'un système de correspondances entre des données physiques et les données acoustiques, qui est au cœur de ce chapitre.

Et le *son électronique* se présentait alors comme le médium, capable de rendre sensible l'éphémère passage du temps et le souffle qui habite toute chose tout en développant un système de représentation reproductible. J'ai souvent procédé par analogie pour comprendre mon processus de création. Le son était alors si nouveau que j'avais besoin de procéder ainsi en me référant surtout au système perspectiviste, comme modèle conceptuel, pour penser la dimension "figurative" du travail sonore. On retrouvera ces analogies dans ce texte.

2.2.3.1 Recherche et interdisciplinarité

Ce projet marque ainsi un moment charnière dans ma pratique, un basculement radical à de nombreux égards, parmi lesquels l'introduction de la collaboration interdisciplinaire marquant une pratique collective. Trois disciplines dominantes ont marqué la genèse du *Souffle de la Terre* : 1) la géophysique et plus particulièrement la sismologie; 2) l'acoustique vibratoire; 3) la programmation informatique. Autour de ces disciplines, des professeurs et chercheurs dans le domaine de la philosophie et des sciences cognitives, ont soutenu et participé à la concrétisation du projet¹⁶. Les disciplines citées ci-dessus appartiennent au fondement du projet, à la phase de la recherche située en amont, à partir de laquelle les installations ont pu voir le jour. Les techniques et compétences nécessaires à la mise en œuvre ultérieure des installations appartiennent à des pratiques connues et traditionnelles qui seront rapidement évoquées pour les nécessités descriptives du projet, mais qui ne feront pas l'objet d'un discours. Il s'agit par exemple de la menuiserie, du dessin technique, du modelage, de la couture, de la soudure, de l'impression, de la gravure etc.

¹⁶ Parmi eux Bernard Stiegler, Charles Lenay et Georges Collins. Tous enseignaient alors à l'Université de Technologie de Compiègne.

En 1996, afin de réaliser cette œuvre sonore, j'ai été conduite vers les techniques scientifiques, car à cette époque, seules ces dernières utilisaient des outils de captation sismiques hypersensibles et opérationnels. Bien que le matériel et le coût des capteurs se soient beaucoup démocratisés, si ce projet spécifique était à refaire aujourd'hui, il est probable que le cheminement serait semblable, tout au moins dans sa première phase, car les sismomètres sont restés un matériel propre au domaine de la recherche en géophysique et toujours très onéreux.

La géophysique a pour objet l'étude de la Terre, afin d'en comprendre sa genèse, son histoire, notre histoire à une échelle cosmique. Chaque sous-discipline, comme la vulcanologie, la sismologie, la tectonique et d'autres, entrevoient sous un angle différent cette étude. La sismographie est le mode de captation et d'enregistrement partagé par toutes ces disciplines, donnant au scientifique des informations sur les phénomènes qui meuvent la Terre et par déduction sur sa constitution. Il y a aussi toutes les applications qui découlent de cette connaissance et de ces dispositifs : la recherche d'énergie fossile dans l'industrie, la participation au programme de la conquête spatiale, la recherche de systèmes de prévision des séismes etc. Décrypter les enregistrements sismographiques, c'est participer, pour les scientifiques, au développement de tous ces domaines. C'est avec la complicité jamais démentie de Jean-Paul Montagner, alors directeur du Département de géophysique à l'Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP), que ce projet a pu voir le jour. Sa collaboration a consisté à m'introduire au monde de la sismologie et à m'aider à comprendre le fonctionnement du matériel sismographique. Matériel qu'il a mis à ma disposition en proposant une résidence de travail à un ingénieur pour la création du logiciel d'audification¹⁷ des ondes sismiques.

¹⁷ L'audification est un champ d'étude très vaste et très récent qui est décrit dans le chapitre 3 puis transposé aux œuvres dans les chapitres 4 et 5. On peut cependant le résumer ainsi : c'est la possibilité de rendre audibles des données non sonores qui se déploient sur le modèle des ondes. On peut audifier des données physiques comme c'est le cas ici mais aussi des données statistiques dont les représentations sont construites sur le même modèle, par exemple les courbes des marchés de la bourse.

L'équipe s'est constituée au fur et à mesure du projet. Cependant l'Institut de Physique du Globe de Paris et l'Université de Technologie de Compiègne¹⁸ ont été les fidèles partenaires de travail tout au long de la recherche. Simon Lincelles, le premier étudiant ingénieur avec lequel j'ai travaillé, étudiait alors en acoustique vibratoire. C'est dans le cadre de son stage de fin de cycle qu'il a travaillé à rendre audibles les premiers signaux sismiques en utilisant le logiciel Matlab. Il a mis en œuvre la première interface me permettant de travailler de façon autonome les ondes sismiques. Ce travail s'est fait dans le contexte d'une résidence de six mois au Métafort d'Aubervilliers, lieu d'avant-garde de production numérique bâti sur un projet d'utopie sociale, qui depuis lors a malheureusement été fermé. Ces premiers pas décisifs ont aussi pu être accomplis, grâce à la participation de la Fondation Daniel Langlois qui m'a attribué une bourse conséquente me permettant d'investir dans mon premier matériel informatique et dans la rémunération des collaborateurs.

Dès 2001, les signaux sismiques furent accessibles par le réseau internet et en 2002, grâce à la collaboration avec Simon Vanesse, étudiant de l'UTC, le projet a pu être complété : la finalisation du logiciel Sdt, la création d'un programme de saisie des signaux sismiques et leur traitement en temps réel avec Max-msp. Ces programmes permirent la réalisation de ma première installation en *temps réel* présentée à l'Ircam en 2004.

2.2.3.2 Des ondes sismiques aux ondes sonores

Dans la théorie des ondes il y a deux grandes familles : les ondes électromagnétiques et les ondes mécaniques ou encore dites matérielles. Les ondes sismiques et les ondes sonores appartiennent à la deuxième catégorie. Ce qui les distingue, du point de vue de la physique, c'est essentiellement le milieu qu'elles traversent et leur domaine de fréquences. Les ondes sismiques sont des ondes mécaniques qui se propagent dans tout le globe terrestre et dont la fréquence est inférieure à 10 Hertz, juste en dessous de nos capacités auditives. Par ailleurs ce que l'on appelle un son est une onde acoustique qui se propage dans l'air et dont la bande de fréquence est calquée sur notre système de perception qui s'étend donc approximativement

¹⁸ À travers le support des professeurs Bernard Stiegler (philosophe) et Charles Lenay (biologiste avec une approche phénoménologique) et deux étudiants qui ont fait leur mémoire de maîtrise en développant le logiciel SdT : Simon Lincelles (2001) étudiant ingénieur en acoustique vibratoire et Simon Vanesse (2004) étudiant ingénieur en programmation.

de 20Hz à 20KHz. En-dessous de 20Hz il s'agit d'ondes infra-sonores¹⁹ et au delà de 20KHz il s'agit d'ondes ultra-sonores. Les ondes infra-basses en acoustique tout comme les infrarouges en optique ne peuvent être détectées par l'ouïe et la vue sans médiation technique²⁰. L'idée du projet fut donc assez simple : opérer une transposition des signaux sismiques infra-sonores, dont les qualités sont extrêmement proches des signaux acoustiques, en les amenant dans la bande de fréquences audibles et dans le milieu aérien.

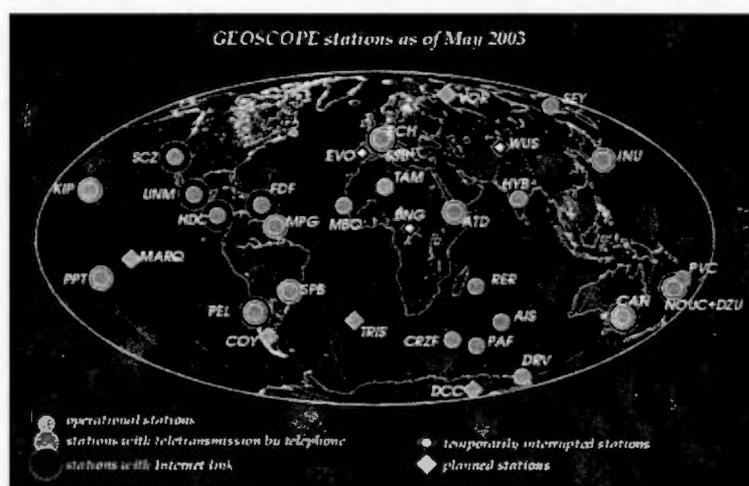


Fig. 2.10 – Carte présentant les stations sismiques du réseau Géoscope en mai 2003.

2.2.3.3 Captation : les sismomètres et les sismogrammes

Dans le cadre d'un réseau de recherche universitaire international, le Géoscope, l'IPGP enregistre la Terre de façon continue. Des stations d'enregistrement (Fig. 2.10) placées dans des centres de recherche, loin des villes²¹, parsemaient le monde²².

¹⁹ nommées aussi infra-basses.

²⁰ Le toucher en revanche, dans certaines conditions, peut nous permettre de les percevoir. Si la science doit identifier ses objets et pour cela les séparer, l'art travaille avec le continuum sensoriel dont les limites, dans le contexte d'une expérience phénoménologique, est bien plus incertain. Comment ne pas considérer le bruit des pas sur le sol comme appartenant aux ondes terrestre? La science décide que les ondes sismiques se déploient en dessous de 20Hz pour les différencier justement des ondes audibles. Car si on incluait ne serait-ce que les fréquences de 40Hz, on pourrait considérer la marche d'un troupeau d'éléphant comme un microséisme...

²¹ pour éviter le parasitage de la captation des bruits urbains avec ceux des profondeurs de la Terre.

Tout comme le stéthoscope posé à la surface du corps capte les battements du cœur et autres mouvements physiologiques, le sismomètre posé à la surface de la Terre capte les vibrations internes du corps terrestre. Les sismomètres constitués d'un ressort et d'un aimant (fig. 2.11 et 2.12) transforment ces vibrations en variations électriques qui sont ensuite numérisées et

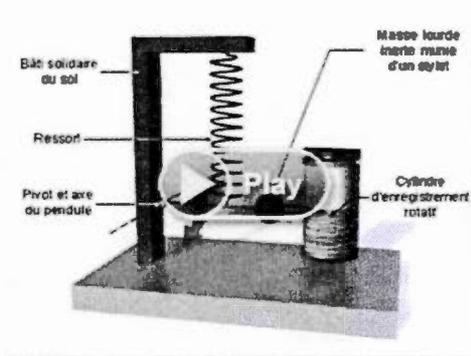


Fig. 2.11 - Principe de fonctionnement d'un sismomètre à bâti²⁴. Animation réalisée par Estium-concept.

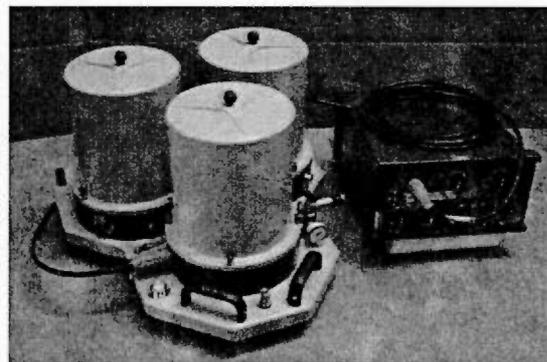


Fig. 2.12 – Station sismométrique triaxiale actuelle²³. Les ressorts et aimant se trouvent sous les cloches hermétiques, qui sont désormais raccordées à un numériseur (boîtier bleu).

enregistrées en bit – en format ASCII²⁵ - pour enfin être transcrites en graphe pour la communauté des chercheurs.

Les premiers graphiques auxquels j'ai eu accès révélèrent une activité riche et continue. Ces derniers se présentaient sous forme de graphique cartésien (Fig. 2.13), et bien que ces schémas fussent numérisés, leur modèle graphique était pratiquement identique aux premiers sismogrammes du 19e siècle. Ces graphiques montraient plusieurs choses très inspirantes qui ont déterminé mon désir de poursuivre ce projet. Tout d'abord, les enregistrements étant

²² Au début de mon projet il n'existait qu'une douzaine de stations. Aujourd'hui, les différents réseaux de recherche additionnés, en compte plusieurs centaines.

²³ Metrozet M2166-VBB Triaxial Seismometer System: Integrated triaxial sensor package (M2166-VBB-TSP) at left. M2166-EM Electronics Module at right. Each sensor axis is connected to electronics via dedicated cable. The electronics connect to a 3 or 6 channel Q330HR recorder via the connectors on the front side of its box. Metrozet M2166-VBB Seismometer January, 2015

²⁴ Illustration consultée le 28 septembre 2015. Une animation montre très clairement le principe du fonctionnement du sismomètre. Désormais le sismomètre lui-même est plus raffiné mais le principe reste le même. http://www.estium-concept.com/fr/infographie_illustration-geologie_Sismometre.htm

²⁵ Dans le cas des fichiers auxquels j'avais accès par le Géoscope.

continus, nous²⁶ avons accès à une représentation des vibrations terrestres dont la durée pouvait s'étendre jusqu'à plusieurs années. Cet élément permettait d'entrevoir conceptuellement une œuvre dont la durée serait celle de la Terre elle-même, venant confirmer la possibilité de réaliser une œuvre permanente en perpétuelle métamorphose.

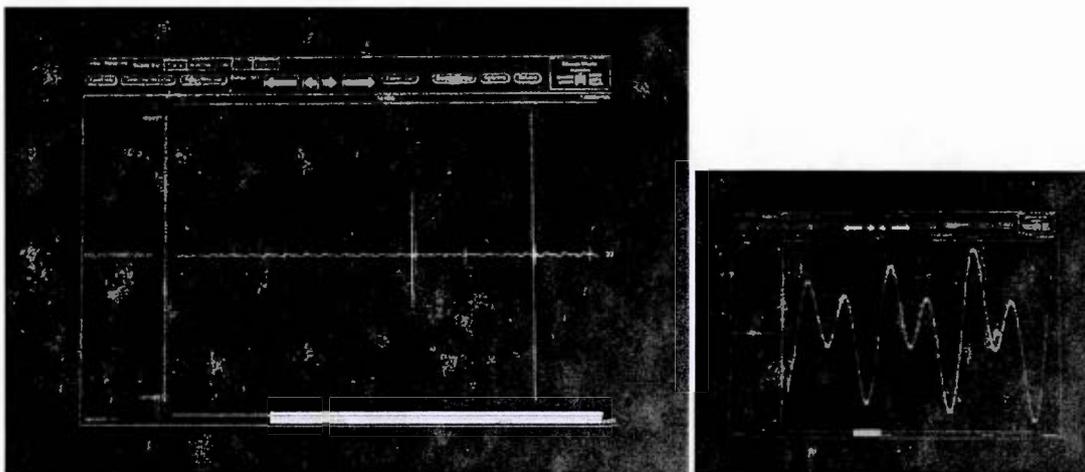


Fig. 2.13 – Graphique d'enregistrements sismiques VLP (Very Long Period) fourni par le Géoscope au début du projet. On remarque les ondes doubles récurrentes qui représentent les déformations plastiques de la Terre par les marées lunaires et solaires. Chacune couvrant approximativement une période de 24 heures. Le graphique représente donc ici une période de 23 jours. Ces ondes périodiques sont parsemées par des ondes de grandes amplitudes qui représentent quant à elles des phénomènes sismiques plus intenses et plus amples.

Fig. 2.14 – Détail agrandi de la fig. 2.13 sur lequel on voit les ondes périodiques qui correspondent aux marées lunaires et solaires.

En fonction de l'échelle de temps observée, il était possible de voir différents événements apparaître. Celui qui a, tout d'abord, retenu mon attention mettait en évidence un rythme régulier, une onde "porteuse" périodique, sur laquelle venaient se greffer de nombreuses oscillations représentant une activité terrestre incessante (Fig. 2.13 et 2.14). Cette onde représentait les marées lunaires et solaires de la Terre, qui déforment périodiquement notre astre, à raison donc d'une onde approximativement toute les 12 heures. C'est d'abord l'identification de ce phénomène qui m'a convaincue de poursuivre ce projet. Cette onde porteuse, évoquant un rythme régulier, a aussi inspiré le titre générique de cette œuvre *Le Souffle de la terre*. Une autre observation a été décisive. Outre cette poétique du schéma

²⁶ "Nous" renvoie à l'équipe et plus spécifiquement Simon Lincelles et Simon Vanesse.

cartésien, je constatais que les instruments de captation des ondes sismiques n'utilisaient aucun filtre²⁷. Les outils de la science n'imposaient pas ici de sélection pour son usage. Ainsi, si j'arrivais à rendre audibles ces vibrations, je bénéficierais de toutes les variations inhérentes à ces mouvements. Je pourrais découvrir dans toute leur amplitude les "bruits" de la Terre et révéler un état de la matière sans limitation. Jean-Paul Montagner, selon son point de vue de géophysicien, me disait que je n'obtiendrais rien d'autre que du "bruit". Mais cela n'avait aucune importance à mes yeux. J'étais sourde à cette critique car la forme qui allait surgir serait comme elle devait être. En fait je n'avais aucun *a priori* formel, sauf celui de donner une forme sonore à ce travail. Rétrospectivement je réalise, tout en écrivant cette thèse, que la notion de bruit était importante dans le dialogue interdisciplinaire que nous avons engagé et nous l'aborderons ultérieurement à la lumière des différentes œuvres sonores réalisées.

2.2.3.4 Echelle temporelle

L'amplitude des ondes sismiques se déploie de l'Angstrom (10^{-10} mètre) jusqu'au mètre (10^1), une variation d'amplitude donc très importante. Quant au profil des ondes, on a vu (p.14 chap.2) que la plus haute fréquence du signal des ondes sismiques est de 10Hz. Pour une meilleure compréhension il est important de différencier la fréquence d'échantillonnage (ou encore le pas d'échantillonnage), qui est la fréquence de prélèvements des données discrètes (ou le nombre de prélèvements de points par seconde), de la fréquence du signal qui désigne, quant à elle, le nombre d'ondes par secondes, soit un phénomène continu exprimé en Hertz²⁸. Afin de capter une fréquence sismique maximale de 10Hz il faut l'enregistrer avec une fréquence d'échantillonnage de 20Hz soit 20 points par secondes, c'est-à-dire le double de la fréquence du signal. Ceci est une application du théorème de Nyquist-Shannon. Un exemple plus familier est celui du CD audio qui enregistre avec une fréquence d'échantillonnage de 44.100 points par seconde afin de pouvoir saisir des fréquences sonores qui vont jusqu'à 22.050 Hz, fréquences théoriques maximales que nous sommes capables d'entendre.

²⁷ À part le fait bien entendu que les enregistrements commençaient à 20Hz, ce qui est un filtre en soi. Mais en dessous de 20Hz il n'y avait aucune limitation, aucune sélection.

²⁸ En fait lorsque l'on parle aussi de la fréquence d'échantillonnage on parle de Hertz. Ainsi lorsque je parlerai de l'échantillonnage je le nommerai explicitement tandis que lorsque je parlerai des fréquences du signal je parlerai simplement des fréquences.

La fréquence d'échantillonnage agit comme une optique photographique en déterminant l'échelle temporelle captée. Les enregistrements du réseau Géoscope ont trois fréquences d'échantillonnage : 20 points par seconde, 1 point par seconde ou 1 point toutes les 10 secondes²⁹ (ce qui donne en Hertz une fréquence d'échantillonnage de 10Hz, 1Hz ou encore 0,05Hz). Si l'on veut observer les mouvements de la Terre à l'échelle annuelle ou mensuelle on choisira une fréquence d'échantillonnage de 0,05Hz comme celle de la fig.13. On comprend alors que cette fréquence d'échantillonnage agit comme un filtre, et ne pourra pas enregistrer des fréquences du signal sismique comprises entre 0,04Hz et 10Hz, c'est-à-dire des fréquences qui donnent des informations sismiques à plus petite échelle comme celles enregistrées à 20Hz. La comparaison avec l'optique se situe au niveau de l'objectif : je ne choisirais pas la même lentille selon que je désire saisir un paysage montagneux ou que je souhaite photographier le feuilletage d'une plaque de schiste. Le choix de la fréquence d'échantillonnage agit donc comme une lentille sur l'échelle temporelle des phénomènes et sur les graphiques qui les représentent qu'ils soient visuels ou auditifs³⁰. En somme le choix de la fréquence d'échantillonnage de captation du signal, met en exergue certains de ses éléments morphologiques en en excluant d'autres. Un exemple sera donné dans le paragraphe suivant.

Si on admet que les plus basses fréquences qu'un être humain puisse entendre sont de 20Hz, on comprend assez rapidement que l'on doive "compresser" dans le temps le signal sismique afin de le rendre audible, c'est-à-dire d'en augmenter sa fréquence. C'est cette première action sur le signal d'origine qui permettra de rendre audibles les ondes sismiques. C'est donc avec cet objectif, *a priori* simple, que nous avons abordé la conception du logiciel SdT (comme Son de la Terre).

2.2.4 Le logiciel SdT (comme le Son de la Terre)

Pour accomplir ce travail, j'ai conçu entre 2000 et 2003, avec deux étudiants ingénieurs, Simon Lincelles et Simon Vanesse et le géophysicien Jean-Paul Montagner le logiciel SdT,

²⁹ <http://geoscope.ipgp.fr/index.php/fr/les-donnees/presentation-des-donnees-geoscope> consulté le 21 juillet 2015.

³⁰ J'emprunte ici la notion de "graphique auditif" au vocabulaire de la recherche en sonification qui sera contextualisé dans le chapitre 3.

dont la fonction était de rendre audible la Terre pour en produire une image sonore au sein d'un environnement acoustique. Cet instrument avait aussi une autre fonction : me rendre autonome dans mon travail de recherche grâce à une interface ergonomique et intuitive, me permettant : 1) de télécharger les enregistrements depuis le réseau internet, 2) de les écouter à n'importe quelle fréquence afin d'opérer des choix esthétiques en vue de la réalisation des installations, 3) de les transformer en format audio (.wav).

Le logiciel a abouti en 2003. Il était conçu avec deux interfaces : la première intitulée "Bibliothèque" (Fig. 2.15) qui était conçue comme une base de données stockant les fichiers sismiques téléchargés à partir du réseau GéoScope et plus tard du réseau LISS³¹. La deuxième intitulée le "Laboratorio" (Fig. 2.16) ressemble à une interface de logiciel de traitement

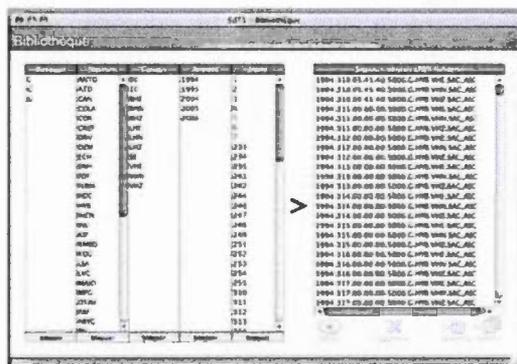


Fig. 2.15 – Logiciel SdT3 : vue de l'interface de la "Bibliothèque" et de sa base de données.

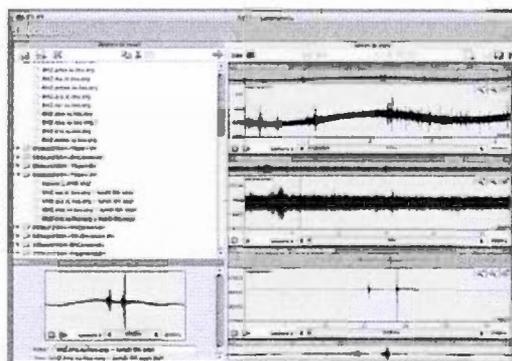


Fig. 2.16 – Logiciel SdT3 : vue de l'interface du "Laboratorio".

musical, avec laquelle je peux écouter les données sismiques devenues données sonores, à toutes les fréquences souhaitées. C'est Simon Vanesse qui a finalisé en 2003, dans le cadre d'une résidence au Fresnoy³², cet instrument d'une très grande précision qui remplissait toutes les fonctions du cahier des charges, voire plus. Je vais décrire ici les fonctions principales de cet instrument afin de comprendre les transductions élaborées pour transformer les ondes sismiques en ondes sonores.

³¹ LISS : Live Internet Seismic Server.

³² <http://www.lefresnoy.net/fr>

2.2.4.1 La Bibliothèque

La bibliothèque est une base de données qui permet d'abord de télécharger et ensuite de stocker les fichiers sismiques à partir du réseau Géoscope. Ainsi que nous l'avons vu, le Géoscope a un réseau de stations sismiques dans le monde entier (fig.10). Une station est un lieu où sont disposés des sismomètres. Souvent proches de centres de recherche et/ou militaires, ces stations font l'objet d'entretien constant. C'est leur proximité avec des centres de recherche qui permet, aujourd'hui, le téléversement en temps réel sur le réseau internet.

Chaque station enregistre des données dans trois bandes de fréquences³³, celles-ci mettant en évidence des phénomènes à des échelles de temps variable (grossièrement : année, semaine, jour). Ces trois bandes de fréquences se nomment : VLP comme *Very Long Period* (1 échantillon toutes les 20 secondes, soit 0.05Hz), LP comme *Long Period* (1 échantillon par seconde soit 1 Hz) et VBB comme *Very Broad Band* (20 échantillons par seconde soit 20Hz). Outre la bande de fréquence, chaque station enregistre les directions des mouvements sismiques sur deux axes horizontaux E (Est) et N (Nord) et sur un axe vertical Z indiquant la profondeur. Cela permet au géophysicien de comprendre le type de séisme et la nature du mouvement des plaques tectoniques. Pour notre projet cela produit différentes données sismiques et multiplie la quantité des signaux auxquels nous avons accès pour une même station. En somme, une station sismique peut produire simultanément neuf types de signaux dans les trois directions et dans les trois bandes de fréquence.

L'interface de la bibliothèque est construite en trois parties (fig. 2.17) : 1) les éléments énumérés ci-dessus ordonnés par date constituent les paramètres de la base de données. Ce sont ces paramètres que l'on perçoit dans la partie gauche de l'interface de la bibliothèque. 2) Lorsque j'appelle les signaux sismiques de la station Limon Verde au Chili par exemple, les noms des signaux sismiques s'affichent dans la partie droite de la bibliothèque. Je sélectionne alors un seul fichier dont je peux voir la forme dans la 3^e partie en bas de l'interface. Dès qu'ils apparaissent dans la bibliothèque ces signaux sont déjà audibles. C'est l'une des premières fonctions opérées par le logiciel. 3) Dès que le signal s'affiche dans la partie basse de l'interface, je peux l'écouter en choisissant la fréquence d'échantillonnage à laquelle je souhaite l'entendre. Ainsi que cela a été évoqué plus haut la transformation des signaux sismiques en signaux sonores est techniquement assez simple car leur morphologie est très

³³ En réalité il y en a plus mais je dois ici alléger la description pour des raisons de clarté du discours.

semblable; morphologie représentée par les courbes du schéma cartésien. D'ailleurs, l'un des moyens de vérifier la validité de la transduction, est la comparaison de la forme de ces courbes qui doivent être visuellement identiques. En choisissant une fréquence d'échantillonnage se situant dans le domaine de l'audible je transforme simplement les ondes sismiques en ondes sonores. Cette première phase d'écoute me permet de sélectionner certains fichiers afin de les envoyer dans la seconde interface, le Laboratorio.

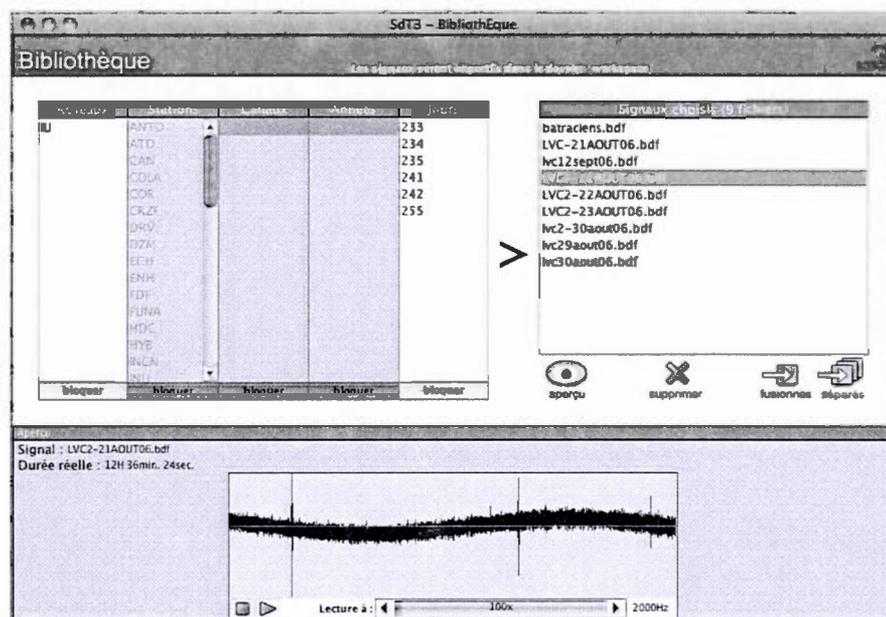


Fig. 2.17 – Les trois fenêtres de la Bibliothèque : à gauche la base de données, à droite le fichier sismique sélectionné, en bas le schéma de l'onde du fichier sismique choisi.

2.2.3.2 Le Laboratorio

Le Laboratorio affiche immédiatement deux parties. 1) dans la partie gauche se trouvent les fichiers qui ont été sélectionnés depuis la "bibliothèque". En bas se trouve une fenêtre qui me permet d'écouter, de renommer et de commenter les signaux. Lorsque je souhaite les entendre et les travailler, je les envoie dans la partie à droite. 2) À droite se trouve l'espace de travail qui ressemble à un logiciel de traitement musical (Fig. 2.18).

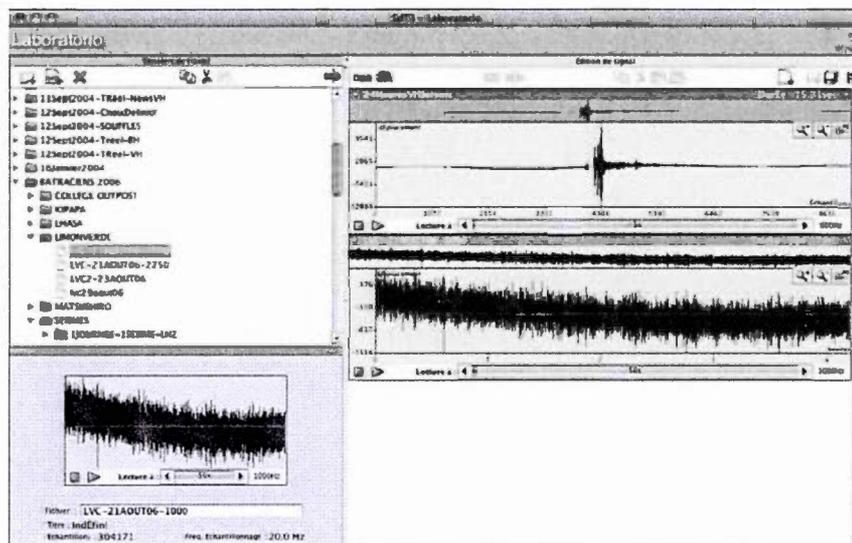


Fig. 2.18 – Les trois parties du Laboratorio. 1 - En haut à gauche les fichiers et les dossiers des signaux sismiques qui ont été sélectionnés. 2 – Sous cette liste, le fichier sélectionné qui montre le profil de l'onde. Il peut être écouté, renommé, commenté. 3 – À droite l'interface de traitement du signal dans laquelle on peut intervenir sur le fichier, ouvrir des sous-fenêtres pour faire apparaître le spectre par exemple ou un espace pour les commentaires.

Cette interface réalisée en Java fut un vrai cadeau et un instrument d'investigation sonore de tout premier ordre. Lorsque l'on est dans cette interface, les ondes bien que conservant visuellement la même forme que celles des signaux sismiques sont désormais des signaux sonores. La première fonction essentielle est celle qui me permet d'écouter les signaux à n'importe quel pas d'échantillonnage (ce qui fut une prouesse technique car le hardware du PC avec lequel nous travaillions n'était pas conçu à cet effet). L'autre fonction essentielle fut de pouvoir effectuer la sélection des extraits des fichiers en les coupant et les collant sur une nouvelle piste. L'extraction ne consistant pas seulement dans le copier/coller d'un extrait du signal mais dans "son agrandissement", comme s'il s'agissait d'une focale sonore. En effet, étant donné la grande amplitude des signaux, le fait de sélectionner certains "détails" temporels permet d'agrandir tant la représentation graphique de la courbe du signal que d'en agrandir son intensité sonore et d'agrandir ainsi acoustiquement les détails qui le constituent (fig. 2.18). Dans le signal du haut, un événement sismique très intense, d'une grande amplitude, est représenté par une oscillation verticale. L'amplitude de cet événement "écrase" les autres événements qui deviennent peu audibles et peu différenciés. Le schéma du bas

représente l'extrait d'un signal duquel le grand événement sismique a été exclu. Ainsi l'extrait peut occuper toute l'amplitude de la piste sonore.

On a effectué ici une normalisation du signal. Simon Vanesse a fait en sorte que cette agrandissement visuel ait son corrélat sonore me permettant ainsi de rentrer dans la matière sismique grâce à l'écoute. Écouter la Terre. J'avais atteint ici mon premier objectif grâce à un instrument, le logiciel SdT d'une grande précision faisant émerger toute la richesse spectrale des ondes terrestres. Il ne s'agissait pas simplement d'une résolution technique. Ou il ne s'agissait que de cela. "Que" n'étant pas restrictif mais exprimant au contraire tout le merveilleux de ce que la technique rend possible, lorsqu'elle accomplit le projet artistique. Je passais des semaines à écouter de nombreux enregistrements afin de découvrir ce que cette matière recelait, jusqu'à sélectionner des bandes de fréquences et des stations sismiques.

En effet chaque station sismique produit des sonorités différentes. Cela vient du fait que le milieu hétérogène de la Terre traversé par les ondes sismiques vibre et résonne de façon différente selon l'endroit de la Terre où les sismomètres sont posés. Enfin les bandes de fréquences, ainsi qu'on en a déjà parlé, révèlent des échelles temporelles diverses. Avant d'évoquer les choix faits pour les différentes installations je souhaite parler d'une autre fonction importante du Laboratorio, fonction que l'on retrouve dans tous les logiciels de traitement du signal mais dont le rôle dans cette recherche prenait une autre dimension. Il s'agit de l'analyse du spectre. Cet outil est familier pour toute personne qui travaille le son numérique. Dans le cas du travail avec les ondes sismiques, cette fonction permet de voir, grâce à la représentation conventionnelle du spectre sous forme graphique, la part du signal qui n'est pas audible (fig. 2.19).

En effet, si j'écoute par exemple à 1000 Hz le signal de Limon Verde, qui est un VBB (20Hz), j'ai alors multiplié par 50 la fréquence du signal. Ainsi je fais passer dans le domaine de l'audible une partie du signal mais pas la totalité, car certaines longues fréquences, bien qu'elles soient multipliées par 50, ne passent pas dans le domaine de l'audible. Une partie reste dans le champ de l'in audible et le spectre m'indique quelle "quantité" du signal est restée imperceptible. Lors de l'écoute je mets en œuvre une approche sensible. Le choix des stations et des bandes de fréquences est tout à fait arbitraire d'un point de vue scientifique. Lors de

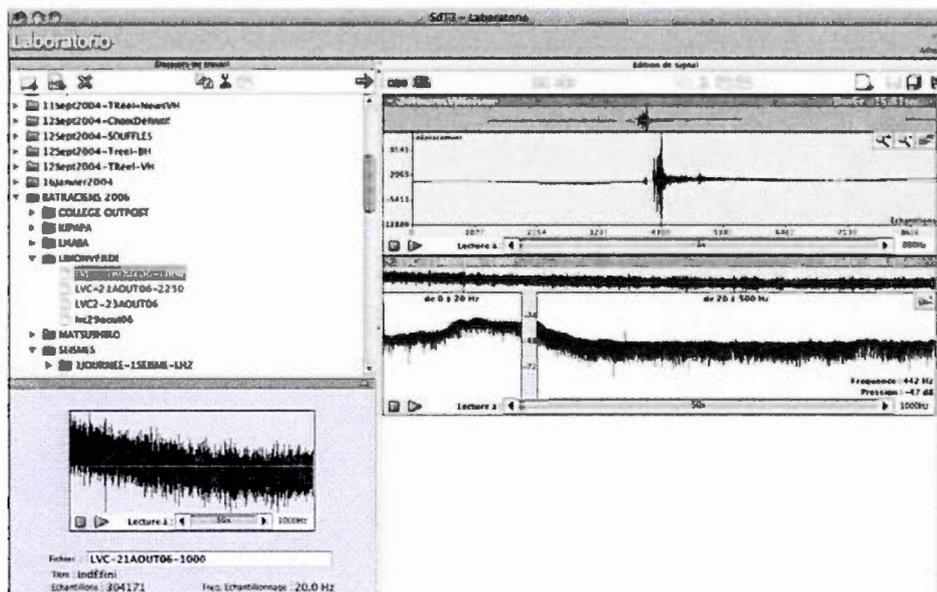


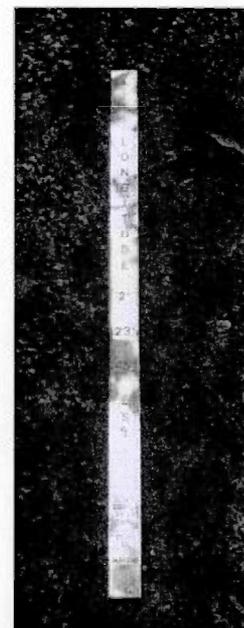
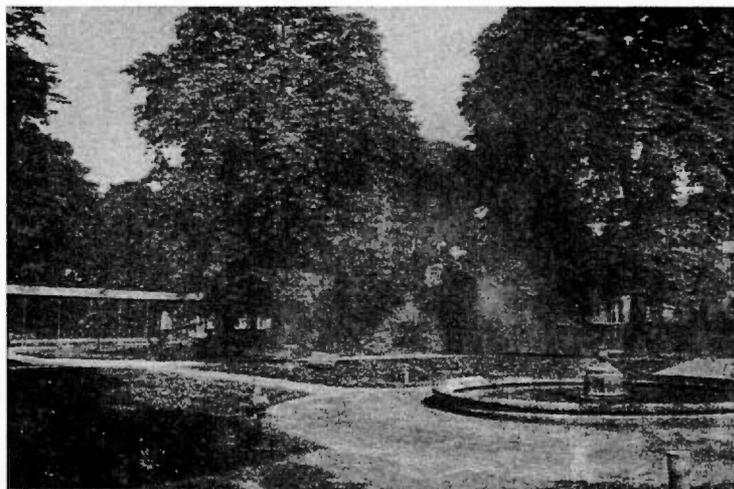
Fig. 2.19 – Logiciel SdT3, Laboratoire. Le 2^e signal en bas à droite, le même que dans la figure précédente montre cependant l'affichage du spectre. Ce signal ici a été accéléré à 1000Hz. À cette vitesse de lecture, on observe visuellement dans la partie gauche, la part du signal qui est restée sous le seuil de l'audible. En revanche la partie droite, montre l'ensemble des fréquences qui ont été rendues audibles grâce à l'accélération des fréquences.

l'écoute je cherche la Terre. Une Terre imaginée. Je ne saurais dire plus précisément l'objet de ma recherche mais lorsque certains sons apparaissent ils évoquent puissamment la Terre. Je détermine ainsi la fréquence d'écoute en fonction de la puissance évocatrice du son. Ainsi le spectre n'influencera pas les choix esthétiques bien que cette fonction soit très importante sur le plan de la compréhension de la transduction que j'opère.

2.2.5 Fréquences et échelles dans *Le souffle de la Terre*

L'Étude n°1 et l'Étude n°3 explorent deux sources sismiques différentes.

L'Étude n°1 (fig. 2.20 à 2.25) révèle les ondes sismiques qui se déploient sur plusieurs semaines et utilise les données VLP. Le graphe de la figure 2.13 montrait ces grands cycles ponctués par des phénomènes sismiques de grande amplitude. Cette installation était destinée à rendre sensibles ces rythmes réguliers, visualisés initialement sur les graphiques, qui ont



Le Souffle de la terre, Etude n°1, Mai-juin 2001, Jardins secrets, Parc de l'hôpital Charles Foix, Ivry-sur-Seine - France. Fig. 2.20 (ci-dessus) Vue de l'emplacement et représentation de la diffusion des sons dans l'espace. Fig. 2.21 (ci-contre) L'une des deux réglettes de laiton à fleur de sol sur laquelle sont gravées les coordonnées terrestres de l'installation. Ici la longitude. Fig. 2.22 (en bas à droite) Îlot arboré, centre de l'installation. Les visiteurs arrivaient par les chemins. Leur arrivée dans un périmètre défini par des capteurs de présence déclenchait le son pendant 15mn. Le lieu redevenait silencieux en l'absence de visiteur. Fig. 2.23 (ci-dessous) Vue axonométrique du site.



- Emplacement des pierre-sièges devant le public à d'usage et écouter
- Emplacement des haut-parleurs
- Emplacement de lignes d'arrivée de son, sur lesquelles sont gravées les coordonnées terrestres de l'œuvre

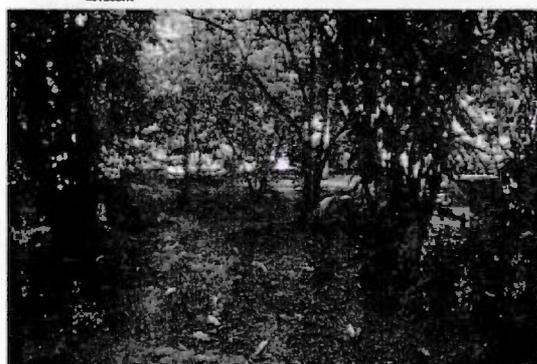


Fig. 2.24 (ci-contre) Vue des pierres sous les arbres sur lesquelles les visiteurs pouvaient s'asseoir. Fig.25 (ci-dessus) Caisson de basse, en partie enterré, au centre de l'installation.

marqué l'origine de ce projet. D'un point de vue sonore on entend une nappe bruitée, relativement monocorde dont l'intensité varie de façon décroissante jusqu'au silence puis dont le volume croît de nouveau jusqu'à un certain seuil pour décroître de nouveau (◀ fig. 2.26)³⁴ et ainsi de suite.

Ce bruissement est lui-même provoqué par les microséismes permanents visibles sur l'onde porteuse. Cette mélopée terrestre est parfois interrompue par des grondements percussifs aux sonorités tantôt sourdes, tantôt profondes, tantôt fluides, tantôt explosives. Ce sont les séismes de haute intensité. La membrane des haut-parleurs oscille de façon homothétique avec le graphique. L'axe des abscisses correspond à la position neutre de la membrane du haut-parleur et les oscillations du signal qui passent au-dessus et en-dessous des abscisses la mettent en vibration à des fréquences supérieures à 20Hz et c'est ainsi qu'elle génère le son. Dans *l'Étude n°1* qui exploite les très longues fréquences des marées lunaires et solaires, on observe que les courbes de celles-ci passent approximativement toutes les 20 secondes par l'abscisse (avec la fréquence du signal que j'avais choisie. Un autre choix aurait modifié cette périodicité). Ainsi la membrane du haut-parleur est étirée périodiquement, toutes les 20 secondes aussi, soit en deçà soit au-delà de sa position neutre. Et lorsque la crête de l'onde est au plus haut ou au plus bas, la membrane du haut-parleur est trop tendue pour vibrer et révéler les microséismes qui engendrent ce murmure sonore et le volume ainsi décroît car la membrane n'est plus en mesure de vibrer et de produire du son. Du point de vue de l'écoute cette respiration terrestre, rendue audible par la variation de l'intensité sonore, produisait une sensation de lent ressac, doux et profond à l'image de "ma" Terre (◀ fig. 2.26). *L'Étude n°1*, exposée au Parc Charles Foix d'Ivry-sur-Seine lors d'une exposition collective de sculpture en 2000, n'exploitait pas encore le traitement en temps réel mais le simulait. La confrontation à un milieu extérieur me permit de vivre et de penser le son dans sa dimension physique. En plein air ces basses fréquences se mêlaient au vent et semblaient parfois être le vent même. Par ailleurs n'ayant que très peu de surface de réflexion (contrairement à un milieu fermé) elles se dissipaient dans l'atmosphère du parc. Cette matérialité du sonore dans l'espace, avec lequel je faisais connaissance lors de cette première installation, est une dimension spécifique

³⁴ ◀ Fig. 2.26 : *Le Souffle de la terre, Etude n°1*. (2000) Extrait sonore (à écouter au casque). Jardins Secretst IV.Ivry-sur-Seine : Parc de l'Hôpital Charles Foix. Consultable sur mon site : <http://abenavoli.net/projects/le-souffle-de-la-terre-etude-1/>

de ce travail de transposition; elle sera abordée ultérieurement dans ce chapitre dans le paragraphe consacré à l'espace.

Dès *l'Étude n°3* (fig. 2.33-2.37 p.74) je privilégiai les signaux en VBB (F_e^{35} : 10Hz) car ils offraient beaucoup plus de détails et de variations sonores. Ce qui m'obligea à abandonner la forme du "souffle" et à me concentrer sur une matière plus compacte mais en même temps plus variée. Le choix de cette échelle mettait en évidence les micro-mouvements perpétuels de la Terre, ne laissant apparaître aucun événement périodique. En revanche, il apparaissait une grande richesse timbrale, vibrante, avec de nombreux événements sismiques audibles ne renvoyant cependant pas à une réalité connue de la géophysique. Cette matière sonore révélée par ce traitement du signal est nommée le "bruit de fond microsismique"³⁶. Ces sonorités s'avéraient hétérogènes révélant des timbres, des amplitudes et des temporalités multiples.

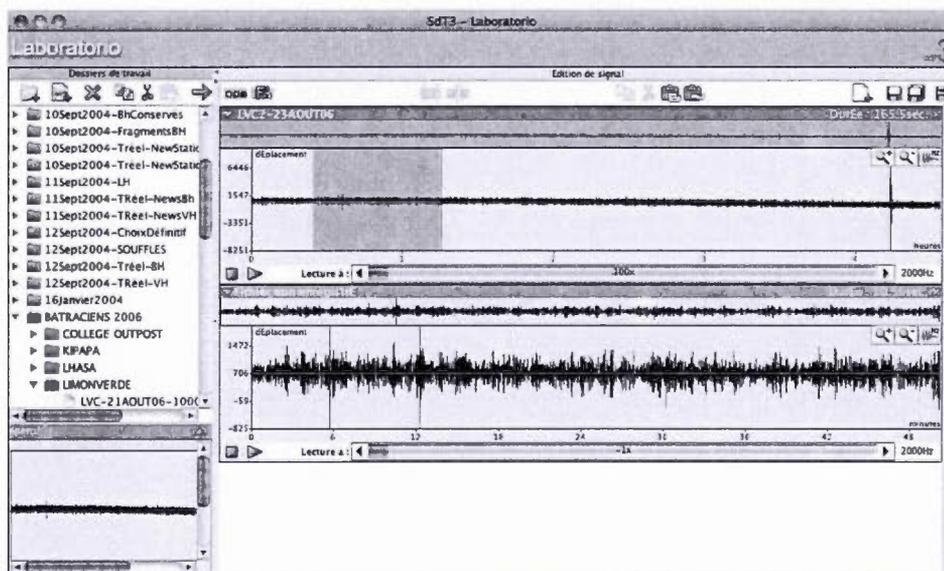


Fig. 2.27 – Interface de Sdt3 sur laquelle on voit deux pistes représentant un même signal. Celui du bas montre la sélection extraite du premier signal en VBB de la station Limon Verde au Chili. L'agrandissement visuel a son corrélat sonore : les détails fréquentiels et l'amplitude sont eux aussi amplifiés.

³⁵ F_e : Fréquence d'échantillonnage

³⁶ La notion de bruit de fond micro-sismique est désignée ainsi par la géophysique bien avant que le son ne rende audible les données sismiques. Ici le "bruit", correspond à des données observées sur les graphiques qui ne correspondent à aucune forme identifiable par les géophysiciens.

Sur la figure 2.27, on peut voir deux profils d'un même signal sismique. Le premier comporte une secousse sismique de haute intensité. Le deuxième est un extrait qui exclut la secousse sismique. On y voit apparaître le détail, de ce qui semblaient être de très infimes oscillations dans la piste du haut, devenir soudain un signal aux fréquences multiples et très contrastées. Du point de vue de la science - et probablement de la musique - ce signal ne représente que du "bruit", c'est-à-dire une organisation chaotique dont on ne peut extraire aucune information. De mon point de vue ces signaux étaient des boîtes de Pandore : une substance contenant de mystérieuses énergies que le son allait révéler. Et en effet *l'Étude n°3* donna à entendre des joyaux sonores issus de cinq stations différentes, choisis pour leur sonorités particulières, qui laissent entendre de très grandes variations parmi lesquelles quelques harmoniques tout à fait inattendues. (◀ fig. 2.28 à 2.30)³⁷.

Cette installation exposée en intérieur à l'Ircam, permettait une mise en espace plus sophistiquée que dans le Parc d'Ivry-sur-Seine. La variété des sources imposant aussi une complexité formelle plus grande. Enfin la dimension innovante de cette version consistait dans le traitement temps réel des données, dimension projetée dès l'origine du projet et si longtemps attendue.

2.2.6 Ecouter la Terre en temps réel

Dans le cadre du *Souffle de la Terre*, la notion de traitement en temps réel ne renvoie pas à l'interaction humain-machine mais au traitement "immédiat" de la captation des données sismiques en son, c'est-à-dire à leur transduction automatisée, sans latence. L'idée de départ était assez simple : entendre sans différé le déroulement des mouvements et des frémissements de la Terre. Conceptuellement l'idée était de laisser poindre acoustiquement la forme imprévisible et imprédictible des vibrations de la Terre dont la disparition immédiate constituait un parti pris esthétique fondamental. Présenter une œuvre qui était simultanément

³⁷ ◀ Fig. 2.28 : *Souffle de la Terre, Étude n°3*. Captations de Qiongzong Guangduong, Chine, 2004; ◀ Fig. 2.29 : *Souffle de la Terre, Étude n°3*. Captations de Limon Verde, Chili, 2004; ◀ Fig. 2.30 : *Souffle de la Terre, Étude n°3*. Captations de College Outpost, Alaska, 2004. Trois extraits enregistrés lors de l'exposition *Résonances*, Ircam (2004) consultables sur mon site : <http://abenavoli.net/projects/le-souffle-de-la-terre-etude-n3-2004/>. (à écouter au casque).

permanente et en métamorphose constante, permanente et évanescence. Cela constituait l'aboutissement de mes recherches en art. C'est là que la notion de forme temporelle introduite en début de chapitre a pris tout son sens. Sur le plan de la sculpture, qui constituait le cœur de ma pratique et de ma réflexion, cette œuvre temporelle s'opposait à la staticité de l'objet sculptural, l'œuvre devenant ici un processus d'apparition et de disparition de la forme, déjà engagée avec la sculpture d'eau réalisée quelques années auparavant (Fig. 2.3 et 2.4). Ainsi, réaliser une œuvre permanente, dans un lieu dans lequel on irait écouter la Terre et ses variations infinies, était désormais techniquement possible.

Un problème technique majeur est apparu lorsque nous avons voulu rendre audibles en temps réel les ondes sismiques. Ainsi que cela a été exposé plus haut, on "compresse" les ondes dans le temps pour pouvoir les entendre. Alors comment rendre audible en temps réel une forme qui ne peut se déployer que dans une durée de temps plus brève que sa durée réelle?

L'*Étude n°3* a proposé une réponse technique et esthétique pour résoudre cette question. L'onde sismique est continue. Sa captation et sa diffusion sur le web en temps réel est une première phase du travail qui a été résolue par le réseau de recherche en géophysique³⁸. À partir de 2002, notre travail consista 1) à récupérer ces données sur le web, 2) à les transformer en un format que Max³⁹ puisse lire, 3) à traiter ces signaux afin de les transformer en sons et d'organiser leur spatialisation, en temps réel.

L'*Étude n°3* a été exposée du 13 au 22 octobre 2004. Je travaillais alors avec les données sismiques recueillies durant ce même laps de temps. Prenons par exemple la station Limon Verde au Chili que l'on entend dans les extraits sonores (☛ fig. 2.29) et dans la vidéo (☛ fig. 2.31)⁴⁰. Imaginons que je souhaite diffuser les ondes en sa provenance à une fréquence de

³⁸ Géoscope et Liss (déjà cités en détail plus haut).

³⁹ Le logiciel de programmation Max-msp était utilisé pour l'installation. Le logiciel SdT permettait dans un premier temps de sélectionner les stations sismiques et les fréquences de diffusion. Une fois identifiés ces deux paramètres, avec Max nous les expérimentions dans l'espace d'exposition, programmions la durée, le volume, éventuellement le filtrage et la spatialisation, puis nous automatisions tout ce processus.

⁴⁰ ☛ Fig. 2.31 : *Souffle de la Terre, Étude n°3*. Installation. Festival Résonances. Ircam (Octobre 2004). Vidéo consultable sur mon site <https://vimeo.com/33131118>

200Hz. Puisque j'ai un signal d'origine à 10Hz, pour obtenir 1 seconde d'ondes sonores, je dois compresser 20 secondes d'ondes sismiques.

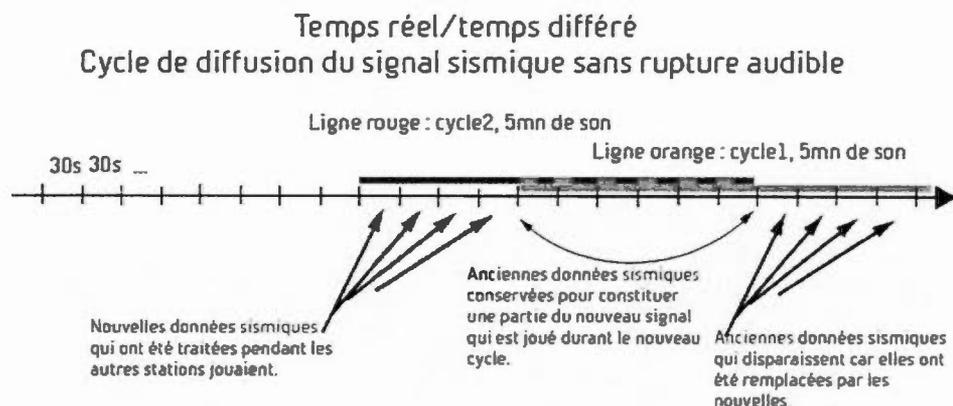


Fig. 2.32 – *Souffle de la Terre, Étude n°3*. Schéma montrant le principe de renouvellement du signal sismique audifié, dans le temps, en provenance d'une station sismométrique, de façon à obtenir une continuité sonore dans l'espace d'exposition.

Dans l'exposition à l'Ircam j'avais 5 sources sismiques situées respectivement au Japon, en Chine, au Chili, en Équateur et aux Etats-Unis. J'avais choisi une fréquence de diffusion différente en fonction de leur qualités sonores propres identifiées auparavant avec mon logiciel SdT. L'idée étant, que chacune de ces 5 stations joue durant 5 mn, l'une après l'autre. Après un cycle de 25mn où chacune a été jouée, on revenait à la première station. Celle-ci a eu le temps durant ces 25 minutes de télécharger, traiter et intégrer de nouvelles données sismiques qui remplacent les plus anciennes qui, elles, disparaîtront (fig. 2.32).

Reprenons l'exemple de Limon Verde afin de comprendre comment ce renouvellement a lieu. Dans le cas de cette station il me faut 100mn de données sismiques pour obtenir 5mn de sons. 25mn ne suffisent donc pas au signal pour se renouveler totalement. Pour pouvoir diffuser le son sans opérer de rupture auditive, on a divisé les 5mn de donnés sonores en 10 unités de temps de 30 secondes (fig. 2.32). Ainsi les nouvelles données sismiques traitées viennent s'insérer dans ces interstices de 30 secondes et rejoignent les ondes précédemment traitées. Étant donné qu'il n'y a pas eu de rupture dans le traitement des données pendant que les

autres stations jouaient, la jonction entre les ondes plus anciennes et les nouvelles coïncident parfaitement et il n'y a pas de rupture du signal et donc pas de rupture auditive. On procède ainsi de la même façon avec toutes les stations. Il ne s'agit donc pas tout à fait d'un traitement en temps réel, en ce sens qu'il n'y a pas de coïncidence exacte entre la durée de signal sismique et la durée du signal acoustique, ou dit autrement il y a un différé constant dont la latence n'est pas perceptible. Du point de vue de la perception, on ne peut saisir les variations de la Terre (au regard de mes choix de transduction) que lorsque l'expérience de l'écoute est réitérée à distance de quelques heures, d'une journée ou de plusieurs jours. Car il y a de très grandes variations sur cette échelle de temps. J'ai opté pour le maintien d'une certaine lenteur perceptible et la temporalité expérimentée lors de l'écoute de cette installation nous transporte au sein d'un paysage minéral grave mais aussi apaisant et hypnotique. Cela n'empêche pas la manifestation d'événements sonores vifs et accidentés comme ceux entendus dans la vidéo qui rend compte de Limon Verde, où les sons sont ponctués par de nombreux objets sonores explosifs. On peut aussi entendre d'importantes accélérations qui nous transportent dans des tempêtes telluriques souterraines. C'est d'ailleurs l'échelle temporelle de ces variations qui rend pertinente la réalisation d'une œuvre permanente.

Si la dimension temporelle est fondamentale dans ce processus d'audification, le son comme médium, pour rendre compte de cette réalité énergétique imperceptible, ne se limite pas à la modification de sa fréquence d'échantillonnage. Le choix de ses dimensions spatiales telles que la spatialisation dynamique et l'immersion est tout aussi décisif. Pour mieux comprendre revenons à l'analogie avec la perspective. On sait tous que pour construire une peinture en perspective on doit transposer les données visuelles en données graphiques exploitant des règles précises : point de fuite, ligne de terre, ligne d'horizon, lignes de fuite... Mais lorsque l'on devient familier de la perspective on sait d'une part que ces règles ont de multiples façons d'être utilisées selon la dramatisation que l'on veut exprimer au sein de la peinture. Une fois la perspective mise en place, les valeurs, les couleurs, le dessin vont moduler la représentation perspectiviste. Et là encore, il y a autant de façons de travailler qu'il y a d'intentions que les artistes veulent exprimer. Il ne suffit donc pas de construire correctement la perspective, il faut lui donner corps grâce au médium de la peinture et à la lumière qui émane du tableau. Avec l'audification c'est exactement la même chose. On a compris dans le

cadre du *Souffle de la terre* la façon dont les données sont transduites. Mais si cette étape est nécessaire elle n'est pas suffisante pour bâtir une œuvre qui renvoie à la réalité que l'on tente de saisir et ce à quoi on veut donner corps. Ce sont ces autres dimensions du sonore que nous allons maintenant aborder ici et qui pourraient se résumer à un seul concept : l'espace qui, dans la plastique sonore, fait appel à de nombreuses dimensions.

2.2.7 Le son et l'espace dans le *Souffle de la Terre*

C'est le jeu et la tension entre les dimensions spatiales et les dimensions temporelles qui constituent la matérialité et la plasticité de l'œuvre sonore. En fait il serait plus exact de parler de dimensions spatio-temporelles multiples ou à l'instar de Raoul Hausmann du Sens-Temps-Espace⁴¹ (Hausmann, 1922). Le son électronique – puisque c'est de cela dont il s'agit dans ce projet - est un matériau qui produit du temps et de l'espace. Ce paragraphe se concentre sur les divers espaces que le son a la faculté de produire. Parfois ils pourront être évoqués, pour les nécessités du discours, sans leur corrélat temporel mais il est pratiquement et plastiquement impossible de les séparer.

Chaque étude du *Souffle de la Terre* a été l'occasion d'approfondir chacune des dimensions que l'on va détailler ici. 1 - Gardons en mémoire que l'espace plastique et symbolique primordial et englobant auquel ce projet cherche à donner corps est celui de l'*Einführung*. C'est l'immersion du corps dans le son, grâce à un dispositif de diffusion à plusieurs haut-parleurs et à une spatialisation dynamique, qui en propose un premier modèle. 2 – Il y a ensuite l'espace géographique et topographique originaire où se situent les stations sismiques sur le volume terrestre. La transposition dans l'espace d'exposition de ces sources géographiques constitue un deuxième élément de spatialisation du son, en tentant une représentation de cette dimension géographique dans l'installation. 3 – L'espace physique du lieu d'exposition constitue une troisième dimensions spatiale. C'est l'espace physique de l'œuvre sonore qui est travaillée nécessairement *in situ*. Ce qui est donné avec le lieu c'est la qualité volumétrique et acoustique avec laquelle l'œuvre doit jouer. 4 – Enfin l'étendue du lieu d'exposition détermine la surface de déplacement du promeneur qui traverse l'œuvre et ce parcours fait partie de la forme construite de l'œuvre mais contient aussi beaucoup

⁴¹ Voir Chapitre 5.

d'indétermination. Nous verrons que ce paramètre influe sur le choix des fréquences choisies. 5 – La dernière dimension spatiale abordée, est en réalité la première dans la chronologie du projet, celle que l'on peut d'abord percevoir au casque sur un système stéréo. C'est celle inhérente aux sons eux-mêmes, leurs couleurs, leurs profondeurs, leurs complexités, leurs variations...

2.2.7.1 De l'espace géographique à l'*Einfühlung* de la Terre : immersion et dispositif multi-canal

L'*Étude n°3* (fig. 2.34 à 2.39) est la première installation en temps réel de cette série et la première aussi à avoir été exposée en intérieur, à l'Ircam. Travailler dans un studio de production sonore offrait des conditions idéales pour la maîtrise de l'acoustique. Pour ces raisons, cette étude est aussi la première où les conditions de l'immersion ont été rendues possible.

Sur le plan (Fig. 2.33) on voit la façon dont les haut-parleurs ont été disposés. Les points colorés et circulaires indiquent 5 petits haut-parleurs suspendus (Fig. 2.39). Au-dessus de chacun d'entre eux une ampoule à filament est suspendue ainsi qu'une bannière de papier

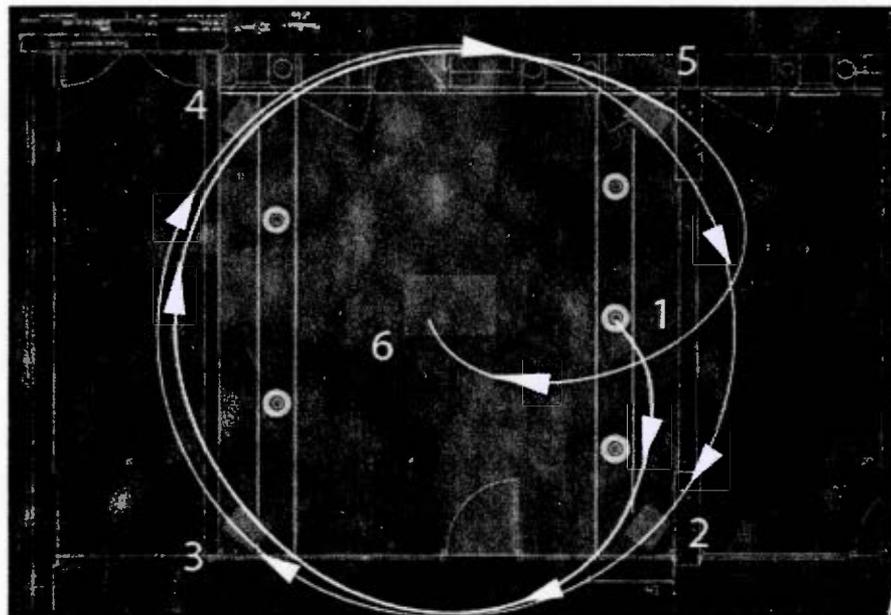


Fig. 2.33 - *Souffle de la Terre, Étude n°3*. Disposition des haut-parleurs et schéma de diffusion spatiale du son.

japonais sur laquelle sont imprimés le nom et les coordonnées terrestres de la station à laquelle le haut-parleur est connecté. Lorsque les données de Limon Verde arrivent à travers le haut-parleur n°1, elles émergent de l'obscurité et du silence. La vibration de la lumière de l'ampoule est le premier indicateur de l'arrivée du signal (☛ Fig. 2.31) puis le son croît doucement localisé par ce haut-parleur. L'environnement obscur est faiblement éclairé par les vibrations lumineuses de l'ampoule qui tremblent de façon homothétique avec les intensités du signal sismique. L'intensité du son augmente pendant une trentaine de secondes jusqu'à atteindre un certain seuil, puis il se déploie dans les quatre haut-parleurs invisibles, indiqués sur le plan par 4 rectangles rouges, placés dans les angles de la pièce obscure. Le son entre dans l'espace grâce à une spatialisation dynamique circulaire représentée par les flèches blanches sur le plan évoquant le voyage circulaire des ondes autour de la Terre. Puis après 3 cycles giratoires le caisson de basse, placé au centre de la pièce, entre en jeu. Dès lors la spatialisation dynamique disparaît pour laisser place à un son massif et immersif, émis par l'ensemble 5.1 de haut-parleurs, occupant tout l'espace du studio. Simultanément des tubes fluorescents de lumière dorée, placés sous le sol, vibrent eux aussi laissant poindre la lumière à travers deux rigoles latérales (☛ Fig. 2.31). Le paysage sonore se déroule ainsi durant 5 minutes pour décroître en quelques secondes jusqu'au silence afin de laisser naître un nouveau signal à partir d'un autre haut-parleur dont le processus de diffusion sonore et lumineux suivra le même schéma. Ce qui différencie le traitement de chacun des signaux c'est la fréquence choisie pour leur diffusion en fonction de leur caractéristiques propres (☛ Fig. sonores 2.28 à 2.30). Dans cette *Étude n°3* l'emplacement des stations, symbolisées par ce dispositif de haut-parleurs dénudés, était positionné en ligne, latéralement, à droite et à gauche du studio. Ainsi dans cette *Étude*, il y a un cycle qui nous transporte auditivement, de la source géographique à l'intériorité de la Terre, grâce à la production d'un environnement sonore massif et immersif, immersion réalisée en partie par la nature haptique des basses fréquences.



Le Souffle de la Terre, Etude n°3, Résonances 2004 - Ircam, Paris - France, Octobre 2004

Fig. 2.34 (ci-dessus) Photomontage donnant une idée de l'espace et des lumières.

Fig. 2.35 (ci-contre) Détail : un des cinq haut-parleurs, avec son ampoule et son bandeau de papier où il est inscrit le nom du lieu de captation et les coordonnées terrestres de celui-ci.

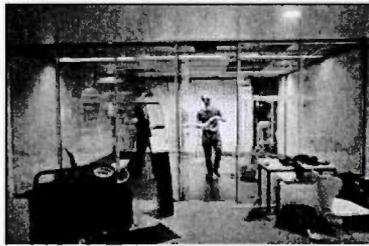


Fig. 2.36 (ci-contre) Photo du studio durant le montage.

Fig. 2.37 (ci-dessous)
Maquette préliminaire du studio avec haut-parleurs, enceintes et caisson de basse.

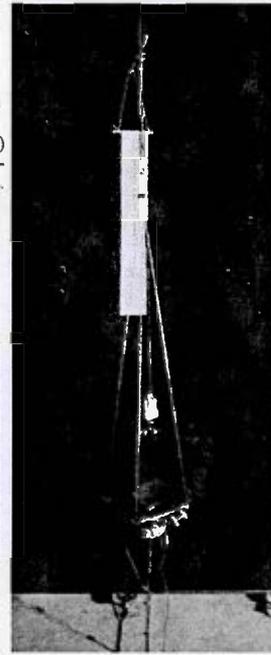
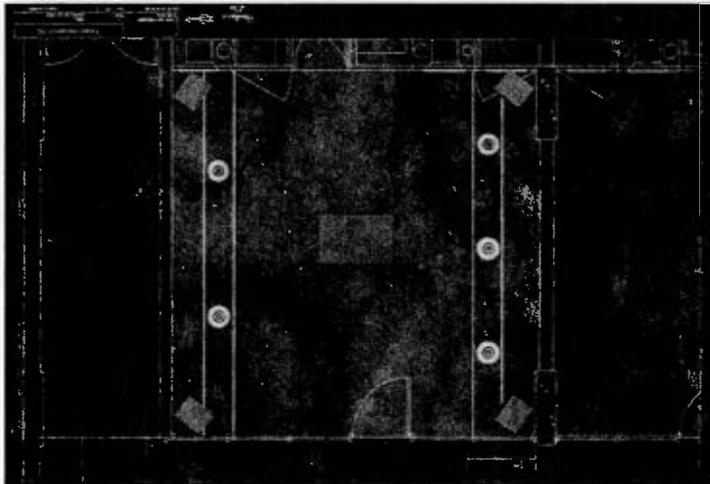


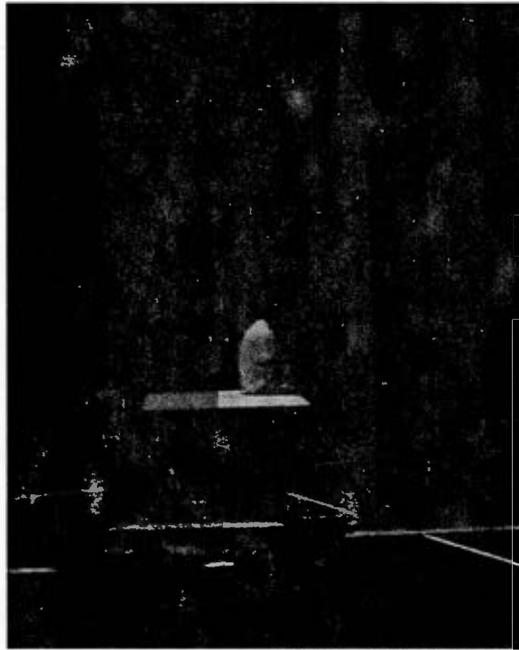
Fig. 2.38 (ci-contre) Plan du studio et répartition des sources sonores dans la pièce.



Dans l'*Étude n°7* réalisée à Savannah en 2007 (fig. 2.39 à 2.43), le volume architectural de la Galerie Pei Ling Chan (EU) était beaucoup plus important. Ancienne succursale bancaire de style néo-classique, les proportions intérieures de son volume offraient un cadre idéal où expérimenter une spatialisation différente. Le plan (fig. 2.41) indique l'emplacement des 5 haut-parleurs reliés aux cinq stations sismiques. Le centre de l'installation est signifié par un parallélépipède blanc sur lequel le public peut s'asseoir et sous lequel se trouve un des deux caissons de basse. Sur ce volume blanc et se poursuivant sur le sol, deux lignes orthogonales, orientées Est-Ouest et Nord-Sud, indiquent les coordonnées terrestres de la Galerie, le long desquelles sont inscrites au sol la latitude et la longitude (fig. 2.43). Les cinq petits haut-parleurs sont placés dans l'espace en fonction de l'angle géographique qu'ils occupent au regard du centre, qui se situe à la croisée des quatre lignes cardinales. Visuellement et auditivement cette composition modifie l'écoute et renvoie plus explicitement à l'espace géographique bien qu'elle ne l'illustre pas. Cela ajoute une dimension spatiale et met en place de nouvelles correspondances entre les sources et le dispositif sonore et visuel. Cela nous conduit à la 3^e dimension spatiale évoquée dans l'introduction : l'influence des spécificités de l'espace architectural sur l'œuvre.

2.2.7.2 De l'espace architectural à l'espace auditif : acoustique locale et déplacement

Il y a deux dimensions architecturales principales qui influencent la mise en espace du son : l'acoustique propre au lieu et son étendue à parcourir par le visiteur-expérimentateur. Chaque installation dépend intimement de ces deux paramètres. Dans la cadre du *Souffle de la Terre* les sonorités sont globalement assez basses et même si de nombreuses saillances fréquentielles et timbrales émergent des variations graves, ces dernières sont dominantes. Les ondes sonores ont des caractéristiques, à certains égards, étonnamment proches d'un solide : si les surfaces des murs, du sol et du plafond d'exposition sont très réfléchissantes (par exemple si elles sont de verre et de béton lisse), les ondes sonores, comme des balles, vont rebondir et se mêler aux autres ondes en train d'être diffusées. Plus les ondes sont basses, plus elles sont physiquement longues et dans un contexte réfléchissant de petite dimension leur déformation amoindrira leur définition, on perdra beaucoup de détails du son. Chaque étude du *Souffle de la Terre* a résolu cette question par des dispositifs variés en fonction de cette qualité acoustique propre au site, de façon à conserver le "dessin" des

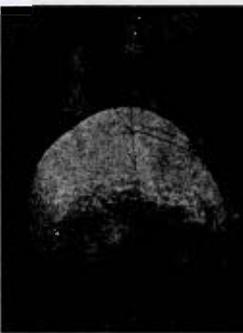
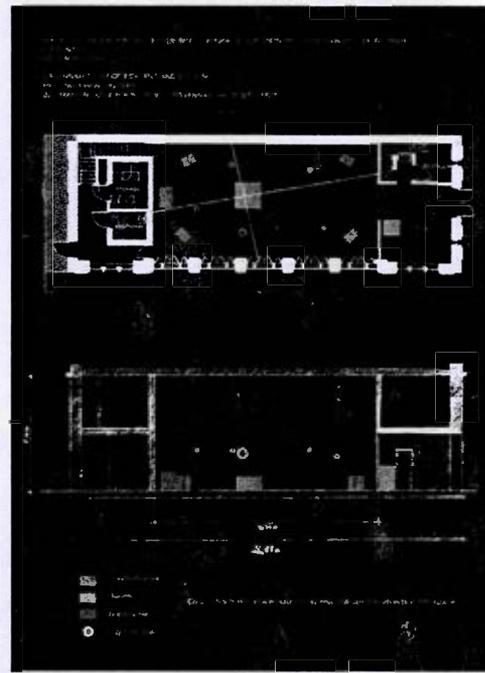


*Pulse of the Earth,
Study n°7,
SCAD,
Pei Ling Chan Gallery,
2007*

Fig. 2.42 (ci-contre) Montage. Les panneaux absorbants sont prêts à l'accrochage. **Fig. 2.48** (ci-dessous) Point de vue latéral de l'installation et trois détails.



Fig. 2.39-(ci-contre) Coeur de l'installation. **Fig. 2.40**- (ci-dessous) 4 photos montrent le volume intérieur et l'extérieur de la galerie. **Fig. 2.41** (ci-dessous) Le plan et l'élévation de la galerie avec la disposition des haut-parleurs, les caissons de basses et les lignes des coordonnées terrestres.



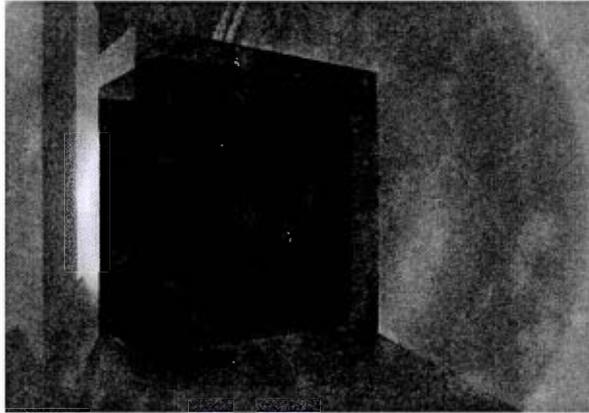
signaux sonores. Dans l'*Étude n°7* évoquée ci-dessus, des panneaux absorbants ont été placés de façon régulière sur les murs afin de pallier la résonance spécifique de ce grand parallélépipède qu'est la Galerie Pei Ling Chan (fig. 2.40 et 2.41).

Dans le cadre de l'*Étude n°5* (fig. 2.44 à 2.51) exposée au FRAC Lorraine, la salle d'exposition, bien que plus petite, était tellement réverbérante que, lorsqu'on se tenait à un bout de la salle, l'on ne distinguait pas les paroles qu'une personne prononçait à l'autre bout. Cette contrainte, a été l'occasion de jouer avec l'architecture, et de créer une cella en bois, isolée phoniquement par de la laine de verre à l'intérieur de parois très larges (fig. 2.50 et 2.51), dans lesquelles se situaient les haut-parleurs et l'ensemble du dispositif audio. Cette cella contenait le système de diffusion audio et on profitait à l'intérieur de ce volume de la richesse sonore des sources sismiques. Les 5 sources évoquées par les ampoules et haut-parleurs ont été éliminées du dispositif bien que la séquence de diffusion ait été conservée. Chaque étude du *Souffle de la Terre* a ainsi impliqué des stratégies spécifiques caractéristiques de *l'in situ* des œuvres sonores. Rappelons ici que fort peu de lieux d'exposition ont intégré dans la conception de leur structure ces aspects acoustiques. Il revient donc à l'artiste audio de trouver des solutions. C'est ainsi que la richesse du son, issu de la transduction des ondes sismiques, doit intégrer le paramètre acoustique local pour pouvoir exister pleinement.

2.2.7.3 L'espace de la déambulation

Si on compare ici les études convoquées depuis le début de ce chapitre : l'*Étude n°1* dans un parc, l'*Étude n°3* dans un studio son de 25 m², l'*Étude n°5* et sa cella, l'*Étude n°7* dans une ancienne succursale bancaire, chacune propose des stratégies spatiales afin d'orienter le parcours et l'écoute du visiteur.

C'est lors de l'*Étude n°7*, à Savannah, que la question de la relation entre le choix des fréquences de diffusion et la dimension du lieu d'exposition m'est apparue. Il importait d'ajuster la fréquence des sons en fonction de l'étendue que le visiteur avait à parcourir et des formes de déplacements possibles. Ici le terme de fréquence concerne surtout le paramètre de la vitesse de diffusion du son. Ayant choisi un corpus de stations sismiques presque



Le Souffle de la terre, Etude n°5
FRAC - Fond Régional d'Art Contemporain de Lorraine. Metz - France. 02 février - 20 mars 2005

Fig.2.44 (ci-contre) Représentation du volume intérieur de la cella et du son qui en émane. **Fig.2.45 (ci-dessous)** Photos du Fonds Régional d'art Contemporain de Metz. La 3e photo montre les fenêtres de la salle où était exposé le Souffle de la Terre.

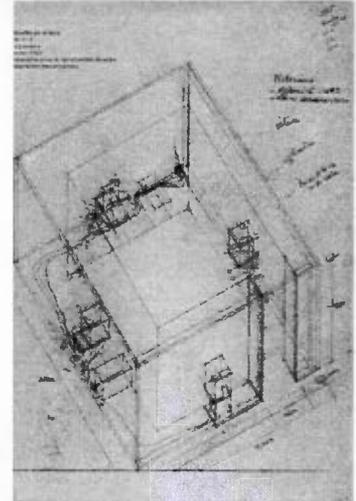
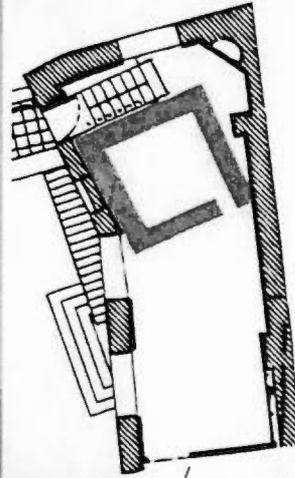
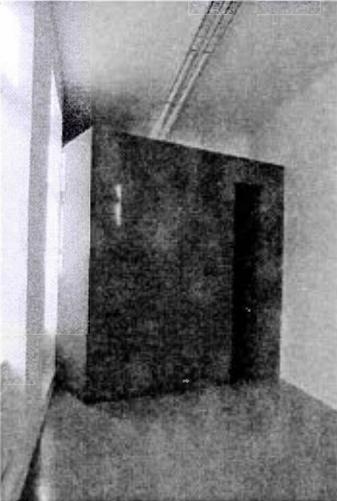
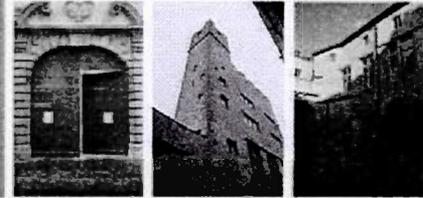


Fig.2.46, 2.47, 2.48 (ci-dessus)
Fig. 2.46-Photographie de la cella contenant dans ses parois le dispositif audio. On rentre dedans pour écouter les sons qui cependant débordent le volume. **Fig. 2.47** - Plan de la cella dans la salle d'exposition. **Fig. 2.48** - Axonométrie montrant le dispositif audio : 4 hp en hauteur et les deux caissons de basse au sol.

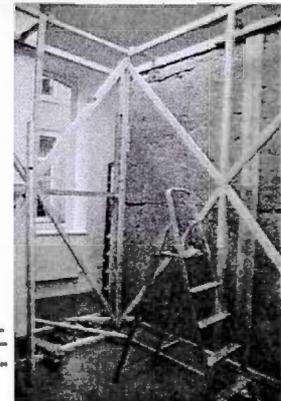
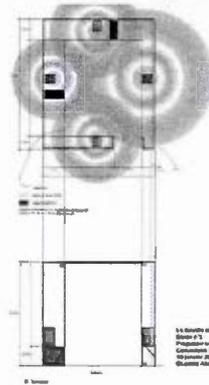


Fig.2.49, 2.50, 2.51 (ci-contre) **Fig.2.49** visiteur sortant de la cella. **Fig.2.50** Projection orthogonale du dispositif audio dans les parois de la cella. **Fig.2.51**- Construction en cours de la cella montrant l'intérieur des parois isolée avec de la laine de verre. Les larges parois sont prévues pour accueillir les hp et les sub. La console et l'informatique sont stockés en arrière de la cella, entre sa paroi extérieure et la fenêtre visible sur la photo.

semblable tant dans l'Étude n°3 (Paris – Ircam, 2003) que dans l'Étude n°7 (Savannah – Pei Ling Chan Gallery, 2007) c'est le rapport entre l'étendue de l'espace d'exposition à parcourir et son acoustique propre, qui ajoutait une variable dans le choix de la fréquence appliquée au signal sismique, c'est-à-dire dans le choix de la transduction du signal sismique en un signal audible. À l'Ircam, l'espace d'exposition était de petite dimension ($5 \times 6 \times 2,60 = 78\text{m}^3$) (voir figures p. 74) avec une acoustique conçue pour la production musicale. Lorsqu'on entrait dans l'espace, on arrivait directement, voire brutalement, dans le cœur de la matière sonore et visuelle de l'installation. Tandis qu'à Savannah, lorsque l'on passait le seuil de la salle d'exposition qui mesurait ($14,50 \times 7,20 \times 6 = 626,4\text{m}^3$) (fig. p.76) on faisait face à une étendue et à grand volume d'espace. L'appréhension visuelle précédait l'auditive et devait indiquer immédiatement le centre névralgique de l'installation afin que le public s'y dirige, ou tout au moins en comprenne intuitivement la composition. Ce centre, matérialisé au sol par le croisement des lignes des coordonnées terrestres de la Galerie et par le cube blanc, opérait comme un cœur autour duquel se déployaient les divers éléments visuels et sonores de l'installation : voiles, lumière, pierre, haut-parleurs, sons (fig. p.76). Pour accéder au cœur de l'installation on devait parcourir une dizaine de mètres. Il me sembla alors devoir choisir des fréquences plus longues qu'à l'Ircam afin d'expérimenter une certaine lenteur dans la traversée de ce grand volume. Tout en réduisant la fréquence du signal, je devais, en même temps, filtrer les fréquences trop basses car l'acoustique de la galerie étant réverbérante, elles auraient noyé l'ensemble du signal acoustique. Le filtrage des très basses fréquences proposait ainsi un son plus dessiné et contrasté lorsqu'on était dans la périphérie de l'installation; puis, en arrivant au centre névralgique, le visiteur pouvait alors être immergé par les graves produites par les caissons de basses et les éprouver tactilement quand il était assis sur le cube blanc. Par ailleurs, entouré par les lés de gaze suspendues, éclairées de l'intérieur⁴², le visiteur était immergé au cœur d'une matière visuelle et sonore.

⁴² La lumière, rasant les lés de l'intérieur, interdisait la vision de ce qui se trouvait au-delà, lorsque l'on était assis au centre (voir fig. 2.44).

2.2.7.4 L'espace que produit le son lui-même

On a évoqué jusqu'ici trois formes d'espace : l'espace géographique dont l'organisation technique et visuelle de l'installation rend compte par des stratégies variées, l'espace du lieu de l'exposition tant dans ses dimensions physiques qu'acoustiques, l'espace-temps engendré par la spatialisation dynamique ou statique du son dans l'environnement. Toutes ces dimensions spatiales concourent à donner corps au médium-son. La quatrième d'entre elles (la première dans la chronologie du projet), est ici, la "partition" imprédictible des ondes sismiques faites de timbres et de rythmes dont la morphologie contient et produit un paysage sonore inédit. Les données audifiées du *Souffle de la Terre* sont, de ce point de vue, étonnamment riches. Inutile d'introduire des effets pour donner corps à la profondeur qu'elles révèlent. Ces échos lointains dont on ne peut localiser l'origine ni le parcours, excavent la mémoire minérale qu'elles traversent et produisent les couleurs spatio-temporelles de l'œuvre, sans autre traitement du signal (▼ Fig. 2.28 à 2.30). Comment nommer cette part essentielle du son? Sa musique? Son corps? Son "air" comme le dit si précisément la langue orale? Sa *forme/matière* comme le propose Pierre Schaeffer? Son timbre? Aucun terme ne semble pouvoir dire l'essence même du sonore. Le timbre reste peut-être le plus approprié, bien que selon Michel Chion il faille l'abandonner⁴³ (Chion, 2006, p. 245). Confions tout de même à ce terme ancien cette quatrième dimension spatiale, qui dessine dans l'air une architecture immatérielle et plastique.⁴⁴

⁴³ En reprenant les typologies de Pierre Schaeffer en vue de décrire les sons, Michel Chion propose le terme *forme/matière* pour remplacer celui de *timbre* et qualifier cette part essentielle du sonore. Le terme *forme/matière* n'est pas très heureux pour remplacer celui de timbre. En revanche l'appareillage descriptif complexe pour en décrire les qualités spécifiques, dont Michel Chion fait la synthèse et la relecture est précieux et plus opérant (Chion, 2006, p.249-270). On gardera donc dans ce texte le terme de timbre pour sa part justement d'imprécision en ayant à l'esprit qu'il n'est pas réductible à son analyse spectrale.

⁴⁴ Un chapitre entier pourrait être consacré au système de diffusion : amplificateur et haut-parleur. De nombreux excellents ouvrages techniques existent à ce sujet et je n'ai pas les compétences pour écrire quelque chose de techniquement pertinent. En revanche il est impossible de parler du timbre et donc de la diffusion sonore, sans penser aux systèmes de diffusion qui ont une grande responsabilité quant à la qualité acoustique du son. Particulièrement pour ce projet, les basses constituant l'essentiel des sons, le rapport classique entre haut-parleurs relayé par le caisson de basse était presque toujours insatisfaisant. Mais citons ici le modèle d'enceinte, testé dans le laboratoire NXI-Gestatio de Nicolas Reeves, qui permettrait une diffusion exploitant toute la richesse du signal issu des ondes sismiques : il s'agit des haut-parleurs PSI Audio qui étaient alors raccordés à une carte Digi002 de Digidesign. Il est aussi certain que les dispositifs utilisés au festival Elektra par exemple seraient très certainement les plus appropriés grâce à la puissance du système et à la qualité des basses.

Dans ce projet, ce sont toutes ces dimensions plastiques du son, qui l'ont institué comme médium, produisant, dans ce contexte de transduction, des œuvres où l'espace et le temps coexistent intimement, donnant corps à l'*Einführung* du monde.

Est-ce que ces ondes sonifiées pourraient être simplement écoutées au casque ou encore diffusée à la radio? Certainement. Et le projet reste ouvert à ces possibilités. Cependant le choix de travailler dans un espace physique où l'air, avec toutes les micro-particules qui l'habitent, devient l'ultime médium du dispositif auditif, s'inscrit dans une volonté de littéralement toucher et traverser le corps tout entier. La dimension immersive propre à ce dispositif auditif élabore un objet sensible qui donne accès au battement du monde et met en partage dans un espace commun (celui de l'installation) cette expérience. Si la transduction des ondes sismiques en ondes sonores constitue le cœur de ce travail de thèse, on ne peut l'envisager sans toutes les dimensions plastiques et spatiales du sonore décrites dans ce chapitre.

2.3 Apparition de la sonification

Dans la première décennie des années 2000, plus je travaillais à ce projet, plus il apparaissait que mon intuition était en train de prendre forme et d'ouvrir des perspectives infinies dans le domaine de la représentation auditive. Mais c'est seulement durant mon cursus doctoral, lorsque je fis mon stage comme directrice artistique à Avatar en 2009, que je découvris, grâce à la rencontre avec l'artiste Peter Sinclair⁴⁵, que cette intuition appartenait en réalité à un jeune et foisonnant domaine de recherche dont le nom générique est la sonification.

Jusqu'en 2007, ma référence pour penser la transduction des données physiques en son, était la perspective. Elle me permettait de penser par analogie deux systèmes bâtis à partir d'une géométrie laissant cependant la place à une pratique poético-plastique. Cette géométrie est construite, dans ces deux systèmes, par la mise en correspondance de deux dimensions. Dans le cas de la perspective, il s'agit de faire correspondre des données spatiales tridimensionnelles sur un plan visuel en deux dimensions. Dans le cas de la sonification, il

⁴⁵ Peter Sinclair est un artiste en art audio qui vit et travaille en France. C'est lors d'une entrevue à propos de son œuvre *RoadMusic*, qu'il était venu présenter dans le cadre du Mois Multi à Québec en 2010, qu'il a inoculé le concept de sonification dans mon esprit, concept devenu décisif dans mon parcours doctoral. Il a soutenu en 2013 une thèse de doctorat en art qui porte partiellement sur la sonification intitulée : *Using Real-Time Data Flux In Art – The Mediation Of A Situation As it Unfolds : RoadMusic – An Experimental Case Study*, University of the Arts London, September 2013.

s'agit de faire correspondre des données temporelles en un système ondulatoire et auditif, en somme, en son. Mais si dans ces deux dispositifs, le système géométrique constitue l'ossature de l'œuvre et en est sa condition première, il n'est pas suffisant pour le faire exister. Le rapport quantitatif géométrique constitue le point de départ de leur construction respective mais le traitement qualitatif du médium est la condition de son existence comme œuvre. Le traité de la peinture d'Alberti qui expose les principes de la perspective est ainsi construit. Il définit dans son premier livre les règles mathématiques de la construction perspectiviste puis dans son deuxième livre il décrit les trois dimensions de la peinture : dessin, composition, lumière, nécessaires pour faire exister la peinture perspectiviste (Vasselín, 2015)⁴⁶. La sonification expérimentée dans le *Souffle de la Terre* procède de la même façon. Je me suis d'abord concentrée sur la fonction géométrique qui met en correspondance ondes sismiques et ondes acoustiques pour faire surgir l'objet sonore mais l'œuvre ne naît qu'à partir des dimensions plastiques du médium son dont les multiples qualités spatio-temporelles énoncées dans ce chapitre constituent la substance : son timbre, son rapport à l'acoustique du lieu, sa faculté immersive, son rapport au déplacement du visiteur, sa spatialisatíon dynamique et statique.

La sonification a la particularité d'utiliser le son comme médium pour révéler des phénomènes non sonores qui seraient inaccessibles autrement. Le *Souffle de la Terre* s'inscrit dans ce domaine. Comment d'autres artistes appréhendent-ils le système de la sonification dans leur œuvres? Afin de répondre à cette question il va d'abord falloir énoncer ce qu'est la sonification, en comprendre ses multiples facettes, ses taxonomies techniques et fonctionnelles, ses applications, sa récente mais néanmoins dense histoire. C'est ce à quoi s'atèle le prochain chapitre tout en introduisant déjà des œuvres qui explorent ce domaine.

⁴⁶ Martine VASSELIN, « TRAITÉ DE LA PEINTURE, livre de Leon Battista Alberti », *Encyclopædia Universalis* [en ligne], consulté le 12 septembre 2015. URL : <http://www.universalis-edu.com.proxy.bibliotheques.uqam.ca:2048/encyclopedie/traité-de-la-peinture-leon-battista-alberti/>

Le Souffle de la Terre

To listen. To hear the ephemeral and the permanent. The arrhythmic breath of our celestial ark.
The sublime sound of chaotic matter. The pulse of the Earth. Topos of origins.



This drawing made in 1996 represent the idea of the project : the Earth becoming sound, going through the air, touching and immersing our body ©Lorella Abenavoli

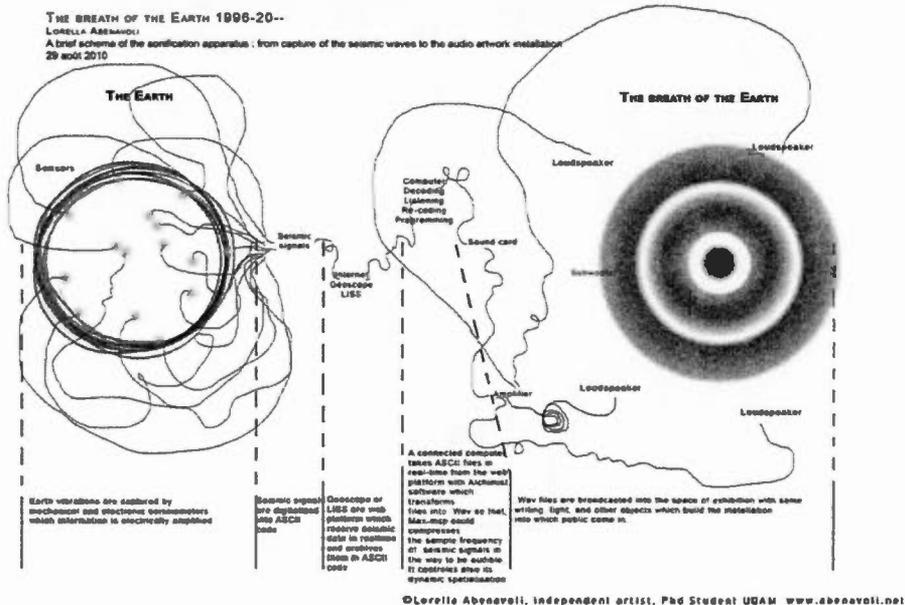


Fig. 2.52 *Le Souffle de la Terre*. Principe du projet (1996, Abenavoli) Dessin du profil du Panthéon de Rome dans lequel est représenté le son de la Terre se déployant dans l'espace.

Fig. 2.53 *Le Souffle de la Terre*. Principe du projet. Schéma du dispositif technique de la captation à la diffusion (Abenavoli, 2012, p.279)

CHAPITRE III

SONIFICATION¹

3.1 Naissance d'un domaine de recherche

3.1.1 *L'International Community for Auditory Display*

La sonification est un néologisme qui désigne une discipline scientifique et une technique. Champ fondamentalement interdisciplinaire, son apparition est corrélative des développements de l'informatique et de ses dispositifs dans le domaine de l'audio. La sonification comme pratique consiste à construire des représentations auditives de données qui ne pourraient être perçues autrement. La sonification comme communauté de recherche se constitue en 1992 lors de *l'International Community for Auditory Display (ICAD)*², fondée sous l'impulsion de Gregory Kramer professeur et chercheur au Santa Fe Institute. La sonification est alors mentionnée comme une sous-catégorie de l'Auditory Display³ qui peut être comprise comme l'ensemble des dispositifs techniques de représentation auditive. C'est

¹ La sonification est un néologisme qu'il ne faut pas confondre avec la sonorisation et de la sonication. Le premier désigne l'équipement destiné à assurer la diffusion du son au cinéma, sur une scène ou un espace public. Le deuxième désigne l'usage des ultrasons à des fins industrielles ou médicales. La sonification est un vocabulaire anglophone, dont la forme est maintenue dans la langue française. Ce qui n'est pas le cas de la plupart du vocabulaire concernant le domaine de l'Auditory Display, qui est presque exclusivement anglophone, par ses origines et par le fait que les textes académiques scientifiques sont eux-mêmes produits en anglais. Cependant, cette thèse traduira quand cela sera possible et lorsqu'ils n'existent pas déjà, les termes anglais, en précisant les raisons et les choix de ces traductions. Parfois seront maintenus certains termes qui ont fait école.

² <http://www.icad.org/about.html>

³ Littéralement Auditory Display signifie "Affichage auditif" et il est traduit ainsi en français dans les rares textes francophones du domaine. "Display" dans le domaine informatique est ainsi défini : " the process or facility of presenting data on a computer screen or other device: *the processing and display of high volumes of information – et - the data or images shown on a computer screen or other device*". <http://www.oxforddictionaries.com/definition/english/display>. On gardera en ce début de texte le terme d'Auditory Display.

en 1999 que des membres chercheurs de l'ICAD⁴ rédigèrent le *Sonification Report : Status of the Field and Research Agenda* adressé à la *National Science Foundation*, en vue d'obtenir la reconnaissance de la sonification comme champ de recherche scientifique à part entière.

Depuis ce temps-là l'ICAD est devenu un réseau en plein essor et une rencontre éponyme internationale annuelle, réunissant tous les acteurs des milieux académiques de la sonification qui actualisent et partagent ainsi les recherches et les productions de ses membres. C'est aussi un site internet qui rend accessible de nombreuses recherches en libre accès⁵. En 2011, le 2^e ouvrage collectif⁶ académique de synthèse est publié, *The Sonification Handbook*, faisant un état des lieux de la sonification. Il s'appuie sur les nombreuses recherches produites durant les vingt dernières années s'efforçant ainsi de circonscrire le domaine de façon exhaustive. C'est devenu l'ouvrage de référence du domaine. Un autre texte, un article, publié en 2013 intitulé *A Systematic Review of Mapping Strategies for the Sonification of Physical Quantities* (Dubus et Bresin, 2103) fait un état des lieux des techniques de sonification les plus utilisées depuis une vingtaine d'année, à partir de l'analyse de 179 projets, afin d'identifier les dispositifs récurrents et efficaces quant à leur capacité à transmettre des informations aux équipes de chercheurs.

3.1.2 Les relations de l'art et de la recherche en sonification

Dans le domaine de la recherche artistique, c'est en mars 2010, que l'artiste et professeur Peter Sinclair organisait en France, à l'École d'art d'Aix en Provence⁷, le premier symposium sur la sonification en art, auquel j'ai eu la chance d'être invitée. Cette réunion d'artistes-chercheurs interdisciplinaires a donné lieu, en 2012, à la première publication collective dans le domaine, intitulée *Sonification : what where how why artistic practice relating sonification*

⁴ Gregory Kramer, Chair; Bruce Walker, Project Coordinator; Terri Bonebright; Perry Cook; John Flowers; Nadine Miner; John Neuhoff **Co-Authors** Robin Bargar, Stephen Barrass, Jonathan Berger, Grigori Evreinov, W. Tecumseh Fitch, Matti Gröhn, Steve Handel, Hans Kaper, Haim Levkowitz, Suresh Lodha, Barbara Shinn-Cunningham, Mary Simoni, Sever Tipei - <http://www.icad.org/node/400> consulté le 13 janvier 2014.

⁵ <http://www.icad.org/>

⁶ Le premier ouvrage de référence date de 1994 sous la direction de Gregory Kramer.

⁷ Premier laboratoire et département d'enseignement de pratiques audio au sein d'une école d'art en France.

*to environments*⁸ (Sinclair, 2012). Elle réunissait des artistes autour de leur production et menait ainsi une réflexion théorique sur la technique de la sonification dans les arts. Bien que ce symposium fut le premier à aborder la sonification strictement du point de vue de la recherche artistique, de nombreuses œuvres ont utilisé la sonification bien avant 2010, avant même l'apparition du numérique. Il y a cependant un décalage entre la tentative de théorisation de la sonification et la pratique de celle-ci, le terme même ne faisant partie ni du vocabulaire ni du bagage conceptuel de la plupart des artistes qui l'utilisaient jusqu'à peu. L'ICAD a cependant incorporé très tôt la musique parmi les disciplines artistiques expertes dans le domaine de la production et de la perception du son. Et lorsque *The Sonification Handbook* convoque l'art et l'esthétique dans son discours, c'est la musique qui est convoquée. Les arts audio (non musicaux) qui sont pourtant issus directement des développements de l'audiosphère moderne et contemporaine sont encore exclus de cette recherche et occupent une place à part. La raison principale tient au fait que l'incursion du médium sonore dans les arts plastiques et médiatiques constitue une sorte d'anomalie historique que les théoriciens de l'art eux-mêmes ont du mal à cerner et, de ce fait, l'art audio est assez méconnu de la plupart du public non initié aux pratiques artistiques contemporaines. Il est cependant important de préciser que parmi les conférenciers de l'ICAD il y a des artistes-chercheurs universitaires qui ont produit des œuvres et des textes, acteurs importants du domaine comme Florian Dombois, Stephen Barrass, Andrea Polli ou encore Florian Grond⁹. Enfin, il n'existe à ma connaissance qu'un seul texte théorique qui établit une filiation

⁸ Peter Sinclair (dir.) Special Issue: Sonification: what where how why artistic practice relating sonification to environments ISSN: 0951-5666 (Print) 1435-5655 (Online) AI & SOCIETY: Volume 27, Issue 2 (May 2012) - Stephen Barrass, Jean Cristofol, John Eacott, Peter Gena, Scot Gresham-Lancaster, Florian Grond, Thomas Hermann, Stuart Jones, Jerome Joy, Richard Kronland-Martinet, Sølvi Ystad, Mitsuko Aramaki, Andrea Polli, Lorella Abenavoli, Stephen Barrass, Jens Brand, John Eacott, Scot Gresham-Lancaster, Florian Grond, Stuart Jones, Andrea Polli, Marty Quinn, Richard Kronland-Martinet, Thierry Voinier, David Calvet, Claude Vallée, Atau Tanaka, Victoria Vesna, Valentina Vuksic.

⁹ Cette liste n'est pas exhaustive mais révèle des projets qui ont fait l'objet de nombreuses diffusions tant théoriques que publiques. Sans être exhaustive, voici quelques titres publiés: Barrass, S. and Vickers, P. (2011). *Sonification design and aesthetics*. In Hermann, T., Hunt, A., Neuhoff, J. G., editors, *The Sonification Handbook* chapter 7, pages 145–171. Logos Publishing House, Berlin, Germany; Vickers, Paul and Hogg, Bennett, *Sonification Abstraite/Sonification Concrète: An 'Aesthetic Perspective Space' for Classifying Auditory Displays in the Ars Musica Domain*, in the proceeding of the International Conference on Auditory Display (T. Stockman, L. V. Nickerson, C. Frauenberger, A. D. N. Edwards, and D. Brock, eds.), (London, UK), pp. 210-216, 20-23 June 2006;

entre esthétique et sonification. Il s'agit de l'article de d'Alexandra Supper (2013), *Sublime frequencies : The construction of sublime listening experiences in the sonification of scientific data* qui introduit la notion d'un "sublime auditif"¹⁰ inhérent à cette pratique. Texte très inspirant quant à la puissance évocatrice du son à révéler des dimensions physiques vertigineuses tant elles sont inaccessibles à notre aperception, même lorsqu'elle est hyper instrumentée. Parmi les projets qu'elle a étudiés, se trouvent des œuvres élaborées à partir d'un processus de sonification du boson de Higgs du *LHC Sound project* (2010-201-)¹¹, de la structure de l'ADN du *Life Music project* (1999-20--)¹² ou encore de phénomènes météorologiques et sismologiques de *The Place Where You Go To Listen*¹³ (2006). D'autres œuvres issues de la sonification de sources semblables ont été réalisées depuis les années '90. Ainsi en est-il de *Red Blood Cells* (1995) de Peter Gena, une musique générée à partir de la modélisation de la structure chimique de l'ADN. C'est sur une déclinaison de ce principe de composition programmée que l'ADN de Eduardo Kac, dans son installation *Genesis* (1999), a été sonifiée en temps réel au rythme de ses mutations génétiques exposées *in situ*¹⁴. Des œuvres installatives issues de données sismométriques sont relativement nombreuses. Ainsi en est-il de mes diverses installations et études *Le Souffle de la Terre* (1996-201-) présentées en début de thèse, de *Circum Pacific 5.1* (2001) de Florian Dombois ou encore du projet récent de Lotte Geeven, *Sounds of the Earth* (2013-2014). Et s'inscrivant dans une tradition millénaire d'œuvres inspirées par le cosmos, de nombreux musiciens utilisent les données électromagnétiques des radiotélescopes ou des missions spatiales pour rendre audibles les

Vickers, Paul (2005) *Ars Informatica -- Ars Electronica: Improving Sonification Aesthetics*. In: *Understanding and Designing for Aesthetic Experience* (workshop at HCI 2005: The 19th British HCI Group Annual Conference), 5-9 September 2005, Edinburgh. F. Grond and T. Hermann. *Aesthetic Strategies in Sonification*. *Artificial Intelligence and Society* AI&S, 27(2):213–222, 2012.

¹⁰ Supper, Alexandra, 2013, *Sublime frequencies : The construction of sublime listening experiences in the sonification of scientific data*, in *Socila Studies of Science*, 2014, Vol. 44(1) 34-58

¹¹ *Ibid.* Ce projet se déroule au CERN dans le Large Hadron Collider ou le Grand collisionneur de hadrons avec la physicienne Lily Asquith et les musiciens Richard Dobson et Archer Endrich.

¹² *Ibid.* Projet collaboratif entre le musicien John Dunn et la biologiste Mary Anne Clark.

¹³ *Ibid.* Installation de lumière et de son réalisée au Museum of the North Fairbanks, in Alaska. John Luther Adam est compositeur et directeur de ce projet mené en collaboration avec un programmeur et de nombreux scientifiques spécialistes des deux domaines pré-cités.

¹⁴ Œuvre présentée dans l'exposition *Les Vases communicants - e-art : nouvelles technologies et art contemporain* présentée au Musée des beaux-arts de Montréal à l'automne 2007

vibrations des planètes comme dans *La Nouvelle musique des sphères*¹⁵ de l'astrophysicienne Sylvie Vauclair et du compositeur Claude Samuel Levine qui élaborent une composition à partir des vibrations enregistrées à la surface du Soleil. On retrouve aussi l'œuvre installative *Le Cosmophone* (1999-20--) de Claude Vallée¹⁶ qui rend sensible les muons, particules cosmiques de haute énergie qui nous traversent à tout instant. Et, probablement l'une des œuvres les plus émouvantes, *Le Noir de l'étoile* (1989-1990) où collaborent l'astrophysicien Jean-Pierre Luminet et le compositeur Gérard Grisey, qui élaborent une composition pour percussions et pulsar, calée sur le rythme de la rotation d'une supernovae, dont le cycle est rendu audible en temps réel durant le concert.

Les projets qui viennent d'être évoqués, qui explorent les représentations auditives, s'inscrivent à la croisée de nombreuses disciplines allant de la recherche nucléaire à la génétique ou s'inscrivant dans des sciences plus anciennes comme la géophysique ou l'astrophysique mais convoquant aussi les disciplines technologiques et psychophysiques ayant trait à la production et à la perception du son ainsi que les arts du son, du temps et de l'espace. Cette liste n'est pas exhaustive mais elle donne une idée des défis technologiques, conceptuels et matériels lancés par une telle pratique et met en évidence le caractère systémique et interdisciplinaire du domaine.

3.2 Sonification et interdisciplinarité

3.2.1 Le schéma de l'interdisciplinarité

La sonification comme objet d'étude fait appel à de nombreux savoirs car l'enjeu est de taille : élaborer un système de représentation comme a pu l'être la théorisation de la perspective à la Renaissance. Thomas Herman dans son introduction au *Sonification Handbook* propose un schéma qui rend compte de la nature foncièrement interdisciplinaire de ce domaine. (Fig.1).

¹⁵ Collaboration qui a fait l'objet d'une émission de radio où l'on entend l'interprétation musicale incluant un théorème. <http://www.franceinter.fr/emission-cosmic-fantaisie-musique-des-spheres-avec-sylvie-vauclair-et-claude-samuel-levine> et d'un livre Vauclair, Sylvie et Lévine, Claude-Samuel, 2013, *La nouvelle musique des sphères* ed. Odile Jacob, France

¹⁶ *Le Cosmophone* est l'une des premières œuvres exploitant toutes les possibilités du dispositif auditif pour rendre compte de particules cosmiques, les muons. Le son bien sûr avec toutes ses nuances mais aussi la spatialisation jouent un rôle très important. Ce projet est le fruit d'une collaboration entre David Calvet (CPPM, maintenant LPC Clermont-Fd) Dirk Hoffmann (CPPM)Richard Kronland (LMA) Claude Vallée (CPPM)Thierry Voinier (LMA). <http://cosmophone.in2p3.fr/>

Dans ce dessin de forme oblongue, la sonification est au centre. Elle est entourée par les disciplines qu'elle convoque pour se constituer. Puis autour des disciplines un schéma circulaire et dynamique représente ses étapes techniques et théoriques. Ce schéma décrit une interdisciplinarité qui rend possible la sonification comme modèle scientifique d'un dispositif auditif et comme méthodologie de recherche.

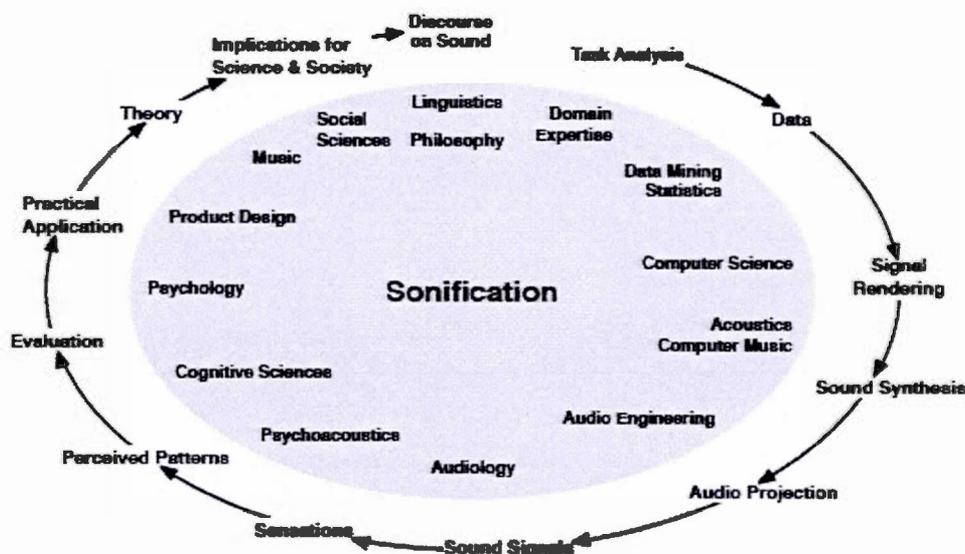


Fig. 3.1 : Le cercle interdisciplinaire de la sonification et du dispositif auditif : le périmètre externe montre le cycle de transformation de l'information, le cercle intérieur fait la liste des disciplines scientifiques qui y sont associées. Ce diagramme est certainement incomplet et illustre simplement l'ampleur interdisciplinaire du champ. (Hermann, 2011)

Quant à l'interdisciplinarité rencontrée dans des projets collaboratifs entre artistes et scientifiques comme ceux évoqués au point 3.1.2, elle est *de facto* confrontée à des approches et à des méthodes appartenant à des paradigmes disciplinaires difficilement conciliables et qu'il ne faut probablement pas tenter de concilier. Les paradigmes artistiques d'une part et les paradigmes scientifiques de l'autre ont des critères de validation qui sont *a priori* bien différents. C'est l'un des défis de cette thèse : s'approprier le terme de sonification, qui a été défini par les sciences et le redéfinir dans un contexte de production artistique. S'il arrive, dans les divers domaines des sciences de la matière cités plus haut et dans celui des arts,

qu'artistes et scientifiques expriment une aspiration commune, c'est-à-dire que le médium sonore nous révèle des dimensions inaccessibles et inouïes de la matière et ouvrent de nouveaux territoires de la connaissance, cette aspiration n'emprunte que très exceptionnellement des chemins communs étant donné la différence de leurs objectifs.

Dans un article sur les stratégies esthétiques de la sonification, questionnant essentiellement le point de vue de l'écoute, Grond et Hermann tentent d'y définir ainsi la fonction du son : «sound becomes sonification when it can claim to possess explanatory powers : when it is neither solely music nor serves as mere illustration ». (Grond et Hermann, 2012). On sent ici une tentative de conciliation entre une acception artistique et scientifique de la fonction du médium son dans la sonification. Il serait "entre" : entre d'une part une construction totalement abstraite, spécifiquement musicale, où les données viendraient abreuver une composition non plus fondée sur la gamme et tous ses dérivés, mais sur une structure complexe incorporant comme modèle une géométrisation des dimensions structurelles de la matière; et d'autre part, à l'autre extrême, une construction strictement démonstrative, dont la fonction serait l'illustration d'une réalité exprimée auparavant dans un langage scientifique orthodoxe. Les deux prochains chapitres, consacrés à l'analyse des œuvres, viendront très probablement ré-ouvrir et éclairer la relation interdisciplinaire qui lie ces deux domaines. Cela étant dit, il existe un domaine qui peut déjà permettre de penser, par analogie, la sonification comme système de représentation en science versus en art.

3.2.2 La perspective : un modèle pour penser la sonification

On pourrait comparer la position actuelle de la sonification entre les arts et les sciences à celle que la perspective a eue à la Renaissance. Les artistes se sont emparés des règles de la perspective et en ont immédiatement fait des formes symboliques. Tout en en comprenant, par la pratique, les enjeux intellectuels, esthétiques, religieux et politiques, et en proposant ainsi une vision du monde centrée sur la perception humaine, les artistes n'étaient pourtant pas des théoriciens de la science de l'optique qui est l'un des fondements de la perspective et de son système de représentation dans les arts. De son côté, à la même époque, l'astronome Copernic, grâce à la perspective, va imposer la théorie cosmique de l'héliocentrisme

(Luminet, 2012)¹⁷ qui remplacera la vision ptoléméenne du géocentrisme. Il va comprendre que les volutes que semble faire la planète Mars lors de son parcours dans le ciel, observées depuis des siècles, ne proviennent pas d'une rétrogradation de la planète sur son orbite, mais sont en réalité dues au fait que la Terre et Mars tournent autour du Soleil avec des variations de vitesses et de parcours. C'est la vision perspectiviste qui lui permet alors de construire et confirmer cette hypothèse. Cette analogie permet de comprendre comment la naissance d'un système de représentation traverse tous les savoirs d'une époque et est instrumentalisée par les divers domaines qui s'en emparent pour servir une intention propre à chaque paradigme disciplinaire. La sonification traverse ainsi les arts et les sciences.

L'interdisciplinarité inhérente à la théorisation de la sonification comme discipline décrite par Thomas Hermann n'est pas la même que celle convoquée par les artistes en vue de la réalisation d'une œuvre.

On peut ainsi distinguer deux orientations quant à l'interdisciplinarité inhérente à la sonification : celle propre à la recherche en sonification même et celle, pourrait-on dire, propre à des projets spécifiques. La première cherchant à théoriser la sonification afin qu'elle devienne une méthodologie et un protocole de recherche scientifique et la deuxième la mettant plutôt en pratique de façon expérimentale, ce qui est le cas dans les œuvres d'art. La recherche en sonification et les disciplines qui l'instrumentalisent ont cependant en partage le dispositif technologique appelé l'Auditory Display par L'ICAD et que nous traduirons parfois par «affichage auditif» mais la plupart du temps par «dispositif auditif»¹⁸.

3.3 Le dispositif auditif et la sonification : une définition

¹⁷ Luminet, Jean-Pierre, 27 septembre 2012, Conférence prononcée à Lille (France) lors d'un colloque "Osons la France", <https://www.youtube.com/watch?v=1L7Kt34djlk>. Lors de cette conférence l'astrophysicien Jean-Pierre Luminet expose les changements de paradigmes auxquels les sciences astronomiques ont été soumises et qu'elles ont bâties depuis la vision aristotélicienne du cosmos. Il y expose entre autres la façon dont Copernic s'est servi de la vision perspectiviste pour remplacer le système cosmique de Ptolémée qui plaçait la Terre au centre de l'univers par le système solaire.

¹⁸ La notion d'affichage auditif qui traduit littéralement Auditory Display n'est pas toujours appropriée en français. L'idée d'affichage concernant le son est limitatif et peu adapté au dispositif technologique nécessaire à l'apparition du son et à la nature même du son qui se déploie dans l'espace. D'où l'utilisation de "dispositif auditif" pour traduire l'auditory display.

Dans la recherche théorique sur la sonification, celle-ci est toujours envisagée au sein du dispositif auditif.

Le dispositif auditif inclut tous les aspects du système d'interaction humain-machine, incluant le dispositif technique, les haut-parleurs ou le casque audio, les façons d'interagir avec le système de représentation et toute solution technique nécessaire à la collecte, au traitement et au calcul des données en vue d'obtenir des réponses sonores. (Hermann, Hunt et Neuhoff, 2011, p.1)¹⁹

Le dispositif auditif de l'ICAD correspond au dispositif technique dont les composants varient en fonction des projets mais qui globalement appartiennent à l'âge de l'audiosphère électronique et de l'audio-numérique. Le dispositif auditif embrasse l'ensemble des dispositifs techniques de production et de représentations auditives et peut tout à fait être intégré comme vocabulaire dans la sonification artistique et devenir un terme commun aux arts comme aux sciences.

La sonification quant à elle, est définie selon Hermann, Hunt et Neuhoff comme « le composant central du dispositif auditif : c'est la technique de transduction sonore des données et des interactions. » (2011, p.1)²⁰ La sonification est le procédé techno-logique qui engendre le système de représentation auditif prenant forme dans et par le dispositif auditif. Cela situe la discipline de la sonification entre le domaine de la recherche et celui du design, entre le programme et le hardware, entre le spéculatif et l'empirique. La sonification consiste à produire des objets sonores qui rendent audibles des données issues de phénomènes artificiels ou naturels non-sonores qui ne seraient pas perceptibles autrement. Elle bâtit ainsi des formes sonores qui révèlent et rendent signifiants ces phénomènes. Elle est une forme de représentation acoustique des données dont la définition suivante proposée originellement par Kramer est désormais largement admise par la communauté scientifique :

La sonification est l'utilisation de signaux sonores non-verbaux permettant de véhiculer de l'information. Plus précisément, la sonification est la

¹⁹ Traduction Lorella Abenavoli. Extrait de Hermann Thomas, Hunt Andy, Neuhoff G. 2011, Introduction Chap.1, dans *The Sonification Handbook*, Ed. Logos Verlag, Berlin, Germany, 2011 – pp.564

²⁰ *Ibid.*

transformation de relations de données afin que celles-ci deviennent perceptibles sous forme sonore dans le but d'en faciliter la communication ou l'interprétation.²¹

3.4 Les domaines d'application et fonctions de la sonification

La sonification de données a pris un essor considérable durant les quinze dernières années, donnant naissance à un champ important du design sonore. Son développement dans absolument toutes les activités humaines est corrélatif de la multiplication des informations produites et parfois transmises par tous nos appareils numériques. Lorsque la communication des données par affichage visuel et/ou linguistique devient insuffisante, non pertinente ou inopérante, le son vient compléter ou prendre la place des médiums habituellement utilisés pour la communication humain-machine. Au quotidien, toutes nos interfaces électroniques (écran tactile, téléphone intelligent, tablette, lecteur de musique, jeux, interface des appareils électroménagers, interface pour le guidage de transports, en médecine...) associent désormais un couplage sensoriel interactif visuel, tactile et auditif dans lequel la sonification est utilisée. Mais parfois la sonification advient en dehors de ce couplage et le son constitue à lui seul une information pertinente. C'est le cas de la plupart des alertes et alarmes qui existaient bien avant le numérique et dont le code, la hauteur, la durée construisent le message. Par exemple l'art sonore campanaire qui scandait le temps liturgique et laïque, qui alerte et réunit la collectivité constitue un des exemples les plus anciens de sonification. Dans le cadre des interfaces numériques énumérées plus haut, le son est une des conditions qui rend possible l'interaction entre l'électronique et les gestes que nous opérons. Il ramène à l'échelle de nos sens des phénomènes produits à l'échelle atomique, dans des dimensions de la matière qui seraient imperceptibles sans la médiation du son. Dans ces exemples la sonification nous permet de saisir des états, des processus, et de contrôler des messages en temps réels, ou tout au moins s'ajustant à notre temporalité apercéptive, afin de nous offrir une interaction efficace avec notre environnement électronique. On retrouve ces fonctions de la sonification dans toutes les machines interfacées qui utilisent les technologies numériques pour fonctionner.

²¹ Traduction Lorella Abenavoli - <http://www.icad.org/node/400> - " Sonification is the use of nonspeech audio to convey information. More specifically, sonification is the transformation of data relations into perceived relations in an acoustic signal for the purposes of facilitating communication or interpretation."

Dans des domaines plus spécialisés, la sonification est aussi devenue un instrument d'exploration, de mesure, d'estimation et enfin de révélation de phénomènes. On retrouve parmi les domaines d'application la médecine où la sonification a le plus souvent une fonction diagnostique de l'état d'un patient : que ce soit en échographie prénatale, vasculaire, en électroencéphalographie, en neurologie appliquée à l'identification de pathologies ou dans la recherche en neuroscience; on la retrouve aussi dans la construction de dispositifs sensori-moteurs pour les personnes atteintes de cécité²². De plus en plus la sonification est utilisée dans le domaine de la sismologie, de l'astéro-sismologie, de la géologie, dans de nombreuses sciences statistiques où l'énorme quantité de données demande un traitement simultané de nombreux paramètres soit à des fins d'exploration, soit à des fins de prédiction, comme dans les données du cours de la bourse. Tous ces champs d'application correspondent à ce que l'on nomme l'exploration de données :

Les affichages auditifs de cette troisième catégorie taxonomique (l'exploration des données) sont ceux généralement désignés par le terme de "sonification" et sont habituellement destinés à encoder et véhiculer de l'information d'un ensemble de données ou des aspects significatifs de cet ensemble de données. Les sonifications conçues pour l'exploration des données se différencient des indicateurs d'états ou de processus, par le fait qu'ils utilisent des sons pour offrir un portrait holistique des données d'un système, plutôt qu'un condensé d'information pour capturer un état momentané comme c'est le cas dans les alertes ou les indicateurs de processus (Walker et Nees, 2011, p.14)²³.

La taxonomie des fonctions de la sonification envisage donc trois grandes catégories qui correspondent à ses applications : 1 – Alarmes, alertes et avertissements 2 – état, processus, monitoring/contrôle des messages 3 – l'exploration de données (Walker et Nees, 2011, p.12). Ces deux dernières catégories taxonomiques sont essentielles à la compréhension de la sonification en art. On retrouve le contrôle des messages dans les œuvres performatives et

²² Ce domaine est probablement le plus stimulant quant à la question de la production d'images auditives du point de vue du chercheur. Le son ici ne peut être couplé avec des représentations visuelles et doit informer la personne qui ne voit pas sur l'espace dans lequel elle se trouve. Ici sont réunies presque toutes les potentialités plastiques du son et de l'affichage auditif dans le champs de la sonification : interaction, spatialisation, et qualités plastiques du son : profondeur, timbre, plasticité en relation avec ce qu'il exprime.

²³ Trad. Lorella Abenavoli.

interactives et l'exploration des données dans toutes celles qui se saisissent de données matérielles ou conceptuelles imperceptibles et inaudibles avant que le son ne leur ait donné forme. Enfin à chacune de ces taxonomies fonctionnelles correspondent des taxonomies techniques.

3.5 Taxonomie technique de la sonification

Ce sont ces catégories techniques qui vont permettre de comprendre comment la sonification se construit et sur quelles bases de transposition des données elle produit des formes sonores qui finalement révèlent les phénomènes. The *Sonification Handbook* considère qu'il y a aujourd'hui cinq grandes catégories techniques. Les icônes auditives, les earcones, l'audification²⁴, la sonification par mise en correspondance²⁵, la sonification par modélisation²⁶. Aux deux premières fonctions de la sonification (1 – Alarmes, alertes et avertissement, 2 – état, processus, monitoring/contrôle des messages) correspondent deux désignations techniques : les icônes auditives et les Earcones. Dans la troisième fonction, l'exploration des données, on identifie trois techniques : la sonification par modélisation, la mise en correspondance, et l'audification. Ces deux dernières sont les plus utilisées en art.

3.5.1 Icones auditives²⁷

Les potentialités des icônes auditives sont explorées au début des années '80 avec l'apparition des ordinateurs personnels. L'interface de communication est identifiée au "bureau" et Bill Gaver expérimente des sons additionnels aux icônes graphiques, qu'il nomme alors les "auditory icons" que l'on traduira par icônes auditives. (Brazil et Fernström, 2011, p.325). On les retrouve abondamment aujourd'hui dans nos interfaces d'ordinateur. Ce qui les caractérise c'est qu'elles plagient les sons de notre environnement quotidien et se manifestent dans le cadre de l'interaction utilisateur-machine afin de communiquer une information d'une action en train de se faire. Son nom, qui renvoie à celui de l'icône visuelle de l'interface graphique,

²⁴ Le terme de sonification et d'audification sont les mêmes en anglais et en français.

²⁵ En anglais : Parameter Mapping Sonification

²⁶ En anglais : Model-based Sonification

²⁷ En anglais : Auditory Icons

occupe une fonction similaire et complémentaire. Par exemple sur l'interface Mac lorsque je "jette" un "fichier" dans la "poubelle" mon action s'accompagne d'un son de papier froissé. "L'icône auditive vise à fournir un lien intuitif entre le modèle métaphorique du monde de l'ordinateur, en représentant acoustiquement des objets et des événements dans des applications, en utilisant des sons de la vie quotidienne, qui sont familiers pour l'utilisateur" (Brazil et Fernström, 2011, p.325)²⁸. Sur le plan du design, les sons de l'icône auditive sont issus soit d'enregistrements phonographiques, soit de la synthèse informatique, ou encore par une hybridation des deux, tout comme certains avatars cinématographiques. Dans cet exemple l'interaction en temps réel situe l'icône auditive dans le domaine de la sonification interactive.

3.5.2 Earcones²⁹

Ce qui distingue fondamentalement l'earcone de l'icône auditive c'est son absence de référent icônique au monde perçu. Les sons de l'earcone peuvent être définis comme étant abstraits proposant une relation "symbolique" entre sa forme sonore et l'opération qu'ils représentent, relation formelle qui est qualifiée d'arbitraire par la communauté ICAD, sur le modèle du langage. L'earcone demande ainsi un apprentissage plus ou moins aisé, plus ou moins intuitif. Elle est définie par Blattner et al.³⁰ comme « un message audio non verbal utilisé dans l'interface utilisateur-machine afin de fournir à l'utilisateur des informations sur un objet, une opération ou une interaction avec l'ordinateur. Brewster affine cette définition en tant que "son synthétique et abstrait qui peut être utilisé par combinaisons structurées afin de créer des messages auditifs" » (McGookin et Brewster, 2011, p.339)³¹. Afin de distinguer les sons

²⁸ Trad. Lorella Abenavoli. Texte original : "Auditory icons aim to provide an intuitive linkage between the metaphorical model worlds of computer applications by sonically representing objects and events in applications, using sounds that are likely to be familiar to users from their everyday life" Eoin Brazil et Mikael Fernström 2011, Introduction Chap.1, dans *The Sonification Handbook*, Ed. Logos Verlag, Berlin, Germany, pp.564

²⁹ Le terme anglais est conservé à défaut d'un meilleur. On pourrait le traduire par audicône - auricone

³⁰ Cette définition est reprise du texte de David McGookin et Stephen Brewster 2011, Introduction Chap.1, dans *The Sonification Handbook*, Ed. Logos Verlag, Berlin, Germany, pp.564

³¹ Trad. Lorella Abenavoli ""non-verbal audio messages used in the user-computer interface to provide information to the user about some computer object, operation, or interaction. Brewster further refines this definition as "abstract, synthetic tones that can be used in structured combinations to create

de l'earcone de ceux de l'icône auditive, on parlera de signe sonore abstrait pour l'earcone et de signe sonore figuratif ou iconique³² pour l'icône auditive, terme adopté pour la suite.

Une earcone peut être constituée d'un seul élément sonore, d'une succession d'éléments ou encore d'éléments composés qui se transforment selon le message à transmettre. L'earcone à un seul élément est courant dans nos téléphones cellulaires. Lors de l'arrivée d'un sms par exemple. L'earcone composée de plusieurs éléments est bâtie sur le modèle du langage constituant une syntaxe ou chaque signe sonore aura une signification. On parlera alors d'un motif, comme dans un leitmotiv en musique, signe sonore abstrait qui vient pourtant figurer de façon allégorique un personnage, comme dans *Pierre et le loup* (McGookin et Brewster 2011, p.340).

3.5.3 Sonification par modélisation³³

L'idée principale de la sonification par modélisation est la conception d'un modèle construit à partir de données de dimensions variables³⁴ qui ne peuvent être accessibles et interprétables que lorsqu'elles sont sonifiées. La source de cette sonification est une construction abstraite dont les données, contrairement à la plupart des « sonifications par correspondance », ne sont pas de nature temporelle. C'est-à-dire que l'on construit un objet virtuel, qui se présente sous la forme d'un nuage de points et dont la nature de chaque élément est déterminée par les paramètres établis en amont par le chercheur. Puis on interagit de façon dynamique avec cette modélisation pour en découvrir les propriétés grâce aux sons émis. On pourrait comparer cela, dans le monde tangible, à un objet que l'on cognerait pour en deviner le matériau, la densité, le poids... Une des singularités de ce modèle est de produire un objet temporel (le son) pour décrire des données qui, elles, ne se déploient pas dans le temps. La sonification

auditory messages". David McGookin et Stephen Brewster 2011, Introduction Chap.1, dans *The Sonification Handbook*, Ed. Logos Verlag, Berlin, Germany, 2011 564pages

³² Selon que l'on se situe dans une perspective sémiologique ou artistique.

³³ En anglais Model-based Sonification.

³⁴ Le terme de dimension, ne désigne pas ici des dimensions physiques, mais des paramètres choisis en fonction du modèle à construire. Ces dimensions peuvent ainsi être très nombreuses ce qui rend leur interaction complexe et seul le son peut rendre compte de la complexité de ce modèle. C'est en tout cas ce sur quoi porte la recherche de Thomas Hermann.

par modélisation implique une interactivité et le modèle se présente comme un instrument sonore de mesures complexes. C'est une technique de sonification relativement nouvelle qui a été mise au point par Thomas Hermann au début des années 2000. Cette forme de sonification est encore à l'état expérimental et les objets de synthèse construits afin d'être sonifiés, constituent à ce jour des modèles qui servent à mettre en place un système de sonification "universel" ou reproductible. L'objectif scientifique étant de proposer un système de représentation fiable des phénomènes étudiés, applicable à l'exploration des données, ainsi qu'un modèle de connaissance pouvant être partagé par la communauté scientifique. Je ne vois pas à ce jour d'œuvre qui pourrait correspondre à cette catégorie technique de sonification.

En revanche, les deux prochaines catégories techniques correspondent à celles utilisées en art.

3.5.4 L'audification

L'audification est considérée par les théoriciens du domaine comme étant la technique de sonification la plus directe et la plus simple. Elle consiste à transformer directement en son les données sous forme d'ondes (Walker & Kramer, 2004) comme les électroencéphalogrammes ou les sismogrammes. Ces ondes correspondent à des données qui varient dans le temps et qui sont généralement présentées visuellement sous forme de schéma cartésien presque identiques aux graphiques des fichiers sons. Ces schémas cartésiens font donc office de partitions qui peuvent être interprétées et lues par les logiciels. « Si les données visualisées se présentent sous forme d'onde, c'est-à-dire comme les signaux des EEG, l'audification signifierait attribuer ses valeurs à la pression de l'air, et à en transférer les résultats à un haut-parleur, afin que les données deviennent audibles » (Dombois et Eckel, 2011, p.301)³⁵. L'audification est une forme sonore qui conserve les rapports de proportion issus de la captation des données, qu'elles soient abstraites ou physiques. Si les ondes physiques (comme les ondes sismiques ou les ondes électromagnétiques) appartiennent à

³⁵ Trad. L.Abenavoli : "If the visualized data have a wave-like shape, e.g., an EEG signal, audification would mean to attribute their values to air pressure, and transferring the result to a loudspeaker, whereby the data then become audible" (Dombois et Eckel, 2011, p.301).

l'audification, les représentations dites abstraites, comme les données du cours du pétrole ou toute donnée statistique exprimée de façon linéaire dans un schéma cartésien, peuvent aussi appartenir à cette catégorie. Parmi les données physiques, the *Sonification Handbook* inclut aussi l'amplification de données appartenant aux ondes acoustiques mais qui restent cependant inaudibles à cause de leur faible amplitude. Enfin, l'audification ne concerne pas uniquement les données numériques mais aussi certaines données rendues audibles analogiquement comme, par exemple, les battements cardiaques entendues au stéthoscope.

Cette catégorie est essentielle à cette thèse. C'est ma pratique qui m'a conduite à la découverte de ce champ de recherche spécifique. Ainsi en est-il du *Souffle de la Terre* à l'origine de ce travail de thèse ainsi que de *Verticale, L. son d. la m..té. d. .a sève d..s un a.bre au pr..temps* réalisée durant l'élaboration de celle-ci. Ce cheminement m'a amenée à m'intéresser à d'autres artistes l'ayant incorporée dans leurs œuvres. Parmi celles qui feront l'objet d'une étude approfondie il y a celle de Jean-Pierre Aubé, *V.L.F. Natural Radio* (2000-2004) qui rend audible les variations des ondes de la magnétosphère qui appartiennent au spectre de l'électromagnétisme et *Electrical walks* (2004-2013)³⁶ de Christina Kubisch, une œuvre interactive qui rend audible, sans numérisation, en temps réel et durant le temps de notre déplacement, les ondes électriques qui traversent la ville.

3.5.5 La sonification par mise en correspondance

La sonification par mise en correspondance traduit le terme anglais de Parameter Mapping Sonification. Dans le domaine de l'informatique, la mise en correspondance désigne toute opération établissant une correspondance entre les éléments d'un ensemble de données et ceux d'un second³⁷. Dans ce contexte on associe des données à des paramètres sonores.

Lors de la "mise en correspondance", le lien entre les données et le son produit est plus indirect qu'en audification. De loin la technique la plus utilisée, la "*sonification*" est employée comme synonyme de "*parameter mapping*" dans la littérature pré-1990. (...) Il existe essentiellement deux sortes d'ensembles de données qui peuvent être sonifiées grâce à la mise en correspondance : les données statiques et celles qui

³⁶ Christina Kubisch a réalisé de nombreuses versions des *Electrical Walks*. Celle dont il est question ici a été présentée à Montréal du 10 au 20 septembre 2008, produit par *OBORO* et le Goethe-Institut de Montréal.

³⁷ (<http://fr.wiktionary.org/wiki/mapping>) consulté le 23 mars 2015.

varient dans le temps. (Provencher, 2008, p.14-15)

Quel que soit l'objet étudié, la sonification par mise en correspondance consiste à associer à des paramètres saillants de données, des qualités sonores permettant de créer des objets temporels qui révèlent des formes significantes et interprétables par la communauté des chercheurs. Le son produit ici des images auditives. Grond et Berger ont produit un schéma qui rend bien compte de son principe technique (fig. 3.2).

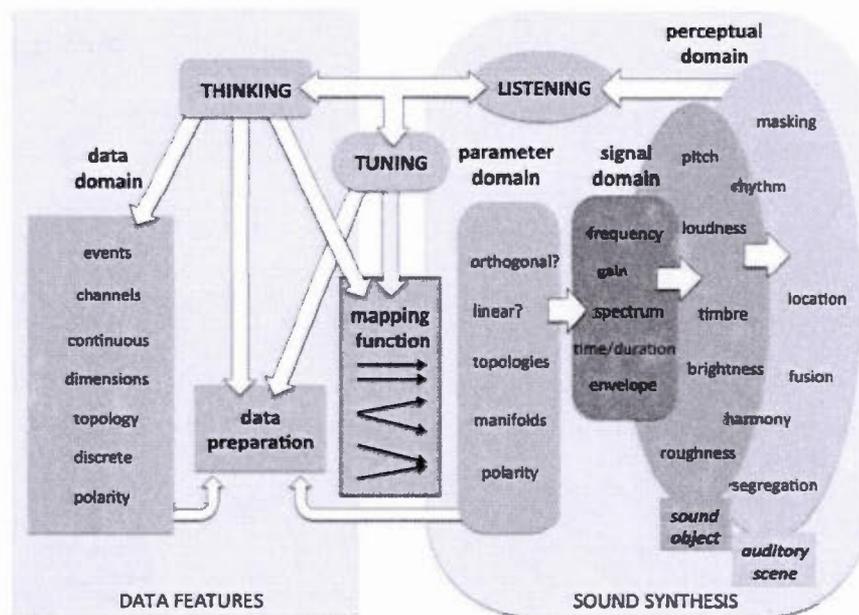


Fig. 3.2 : Map for a general design process of PMSon. Effective PMSon involves translating data features (left) into sound synthesis parameters (right). In this diagram, this process is divided between data and numerical control in grey, and sound and auditory factors in blue. Although data processing (rectangle) can be handled with rigorous objectivity (grey rectangle), human perception (green oval) imposes a subjective component to the process. As the figure suggests, the design of PMSon involves the interplay of, and the conscious intervention in both the data and the signal domains. Integrating both worlds is key in creating effective sonification. (Grond et Berger, 2011, p.366)

Regardons tout d'abord les deux grands ensembles gris pâles : celui de gauche représente les données et leurs caractéristiques, source de la sonification et celui de droite représente les

sons, aboutissement de la sonification. Les sources opaques sous forme de données à gauche sont révélées par les sons de synthèse produits à droite. Au centre, les fonctions appliquées sur les données pour obtenir des sons, indiquent trois types d'applications : 1) la relation injective (one-to-one en anglais) où à un paramètre de données correspond un paramètre sonore 2) la relation multivoque (one-to-many en anglais) c'est-à-dire qu'à un paramètre de données correspondent au moins deux paramètres sonores et 3) la relation surjective (many-to-many en anglais) où à au moins deux paramètres de données correspond un seul paramètre sonore. "The mapping function is the essence of what defines Parameter Mapping Sonification, which is to map data features to sound synthesis parameters in order to understand structures in the data." (Grond et Berger, 2011, p.367)

Quant aux sous-ensembles « Thinking », « Tuning » et « Listening » ils désignent les actions humaines, en gris moyen (à gauche) ce qui concerne les data et les technologies numériques et en bleu (à droite) ce qui appartient tout à la fois à la structure des sons et à la perception auditive.

Enfin les différents domaines convoqués dans le processus de la sonification sont indiqués en caractères gras et flottants. On en repère quatre : le domaine des données qui appartient aux sciences de l'information et de la computation, le domaine des paramètres qui appartient à la computation, à la géométrie et aux mathématiques, le domaine du signal qui appartient à l'acoustique et enfin le domaine perceptuel qui appartient à la psycho-acoustique. Ce schéma met à nouveau en exergue l'interdisciplinarité aperçue précédemment dans le schéma de Thomas Hermann (Fig. 3.1).

La sonification par mise en correspondance est la plus répandue des techniques de sonification, en art comme en science. Le choix des œuvres analysées, tout comme pour l'audification, a été fait en fonction de la diversité des techniques de sonification utilisées mais aussi en fonction de l'envergure des œuvres. Trois œuvres de référence appartenant *a priori* à cette catégorie seront analysées. La première, *La Harpe à nuages* (1997) de Nicolas Reeves, est une œuvre nous donnant à entendre une certaine géométrie des nuages, en mettant en correspondance certains de leur paramètres formels avec des échantillons sonores. La seconde, *Wind Array Cascade Machine (WACM)* (2003) de Steve Heimbecker, est un réseau orthogonal de 64 capteurs qui saisissent les mouvements du vent et les transmettent à

64 haut-parleurs qui diffusent et spatialisent les flux aériens sur le modèle des vagues dorées des champs de blé mu par le vent. La dernière occupe une place singulière parmi les œuvres choisies. Plutôt inscrite dans les œuvres conceptuelles, ses données sont statiques, elle sonifie le fichier numérique d'une photographie. Il s'agit de *L'Origine des espèces* (2006) de Jocelyn Robert.

3.6 *Le schéma du dispositif auditif de l'audification et de la sonification par mise en correspondance*³⁸: une méthode d'analyse des oeuvres

À l'issue de cette présentation de la sonification, on retiendra quelques éléments qui nous serviront de méthode pour analyser les œuvres du corpus. Le schéma de Grond et Berger, présenté et commenté dans le paragraphe précédent, propose trois modèles de sonification par mise en correspondances entre les données et les sons. Ce schéma possède simultanément une qualité et un manque en vue d'aborder la sonification dans les œuvres d'art.

Sa qualité c'est qu'il semble assez exhaustif pour englober l'audification, si on la considère comme un cas particulier de sonification par mise en correspondance. En effet l'audification met en correspondance des données ondulatoires inaudibles avec des sons qui sont eux-mêmes des données ondulatoires audibles. Les termes d'audification et de sonification par mise en correspondance restent cependant essentiels à la compréhension du dispositif technique convoqué bien que leur distinction technique ne puisse pas constituer le fil directeur de classification des œuvres étudiées. En effet dans ces deux catégories on peut identifier des œuvres à tendances conceptuelles tout autant que des œuvres à tendance naturalistes. Il nous faudra donc élaborer de nouvelles catégories pour les appréhender, catégories qui seront axées sur l'intention de l'artiste et sur la nature conceptuelle des oeuvres. Cela fera l'objet du prochain chapitre.

Le défaut de ce schéma, tel qu'il est proposé par Grond et Berger, c'est qu'il oblitère la phase technique et technologique qui est prépondérante ainsi que nous le rappelle la médiologie qui sert de cadre théorique à cette thèse. Il a donc été nécessaire de rajouter un ensemble consacré au dispositif technique pour rendre ce schéma opérationnel comme modèle de construction et

³⁸ Voir fig. 3.3

DISPOSITIF AUDITIF DE L'AUDIFICATION ET DE LA SONIFICATION PAR MISE EN CORRESPONDANCE

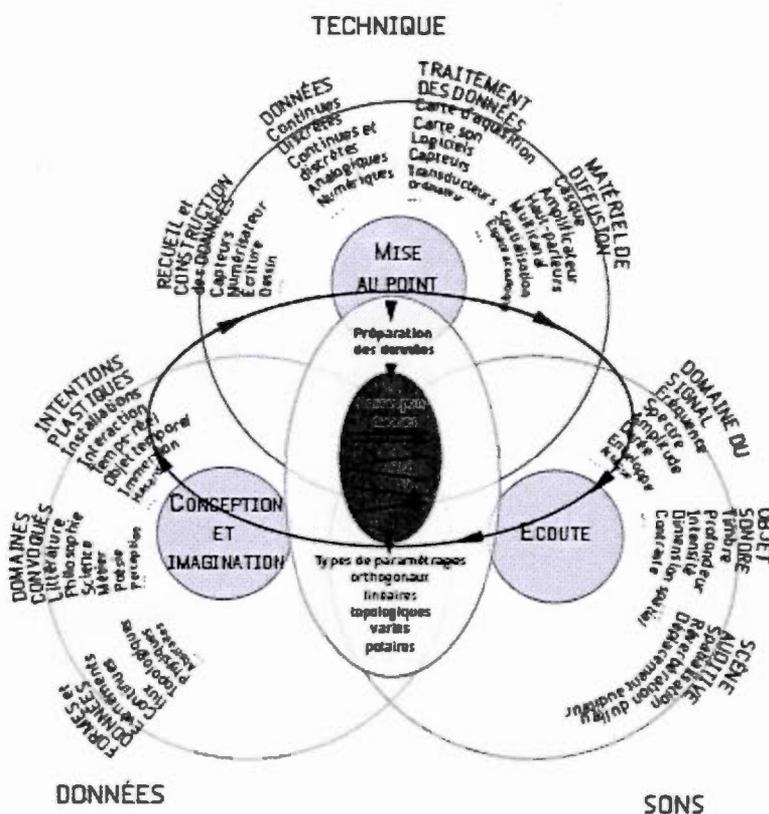


Fig. 3.3 Schéma du dispositif auditif de l'audification et de la sonification par mise en correspondance (Abenavoli, 2015) propose un modèle d'analyse de la sonification dans les œuvres d'art. Ce schéma réactualise le précédent proposé par Grond et Berger. Il est constitué de trois parties essentielles reliées par un organe central (en rouge) qui indique les fonctions de transpositions d'une source ou plusieurs sources/données en données sonores.

de compréhension de la sonification dans les œuvres (fig. 3.3). Même s'il est probable que ce nouveau schéma doive encore être modifié dans les mois, les années à venir, il constitue une base assez solide comme modèle conceptuel embrassant les différentes catégories de sonifications opérationnelles en art. Réalisé dans le cadre de cette thèse il constitue un socle et une étape essentielle à cette recherche.

Ce schéma synthétique remplit plusieurs fonctions. Tout d'abord il présente tous les éléments concomitants qui décrivent les étapes nécessaires à la pratique de la sonification et constitue en cela un outil conceptuel pour les praticiens et théoriciens en art. En intégrant l'audification dans ce schéma global on propose ainsi un modèle unique pour l'analyse et la compréhension des œuvres de cette thèse mais aussi potentiellement de toute œuvre qui utilise la sonification. Il est aussi une figure réflexive et ouverte d'une pratique en pleine évolution, une fondation qui pourra être complétée par des recherches ultérieures. Enfin en réunissant en un schéma unique toutes les phases et les articulations techniques de la sonification il fait écho à la pratique artistique elle-même et aux œuvres, en réunissant un système complexe en un seul objet.

CHAPITRE IV

DE LA SONIFICATION DANS QUELQUES INSTALLATIONS

*Le schéma du dispositif auditif de l'audification et de la sonification par mise en correspondance*¹ (Fig. 3.3) qui clôt le chapitre précédent a remis en question le plan imaginé pour cette thèse. Rappelons la question initialement posée, que l'on peut, à ce stade, résumer ainsi : comment la sonification introduit-elle un système auditif de représentation pour les artistes plasticiens? Le modèle auquel je me référais en posant cette question était *Le Souffle de la terre* qui interrogeait la façon dont la pratique de l'audification mettait en relation des données ondulatoires et vibratoires avec le médium sonore, révélant ainsi des temporalités inhérentes à la matière.

4.1 Le choix d'un premier corpus

En découvrant le vaste champ de la sonification, son histoire, ses pratiques, et en le posant comme champ de recherche au sein des arts plastiques, je me suis aperçue que le son, dans ce domaine de recherche, servait aussi de médium pour des artistes dont le travail ne consistait pas à révéler des phénomènes physiques fluides imperceptibles mais à produire des œuvres sur d'autres modèles conceptuels. Étant donné qu'il n'existe pas de texte aspirant à une exhaustivité de la sonification dans les arts plastiques, il m'a semblé important, à ce stade, d'évoquer quelques œuvres qui se différencient de celles vers lesquelles je m'oriente intuitivement depuis le début de ma recherche afin de produire un contraste et mieux saisir l'envergure de son champ. Par ailleurs en me concentrant, à partir d'une approche médiologique, sur le dispositif technique de la sonification, je pensais comme seconde conséquence que mon champ de recherche serait l'audification puisque le *Souffle de la terre* et *Verticale* (réalisée durant la thèse), appartiennent essentiellement à cette catégorie

¹ Pour alléger le texte, lorsque je me référerai désormais à ce schéma je parlerai simplement du *Schéma du dispositif de la sonification*.

taxonomique de la sonification. Or l'audification, comme on l'a vu au chapitre 3, incorpore dans sa définition des objets sonores dont les sources sont abstraites, ne renvoyant pas du tout à une temporalité physique mais à une temporalité plutôt statistique et mathématique et parfois même à aucune temporalité. À ce stade, je n'ai donc privilégié ni l'audification ni la sonification par mise en correspondance, car cette différenciation ne semble plus ou pas encore pertinente. Le *Schéma du dispositif de la sonification* lui-même, en réunissant ces deux catégories taxonomiques, tend à proposer un modèle fédérateur.

Par conséquent, pour définir le corpus de ce chapitre, j'ai privilégié les sources. En effet le *Schéma du dispositif de la sonification* présente trois pôles à partir desquels on peut analyser cette pratique. Les sources et les données constituent l'un d'entre eux (en bas à gauche). Étant donné que mon sujet m'entraîne intuitivement vers des œuvres dont les sources sont physiques, fluides et en mouvement, j'ai décidé de commencer avec un contrepoint et de choisir pour cette première partie des œuvres dont les sources sont statiques ou dont le code constitue une sorte de partition; l'idée poursuivie étant de comprendre comment les artistes mettent en relation les données² des sources et les sons produits. D'autres critères ont concouru au choix du corpus : le degré d'accomplissement des œuvres, et autant que faire se peut, l'expérimentation que j'aie pu en faire.

Parmi le corpus d'œuvres choisies, certaines utilisent la sonification en jouant avec des données topographiques (sonification de la surface d'une peinture, d'une photographie, de territoires géographiques), d'autres avec des données abstraites (code numérique, code biochimique, fonction mathématique). On abordera pour chacune d'entre elles, grâce à une description attentive, le rôle que joue la sonification dans leur plasticité et leur signification.

² Les sources et les données parfois se confondent et parfois se distinguent nettement. Par exemple dans *Le souffle de la Terre* les sources et les données ont une relation homothétiques et je peux utiliser ces deux termes de façon indifférenciée sans que cela ne pose de problème de compréhension, comme c'est souvent le cas dans l'audification physique. En revanche dans la sonification par mise en correspondance, comme dans *La harpe à nuages* (Reeves, 1999) (qui sera étudiée dans le prochain chapitre), les sources sont les nuages et les données sont l'altitude, la vitesse, la luminosité etc. J'ai donc différentes données pour une même source. Ainsi les sources et les données ne recouvrent pas toujours le même sens, ce qui est pris en compte dans ce texte.

Enfin si le choix des sources a été le point de départ pour élaborer le corpus, la variété des dispositifs acoustiques et la valeur poétique et conceptuelles des œuvres ont été déterminants.

4.2 Sonification topographique

4.2.1 *GP4, The Earth is a Disc* (2004) Jens Brand

En 2004, Jens Brand, artiste allemand, crée *GP4 (Global Player 2004)*, "a sound processing sculpture with the appearance of a luxurious HI-FI component that plays the topography of the earth like a stylus plays a record" (Brand, 2012, p.285). En 2006 il lance *G-POD*, un I-Pod enrichi qui, au lieu de lire des fichiers mp3, génère en temps réel des sons issus de données topographiques terrestres, reconstituées à partir des coordonnées transmises par satellites, tout comme le *GP4*. Notons que le système de diffusion devient ici portable et mobile. Enfin en 2007, il crée une plateforme en ligne intitulée, à l'instar d'un site commercial dont il se définit, avec un trait d'esprit, le représentant de commerce, *BRAND/GLOBAL PLAYER concept*³, qui donne à son tour accès aux mêmes données (Fig. 4.1 à 4.4). Sur le plan conceptuel, cette œuvre critique dénonce, avec un humour acerbe et un accomplissement technique de haut-vol, le rapport corrosif que nous entretenons avec notre planète, positionnant le public comme un "joueur" (player) érodant, toujours plus, le globe terrestre à des fins pour le moins questionnables. "How can one play the Globe's surface without scraping and drilling for natural resources and still make incredible profits?" (Brand, 2012, p.285) commente Brand au sujet des intentions de son œuvre.

Exposée au ZKM en 2012⁴ sous forme d'installation, la pièce intitulée par Brand *G-Player 4, The Earth is a disc*, juxtaposait en une figure de style, primitivisme et économie capitaliste. Outre cette approche artistique conceptuelle, ce titre nous parle aussi de la technique de sonification utilisée par Brand, dont le disque vinyl peut servir de modèle technologique. Le rayon virtuel qui relie le satellite au cœur de la Terre (Fig. 4.6), tout comme le diamant du manche du tourne-disque, frotte la surface de l'écorce terrestre produisant ainsi des sons.

³ www.g-turns.com

⁴ Weibel, Peter, 2012, *Sound Art. Sound as a Medium of Art* (exposition), ZKM Zentrum für Kunst und Medientechnologie Karlsruhe.

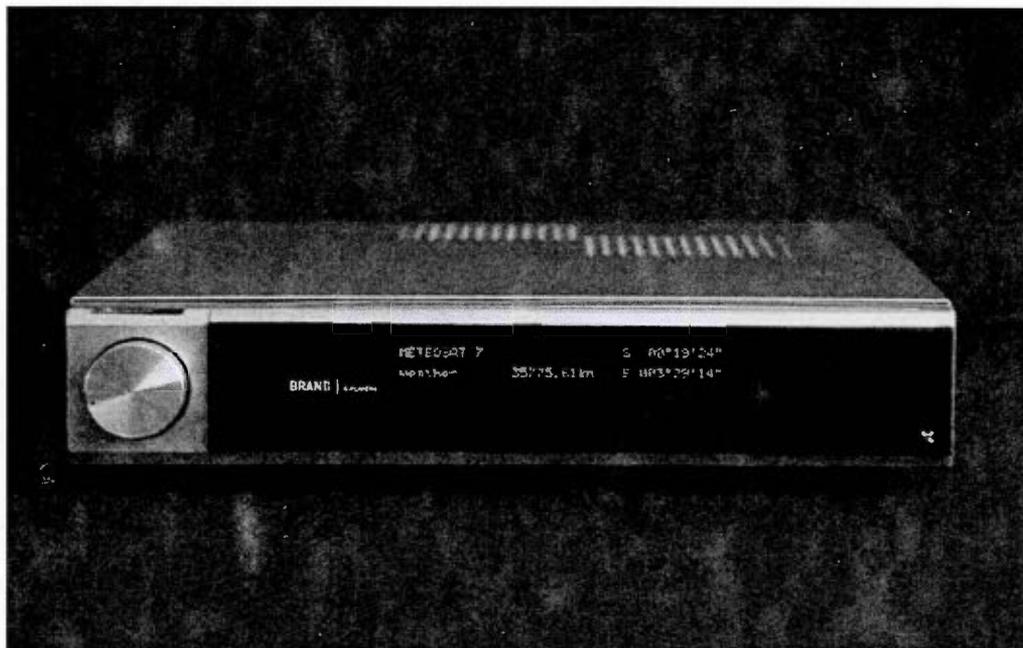


Fig. 4.1 (en haut) : *G-Player 4* (2004-2007) Jens Brand. Détail de l'installation. Photo by Oliver Swartz.

Fig. 4.2 (ci-dessus) : *G-Player 4* (2004) Jens Brand. Vue de l'installation. Soundart Cologne. Art Cologne, 2004.

Fig. 4.3 (Ci-dessus à droite) : *G-Player 4 and the salesman*, Soundart Cologne. Art Cologne, 2004.

Fig. 4.4 (à droite) : *G-POD* (s.d.) Jens Brand.
« Mixed Media Installation with modified computer/hacked iPod/online store Soft- and Hardware construction Sukandar Kartadinata. CI and print Christa Marek. Web-programming schwarzdesign. 2004-2007 » (Consulté sur le site de l'artiste http://www.jensbrand.com/gplayer_images.html le 29 dé. 2015)

Ces sons (☛ fig. 4.5)⁵ viennent compléter cette brève description. Ils semblent résulter du frottement d'une surface irrégulière et minérale comme si notre oreille était toute proche de l'écorce terrestre, transformant la Terre en un objet préhensible dont l'échelle se rapporte à nos sens. Le son engendre alors une image acoustique très évocatrice et précise de ce qui serait en train de se produire si une aiguille géante écorchait la surface du globe terrestre et faisait ainsi sonner son relief accidenté, chaotique, hétérogène. Tout à la fois familiers et inédits, ces sons audifiés nous donnent à sentir la surface de cette arche originaire.

Jens Brand propose ici une audification dont la force figurative sert pourtant une approche conceptuelle. Ce qui est donné à entendre, c'est bien le profil topographique de la Terre transformé en une courbe par les données métriques récoltées le long de la trajectoire du satellite (Fig. 4.6). Celles-ci sont transmises, après un cheminement technologique complexe, jusqu'aux oreillettes du casque audio. En ce sens la partition est bien celle d'une topographie, et l'audification produit un paysage sonore figuratif au même titre que l'on parle d'un paysage figuratif en dessin. En ce sens nous sommes dans une approche représentationnelle où le médium-son donne forme à des données physiques. La phase de captation ne passe jamais par un toucher "réel" mais uniquement par la reconstitution d'un relief qui est issue du recoupement de données : la position géographique du satellite dans le temps de son déplacement avec les altitudes de la carte topographique du monde (Fig. 4.6), en somme un dispositif de géolocalisation. C'est la part figurative de l'audification dans l'œuvre de Jens Brand.

En même temps, l'audification du relief terrestre s'inscrit chez Brand dans une approche conceptuelle, où notre objet d'étude dialogue avec l'ensemble du dispositif. Que nous racontent ces sons? Le frottement décrit plus haut et l'illusion de la grande proximité qu'il engendre, réduisent ce vaste astronef en un objet préhensible. Il inverse les échelles : ce n'est plus la Terre qui nous porte, nous ne sommes plus une émanation de celle-ci, mais l'échelle auditive à laquelle Brand la ramène semble pouvoir la faire tenir dans le creux de notre main.

⁵ ☛ Fig. 4.5 : *GP4* (2004) Jens Brand. Extrait. Consulté le 20 août 2016 à l'adresse <http://soundart.zkm.de/en/g-player-4-2004-jens-brand/>

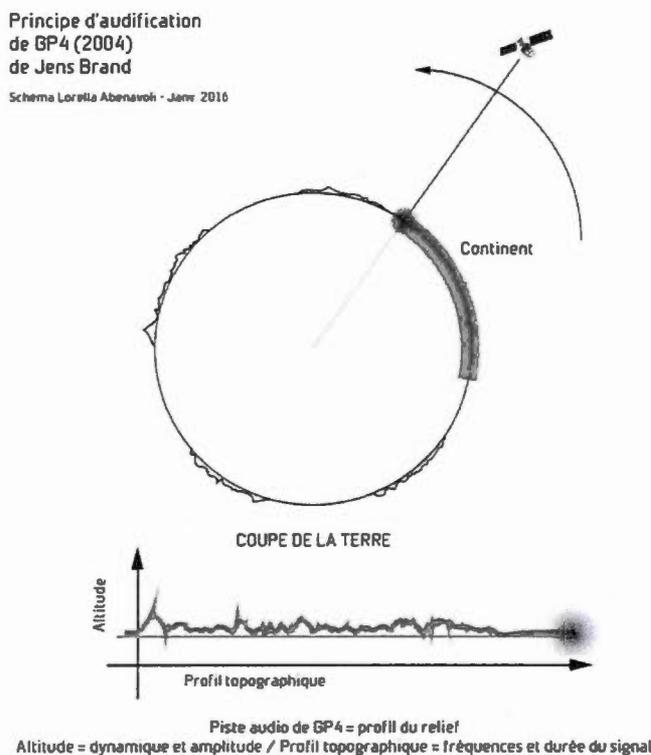


Fig. 4.6 : Principe d'audification de GP4 (2004) de Jens Brand. Schéma : L. Abenavoli. Lorsque le satellite survole les continents, le profil des reliefs devient les fréquences du son. Lorsque le satellite survole les océans dont l'altitude est 0m et le relief plat, le système ne diffuse aucun son.

Avec cette inversion d'échelle, l'auditeur devient une figure prométhéenne, mi-homme mi-dieu, tenant la Terre dans sa paume. Chaque trajet orbital du satellite grave une scarification auditive à la surface de la Terre, métaphore de la blessure qui caractérise l'ère de l'anthropocène. Et c'est cela qu'interroge Brand. Ainsi la figure auditive produite dans l'œuvre de Brand, tout en révélant un paysage à l'échelle planétaire, produit simultanément un discours critique et poétique, au regard de sa contextualisation dans une installation qui reprend les codes de design commercial d'un stand de foire. La figuration auditive produite ici renvoie, comme toute figuration en art, à une polysémie construite à partir du dialogue avec les autres éléments de l'œuvre et à partir de la façon dont le médium est traité.

Du point de vue des définitions techniques de la sonification, *Le souffle de la Terre* et *GP4* s'inscrivent dans la catégorie de l'audification. Toutes deux ont pour objet et sujet la Terre et toutes deux utilisent des données physiques comme source de l'objet sonore qu'elles produisent. La première saisit les mouvements sismiques de la Terre, tandis que la seconde utilise le satellite comme capteur mobile pour saisir son relief et faire sonner son écorce. On peut déjà à partir de ces deux œuvres identifier deux qualités des sources : les sources mouvantes et les sources fixes. Et par là identifier deux type de capteurs : immobile et mobile. Les premiers saisissant des phénomènes mouvants (les séismes) et les seconds saisissant des phénomènes fixes (les reliefs). La sonification élaborée à partir des premiers tend à reproduire par le son une temporalité originaire. La sonification des seconds produit un objet temporel sonore qui rend cependant compte d'un phénomène fixe. Dans *Le souffle de la Terre* le dispositif d'audification choisi exalte les dimensions insondables de la Terre où la spatialisation immersive déborde le visiteur tandis que dans *GP4*, le dispositif d'audification réduit l'astre terrestre en un objet préhensible.

Chez Brand, le son, métaphore tactile rendue possible grâce à la numérisation des données et à leur transposition dans le domaine du sonore, nous renvoie à un modèle technologique plus ancien, celui de l'empreinte phonographique d'abord sur cylindre puis du disque vinyl. Laslo Moholy-Nagy fut le premier artiste à avoir eu l'intuition de transformer le gramophone, cet appareil d'abord destiné à l'enregistrement, en un instrument de production sonore indépendant de sa fonction originelle. Marcella Lista cite dans le catalogue *Son et Lumière* un extrait d'article de 1923 de Moholy-Nagy « Je proposais de faire du phonographe, en tant qu'instrument de reproduction, un instrument de production, de manière à ce que le phénomène acoustique se produise lui-même sur le disque sans existence acoustique préalable, par la gravure de séries de signes nécessaires. » (Lista, 2004, p.202). Il a envisagé l'énorme potentiel instrumental des gravures réalisées sur le disque pour être ensuite "lues" et jouées par le gramophone. Bien qu'il ne soit pas allé jusqu'à extrapoler, comme dans l'œuvre de Brand, l'usage de n'importe quelle surface en relief comme source d'un nouveau paysage sonore, il est bien le précurseur de cette production matérielle, concrète du son. Ses écrits s'inscrivent au sein d'une pensée de l'intermedia qui marque le début pour les artistes plasticiens d'une synesthésie technologique dont le microsillon au début du XXe siècle est l'une des manifestations (Fig. 4.7).

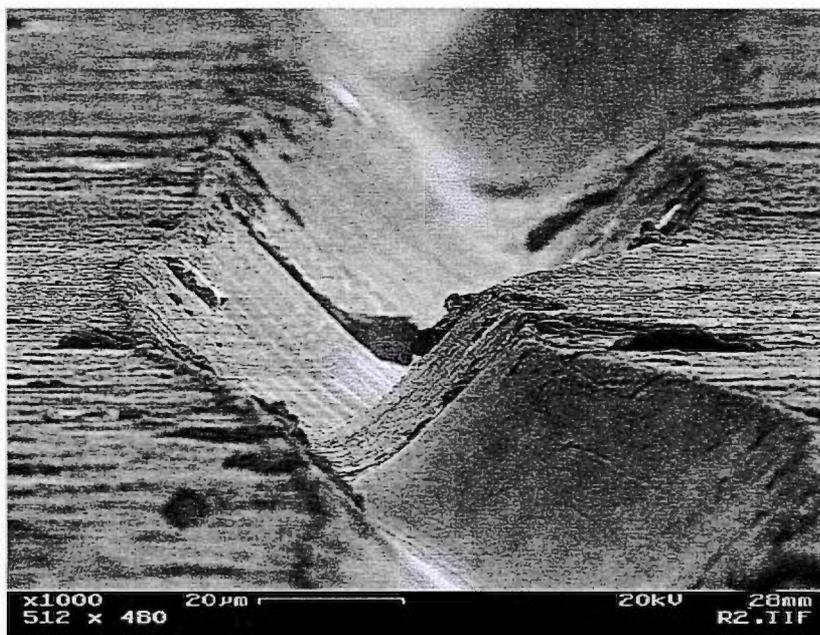


Fig. 4.7 : Un sillon de disque vinyl agrandi 1000 fois. © Chris Supranowitz, Institute of Optics at the University of Rochester.⁶

Cette approche topologique de la sonification, qui consiste à transposer les données des reliefs d'une surface en sons, peut former une typologie de sonification en soi, dont la caractéristique est la dimension tactile de la captation. La prochaine œuvre qui est abordée, *Delay* de Mary Sherman, exploite elle aussi cette forme de sonification tactile, bien que le sujet en soit très différent.

4.2.2 *Delay* (2012) Mary Sherman et Florian Grond ou l'audification du regard⁷

Le principe de captation consiste d'abord à cartographier la surface d'une peinture à l'huile afin de la faire sonner dans l'espace. "What if you could hear a painting?"⁸ questionne Mary

⁶ <http://www.optics.rochester.edu/workgroups/cml/opt307/spr05/chris/> consulté le 18 février 2016

⁷ Cette œuvre a fait l'objet d'un article dans la revue *ETCMEDIA* dont je garde ici le titre. (Abenavoli, 2016)

⁸ Dans une monographie MIT Press (à paraître). Extrait que l'on peut aussi trouver sur son site : <http://transculturalexchange.org/marysherman/works/current/delay/vd.html> consulté le 19 avril 2016.

Sherman. En réalité la question de son œuvre est plus complexe et touche celle de la perception en général et celle de l'œuvre d'art et de la peinture en particulier. Cependant concentrons-nous pour l'instant sur le dialogue engagé entre la peinture et le son. Dispositif d'apparence minimaliste, *Delay* est pourtant relativement complexe à décrire et les illustrations ci-dessous (Fig. 4.8 à 4.11) aideront à sa compréhension.



Fig. 4.8 (gauche) : *Delay* (2012) de Mary Sherman, collab. Florian Grond. Vision globale de l'installation. On aperçoit sur le mur du fond en bas, un cadre blanc derrière lequel se trouvent les cinq haut-parleurs.



Fig. 4.9 (dessous) : *Delay* (2012) de Mary Sherman, collab. Florian Grond. Vue rapprochée. Le volet est ouvert et laisse voir le monochrome blanc.

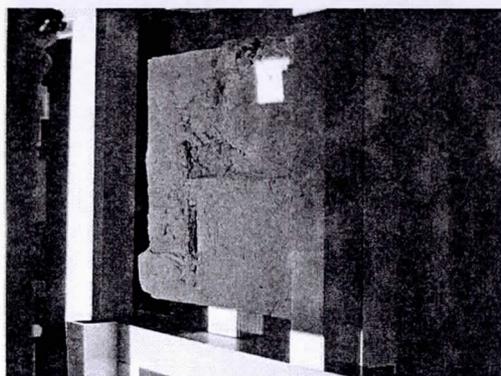
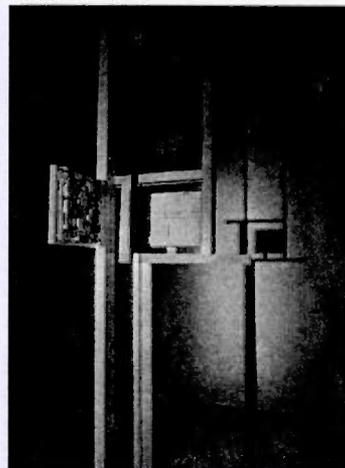
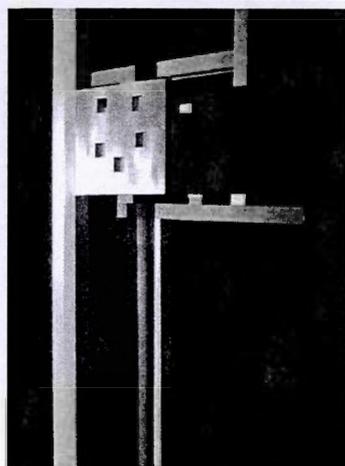


Fig. 4.10 (à droite) : *Delay* (2012) de Mary Sherman, collab. Florian Grond. Vue rapprochée. Le volet est fermé. On aperçoit un rectangle lumineux en train de se former. Cette surface lumineuse est audifiée et on entend durant son dévoilement, le son dans l'espace de la galerie. Fig. 4.11 *Delay* (2012) de Mary Sherman, collab. Florian Grond. Détail.



L'installation cinétique et interactive convoque tout l'espace de la Galerie KiT qui baigne dans l'obscurité (fig. 4.8). Cinq dispositifs semblables occupent le lieu. On ne décrira ici qu'une seule de ces cinq pièces dont le principe reste identique. Au cœur du dispositif, une peinture à l'huile de petite dimension (6" x 6"), monochrome blanche, à l'empâtement épais et accidenté, est suspendue à hauteur d'homme. Située au milieu de l'espace de la galerie, tournant le dos au mur distant de quelques pieds, elle lévite au centre d'un châssis d'aluminium dont les portants verticaux sont fixés au sol et au plafond (fig. 4.9). La peinture est illuminée par un projecteur, transférant nettement l'ombre de l'ensemble de toute la structure orthogonale sur le mur. Lorsque le public passe devant le faisceau lumineux, il produit une éclipse qui oblitère la peinture, mouvement redoublé par le déplacement d'un volet qui pivote et se place devant le tableau interdisant désormais toute visibilité de la peinture. Cependant ce volet d'aluminium comporte lui-même cinq petits obturateurs rectangulaires qui coulissent lentement, laissant passer un faisceau de lumière qui éclaire une petite portion de surface de la peinture et en dévoile un fragment au fur et à mesure de son ouverture. Chaque fragment de peinture est audifié dans l'espace au rythme de son lent dévoilement (☞ Fig. 4.12)⁹. Les haut-parleurs, au nombre de cinq, qui diffusent le son de chaque audification en cours, sont chacun incorporés dans un cadre monochrome blanc accroché sur les murs qui entourent le dispositif qui vient d'être décrit, jouant ainsi avec la spatialisation des sources sonores. Les cycles d'ouverture des obturateurs et la diffusion sonore achevés, le volet s'ouvre à nouveau laissant réapparaître la peinture, jusqu'à ce que quelqu'un se trouve de nouveau proche du capteur de présence et réitère le cycle.

Florian Grond, collaborateur artistique de Mary Sherman, a conçu la sonification de la peinture. La sonification de chaque fragment est réalisée à partir de leur données topographiques reconstituées grâce à un scanner tomographique d'imagerie médicale¹⁰ dont la représentation sous forme de graphique noir et blanc bi-dimensionnel a d'abord été transmise à Florian Grond qui, à son tour, a prélevé certaines données du relief pour réaliser une audification hybridée avec une sonification par mise en correspondance. Florian Grond n'a

⁹ ☞ Fig. 4.12 : *Delay* (2012) Mary Sherman et Florian Grond Vidéo : Florian Grond. Documentation : Siyi Wang (Editing)

¹⁰ Information diffusée sur le site de la Galerie KiT à propos *Delay*, Trondheim Academy of Fine Art NTNU N-7491 Trondheim – consulté le 13 avril 2016

pas systématisé le prélèvement des données mais il a envisagé la sonification comme la trace audible du regard parcourant la toile. "J'ai inventé une ligne sur cette surface qui la balaie comme le regard balaie une peinture" (Grond, 2016). L'audification a donc consisté à tracer sur ce fragment de peinture, une ligne virtuelle vagabonde, inspirée des théories de la communication visuelle mais aussi de sa propre expérience (Fig. 4.15). Cette ligne, comme dans *GP4*, a prélevé le relief pour le rendre audible, en appliquant toutefois au prélèvement des données une dérivée (δ) n'indiquant pas la valeur absolue des "altitudes" mais leur valeur relative calculant le changement d'orientation de la ligne : selon que celle-ci monte, descend ou se déploie à l'horizontal. L'application de la dérivée (δ) a pour conséquence d'obtenir un signal qui, bien qu'issu du profil des anfractuosités de la peinture, oscille bien au-dessus ou au-dessous de l'axe des "0" des abscisses du schéma cartésien (Fig. 4.16). Cette transposition du profil du relief de la peinture en courbe audio est la part d'audification de cette œuvre. Par

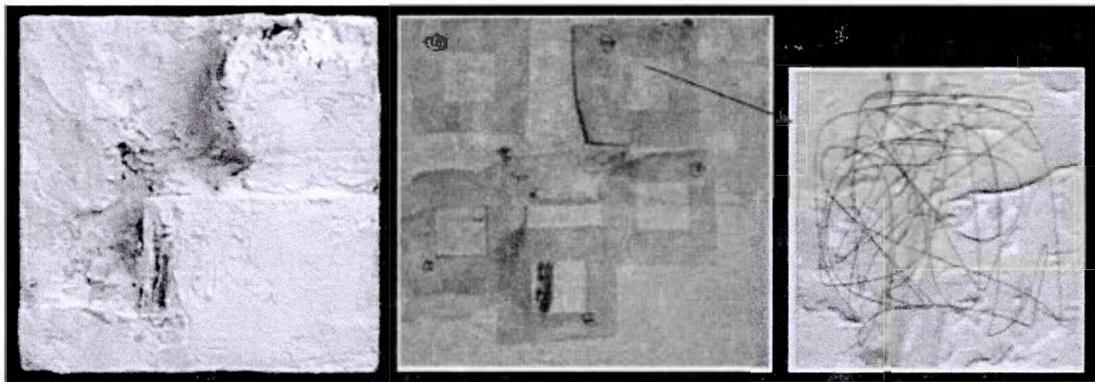


Fig. 4.13 (à gauche) : *Delay*, 2012, Mary Sherman, Photo : Stewart Clements. peinture monochrome.
 Fig. 4.14 (au centre) : *Delay*, 2012, Mary Sherman, photo et document : Florian Grond. On voit les fragments isolés par du ruban adhésif, qui apparaîtront derrière les obturateurs et qui seront audifiés.
 Fig. 4.15 : *Delay*, 2012, Mary Sherman, photo et document : Florian Grond. Dessin de la ligne sur l'un des fragments de peinture. Cette ligne dessine la trajectoire du relief de la peinture qui sera audifiée. Son profil apparaît sur la fig.14 ci-dessous.

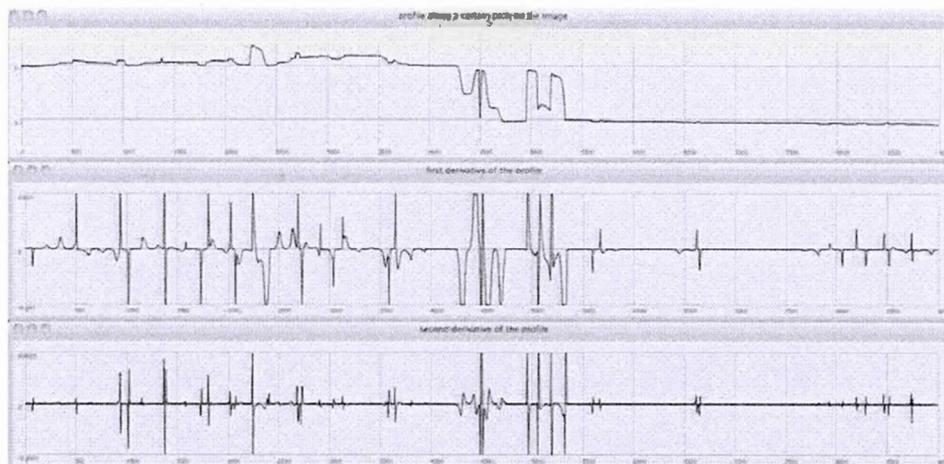


Fig. 4.16 : *Delay*, 2012, Mary Sherman, photo et document : Florian Grond. Le schéma du haut représente le profil du relief de la toile. Les deux schémas du dessous représentent la "même" ligne à laquelle Florian Grond a appliqué une dérivée afin de normaliser la dynamique du son.

ailleurs Florian Grond a appliqué quelques effets aux données topographiques : la profondeur est exprimée avec de la réverbération (asséchée pour les hautes altitudes, accentuée pour les basses altitudes), les nuances colorées se voient appliquer un effet de synthèse audio évoquant les formants des voyelles du langage. L'application de ces deux effets à deux paramètres topographiques de la peinture introduit ici la sonification par mise en correspondance. C'est en cela que la sonification est hybride bien que l'audification soit prépondérante. Les sons entendus dans la vidéo (🎧 Fig. 4.12) ont une familiarité avec ceux entendus dans GP4 de Jens Brand (🎧 Fig. 4.5). Ce qui laisse penser que l'éducation auditive que requiert la pratique de l'audification pourrait être assez rapide.

Mary Sherman écrit à propos de son œuvre "*Delay is a spare installation about impossible love. It is meant to be a lure: to be seen, heard (...) and experienced; to delay people, as love does – which, in this case, stems from my love of painting (...)*"¹¹ Cette œuvre incarne l'image du désir dont l'objet, la peinture, disparaît dès que l'on s'en approche. Les ingrédients mythiques de la peinture sont là : l'ombre projetée sur le mur nous rappelle le récit originel de

¹¹ Extrait de son texte issu de son site internet.

<http://transculturalexchange.org/marysherman/works/current/delay/vd.html>, consulté le 25 janvier 2016.

la plastique raconté par Pline l'ancien¹² où la fille du potier Butadès de Corinthe dessine sur le mur de l'atelier l'ombre de son amant qui doit la quitter. Ce mythe fondé sur l'absence de l'aimé, institue la genèse de la peinture, sujet de l'œuvre de Mary Sherman. Le volet qui masque le tableau encore plus sûrement que notre ombre projetée sur la peinture, met définitivement en échec notre pulsion scopique, expression du désir, qui est cependant relayée par l'auralité de l'audification de la peinture. La lente ouverture de l'obturateur qui coïncide avec le déroulement du son opère une caresse, une optique tactile dont le son devient le médium.

L'audification prolonge ainsi la vision rendue défaillante en proposant une alternative sensorielle. La fonction tactile du regard est remplacée par l'émanation haptique du sonore qui traverse l'air et nous unit à l'œuvre. Nous percevons la peinture grâce au son qui se déploie dans l'espace. La peinture nous touche littéralement grâce à son audification, le dispositif mettant à nouveau en acte une synesthésie technologique.

4.2.3 *Bondage* (2004) Atau Tanaka¹³

Sensualité, pulsion scopique, désir sont les ingrédients qui caractérisent aussi l'installation interactive *Bondage* de Atau Tanaka. L'objet sonifié n'est pas une peinture mais une photographie noir et blanc et la sonification par mise en correspondance élaborée par l'artiste introduit de nombreux niveaux de complexité au regard des deux œuvres précédemment commentées.

Bondage est une installation qui réinterprète visuellement et auditivement une photographie érotique de Nobuyoshi Araki. Araki est un photographe japonais reconnu internationalement pour ses photos érotiques et pornographiques de figures féminines exploitant l'iconographie japonaise et l'héritage du Shunga. Atau Tanaka a eu accès au fonds d'archives privé d'Araki et en particulier à une collection inédite de polaroid dont il a extrait la photo citée dans *Bondage*

¹² *Histoire naturelle*, c. 77 ap JC, Pline l'Ancien, Livre XXXV, § 151 et 152.

¹³ L'ensemble des données techniques de ce paragraphe, concernant spécifiquement *Bondage*, sont issues de l'article de Atau tanaka écrit dans *AI&Society*, 27:315-318, 2012.

(fig. 4.17) qui deviendra la source de sa composition par sonification. Cette œuvre, dans cette thèse, sera la première et l'une des rares¹⁴ à avoir été réalisée par un musicien dont la pratique

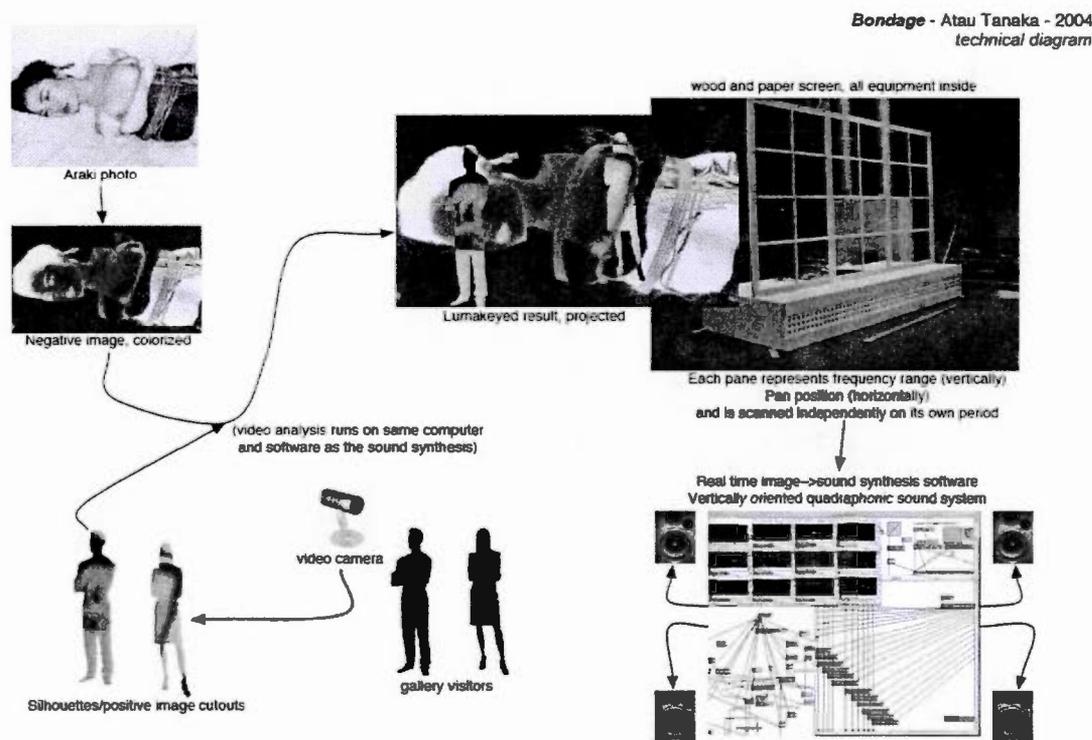


Fig. 4.17 : *Bondage* (2004) Atau Tanaka © Atau Tanaka. Ce schéma montre le processus de sonification, à partir de la photographie originale (en haut à gauche) de Nobuyoshi Araki jusqu'au patch Max-msp qui présente la photo divisée en 12 "partitions". On voit aussi le principe d'incrustation des silhouettes en positif du public sur l'écran, lorsque celui-ci rentre dans l'espace d'exposition. Ces silhouettes vont interférer durant le traitement du signal qui sonifie l'image. (voir explication dans le texte).

de la sonification est envisagée comme une pratique compositionnelle. Cependant sa forme installative l'inscrit dans la famille des œuvres présentées. L'analyse de sa composition sonore permettra de saisir un peu mieux l'écart entre l'approche d'un musicien et celle d'un plasticien.

¹⁴ C'est aussi le cas de la sonification réalisée par Peter Gena pour l'installation *Genesis* de Eduardo Kac qui sera commentée plus bas.

L'ensemble du dispositif évoque la culture japonaise (Fig. 4.17) : dans l'obscurité, un écran horizontal de 4m x 3m fait de strates de papier et de fibres textiles superposées évoque la texture du papier de riz; la structure de bois visible, sur laquelle est tendu l'écran, rappelle, quant à elle, les shoji, porte de bois coulissantes des intérieurs japonais; la physionomie du visage de la figure féminine et la présence du kimono présentent une femme japonaise; enfin les tonalités pentatoniques et certains timbres percussifs de l'environnement sonore font référence aux sonorités nippones. L'œuvre interactive joue avec de nombreuses strates lumineuses et sonores qui interagissent entre elles et avec la présence du public (■ Fig. 4.18)¹⁵.

Pour comprendre la sonification mise en œuvre, il faut envisager l'écran comme une partition dont la structure apparente en menuiserie constitue la grille (fig. 4.17). Chacune des quatre rangées horizontales traite une bande de fréquences différentes, allant des basses fréquences pour la rangée du bas jusqu'aux plus hautes fréquences pour celle du haut. Ensuite chacune de ces quatre rangées est divisée en trois parties égales, elles-mêmes facilement repérables grâce à la même structure de bois, constituant ainsi douze modules ou douze partitions. Chacun de ces douze modules est lui-même divisé en deux parties, la droite et la gauche, correspondant aux deux canaux stéréophoniques. Enfin l'ombre de la silhouette des visiteurs se superpose de façon éphémère sur l'écran (Fig. 4.20), modifiant ainsi la luminosité de l'image dont le mapping¹⁶ réalisé et traité en temps réel vient à son tour modifier les sonorités.

La photographie de la figure féminine projetée sur l'écran est un négatif issu du polaroid qui a été scanné par Tanaka mettant en exergue les contrastes des valeurs de la silhouette, ceux des

¹⁵ ■ Fig.4.18 : *Bondage* (2004) Atau Tanaka. Exposition Panorama 5. 11 juin-6 juillet 2004. Le Fresnoy, Studio National d'art Contemporain. France.

¹⁶ Le mapping, terme technique anglophone, est désormais couramment accepté pour désigner ce travail de captation et de lecture logicielle de données pour en proposer une appréhension sous forme textuelle, visuelle, auditive. Parfois ce terme est francisé sous la forme de mappage – de plus en plus rare – ou traduit par cartographie. Ce dernier terme est très intéressant car il contient toute une histoire de correspondance à commencer par celles du territoire et de la carte et induit une relation historique entre un système de représentation plus ou moins complexe entre un objet physique tri- ou quadri-dimensionnel et sa représentation. Le terme de cartographie sera parfois utilisé dans ce texte. Lorsque mapping est conservé c'est parce qu'il correspond plus précisément à ce qu'il désigne, induisant par sa forme en "ing" un scan en mouvement et en temps réel.

motifs du kimono, et les lignes des cordages qui entourent le buste. Le négatif bicolore (blanc + couleur) qui dessine une présence fantomatique est animé par de douces et lentes variations



Fig. 4.19 : *Bondage* (2004) Atau Tanaka, Villette Numérique, Paris Photo : Pierre-Emmanuel Rastoin¹⁷
 Cette photo montre les silhouettes pixellisée en mouvement des deux visiteuses, qui se superposent à la photo de la silhouette de la figure féminine projetée sur l'écran.

de lumière colorée. Cette image est à nouveau affectée lorsque le public entre dans l'espace de projection : la silhouette en mouvement des visiteurs vient inscrire sa trace sur l'écran faisant ainsi apparaître le positif de la photographie (Fig. 4.19). La fluctuation de cet environnement est décuplée par l'espace auditif auquel les sonorités semblent faire écho (Fig. 4.18). Un élément graphique, à destination du public, nous donne l'une des clefs de compréhension de la production sonore : 12 lignes rouges et lumineuses balayent horizontalement les 12 modules rectangulaires de la photographie. Ce balayage renvoie conventionnellement à la barre de lecture des pistes sonores. Ici ce balayage indique que les

¹⁷ Extrait de *AI & Soc* (2012) 27:315–318 . Photographie en haute définition communiquée gracieusement par Atau Tanaka dans le cadre de cette thèse.

fragments de l'image balayée deviennent une partition électronique, source de la sonification par mise en correspondance élaborée par Atau Tanaka.

Il joue ici essentiellement avec deux dimensions du signal : la 1^{ère} exploite la synthèse additive et la 2^{de} concerne la texture sonore produite par l'application d'échantillonnages phonographiques préalablement enregistrés. Dans le premier processus, chacun des douze modules photographiques est envisagé comme un sonogramme (Fig. 4.20) à partir duquel un logiciel applique une Transformée de Fourier Inversée (FTI) et reconstitue le son analysé. Un sonogramme est une représentation graphique produite par un spectrographe sonore proposant une analyse des composants du son c'est-à-dire un spectre du signal.

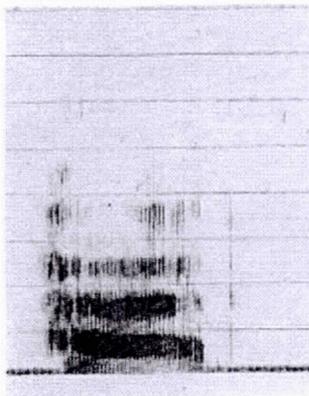


Fig. 4.20 : « Sonogramme de la voix humaine prononçant la voyelle "a" du verbe anglais "had" ». Illustration et légende extraites de Pierce, John (2000) *Le son musical, musique, acoustique et informatique* Belin coll. L'univers des sciences p. 52.

Les sonogrammes les plus anciens et les plus simples représentent deux dimensions : les fréquences constitutives du son sont indiquées verticalement, leur durée dans le temps indiquées horizontalement (Fig. 4.20). Pour obtenir ce sonogramme on applique une Transformée de Fourier. La Transformée de Fourier décompose le signal en sinusoïdes, indiquant la nature et la quantité de fréquences simples sur une durée déterminée. Le sonogramme représente graphiquement, comme un spectre de lumière, cette composition fréquentielle. Une Transformée de Fourier Inversée, comme son nom l'indique inverse le

procédé : on part du spectre du sonogramme pour reconstituer le signal sonore. Ainsi Atau Tanaka utilise chacun des 12 modules photographiques comme s'il s'agissait de 12 sonogrammes. Pour faire cela il utilise le logiciel Metasynth, en le détournant de sa fonction initiale, en "lui" indiquant que chaque module photographique est un sonogramme musical dont les tons sont entiers ou appartiennent à la gamme pentatonique japonaise; ce qui oriente le logiciel à produire des sonorités qui donnent une sensation tonale orientale. Un 2^e processus de sonification est ajouté à ce dernier. Des échantillons phonographiques, enregistrés par l'artiste lors de voyages au Japon, sont assignés à certaines fréquences résiduelles spécifiques qui coïncident avec des éléments graphiques contrastés. Ces échantillons sont issus d'enregistrements de cloches, de temples bouddhiques et d'instruments d'orchestration gagaku et sont appliqués à ces saillances visuelles, telles que les cordes ou les motifs du kimono, qui deviennent alors des saillances sonores. Enfin la trace de la silhouette du public interfère avec le traitement en cours : la variation de luminosités captées par la caméra infrarouge au-dessus de l'écran modifie en retour et en temps réel les harmoniques contenues dans le son.

Le bondage est une pratique sadomasochiste qui consiste dans l'art d'attacher son partenaire dans un savant jeu de cordage exhibant les zones érogènes du corps. Entre exhibitionnisme et voyeurisme, Araki joue avec la pulsion scopique qu'il met en scène dans cette photographie dont la trace, estompée par le travail de l'image et du son de Tanaka, en exalte plutôt l'érotisme. L'interaction métaphorique entre le visiteur, dont le corps est transporté dans l'image, et les effets visuels et sonores qu'il produit, met encore ici en œuvre une métaphore tactile amplifiée par les modifications sonores engendrées en temps-réel par cette intrusion du spectateur dans l'image. C'est aussi cette interaction qui est d'abord perçue grâce la vision de sa propre silhouette mise en abîme dans l'écran qui fait prendre conscience au visiteur de son interaction avec le son qui prolonge en un continuum sensoriel l'expérience scopique en une expérience synesthésique associant perception spatiale, sonore et visuelle. Bien que la sonification soit ici de nature topographique comme dans les œuvres précédentes, la mise en correspondance complexe et musicale¹⁸ n'aspire pas ici à renvoyer explicitement aux textures

¹⁸ On parle ici d'une mise en correspondance musicale car les sons associés aux paramètres sont issus de la gamme pentatonique, contrairement aux œuvres précédentes, dont les correspondances avec les sons sont de nature analogique, ne cherchant aucunement à mettre en œuvre une harmonie musicale.

matérielles du corps, de la peau, des tissus, des cheveux... La mise en correspondance indirecte et détournée se situe plutôt du côté d'une évocation sensuelle maîtrisée par le compositeur. Fort de son œuvre précédente *9mn14s* Tanaka écrit :

(..) I had a sense for the kinds of sounds an image, and characteristics of an image, might give. This was a composer's instinct [a musician composer] not dissimilar to knowing how a certain instrumental combination or orchestration might sound without needing to hear it directly. In this case the hundred of Polaroids in the collection all represented variations on a theme (...). The combination of curves of heads and shoulders, striking diagonal lines of rope, and the patterns of the kimono fabric lent to, in my mind's ear, varying orchestrations of smooth glissandi, transient percussive sounds, and intricate timbral détail. (Tanaka, 2012, p.316)

Si *Delay* et *Bondage* utilisent une approche topographique de la sonification, le contraste de leur traitement est éclairant quant à la recherche de cette thèse. Dans *Delay*, Florian Grond utilise les données numériques pour reconstituer auditivement un relief concret tandis que dans *Bondage*, Atau Tanaka utilise les données numériques pour produire un tout nouvel objet sonore qui a peu de relation avec sa source bien qu'il en soit l'émanation, l'inspiration. Même si tous deux utilisent sciemment la sonification, ce qui distingue la pratique d'un compositeur comme Atau Tanaka d'un plasticien comme Florian Grond, c'est l'intention : le premier projette dans l'image qu'il perçoit un potentiel musical et ses outils de conceptualisation et de sonification appartiennent à l'instrumentation électronique musicale, tandis que le second explore de façon plus directe (même s'il incorpore de très fines couches de sonification par mise en correspondance) le potentiel topographique de son objet par une approche tactile avec la volonté d'exacerber ce qui est donné. Les deux taxonomies techniques correspondent ici à deux intentions et à deux expériences artistiques distinctes.

Cette œuvre de Tanaka nous conduit vers une autre œuvre, *L'origine des espèces* de Jocelyn Robert, qui semble elle aussi jouer avec le photographique. Cependant son analyse va nous mener en deçà de sa surface, directement dans son code numérique, nous faisant quitter a

Ce qui se dessine ici c'est probablement une différence majeure entre les sonifications réalisées dans une optique musicale de celle réalisées dans une optique plastique.

priori la sonification topographique pour une sonification conceptuelle détachée de sa source physique.

4.3 Sonification conceptuelle

4.3.1 *L'origine des espèces* (2006) Jocelyn Robert

À l'automne 2006, la Galerie Leonard & Bina Ellen à Montréal montait, sous le commissariat de Michèle Thériault, une exposition collective intitulée *CUT*. Elle réunissait les œuvres de trois artistes conceptuels de l'art audio¹⁹ parmi lesquelles *L'origine des espèces*, installation de Jocelyn Robert. En déambulant dans la grande boîte blanche de la Galerie Leonard & Bina Ellen, un bourdonnement se faisait entendre attirant le visiteur vers sa source. Arrivé au seuil de l'installation, face à un dispositif visuel et spatial d'une imposante symétrie, se trouvaient deux éléments visuels dialoguant avec le son percussif, désormais enveloppant et martelant, dans l'atmosphère réverbérante de la galerie. Sur le mur du fond, faisant face au visiteur, la photographie duotone d'une machine à dactylographier; devant elle, déployée sur le sol, une série de 50 haut-parleurs désossés, ordonnés comme les touches du clavier mécanique de la machine, leur membrane orientée vers le plafond, reposaient au sommet des tiges filetées (Fig. 4.21).

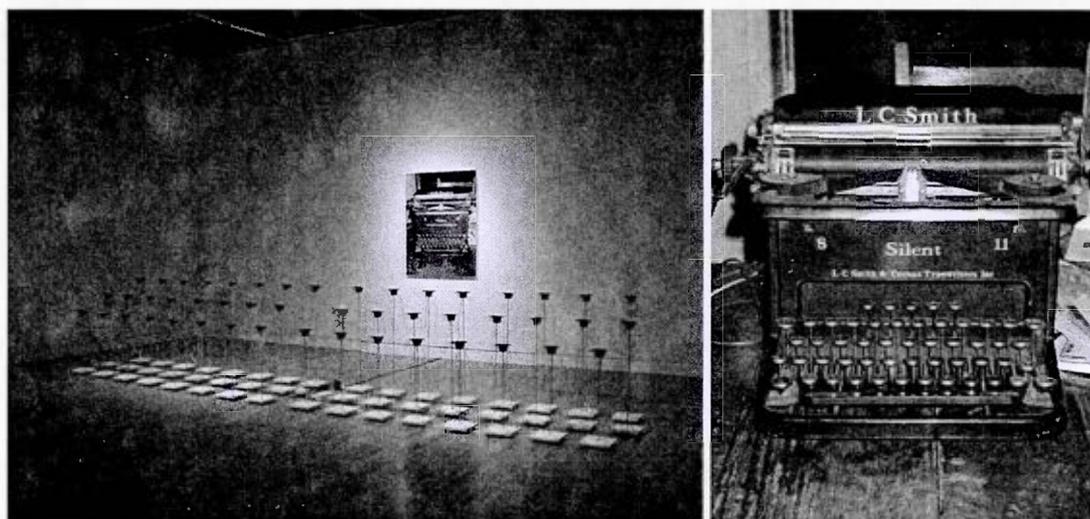


Fig. 4.22 : *L'Origine des espèces*, 2006, Jocelyn Robert. Photo : Jocelyn Robert Installation sonore et

¹⁹ Raymond Gervais, Christof Migone et Jocelyn Robert.

photographique : Impression jet d'encre, 50 haut-parleurs sur pied, baladeur mp3 et amplificateur. Exposition Galerie Leonard & Bina Ellen, Montréal du 19 octobre au 25 novembre 2006

Au cœur de cette mise en espace minimaliste, l'esprit pouvait commencer à vagabonder. *LC Smith... 8,11... Silent...* lisait-on sur le carénage de la machine à écrire. (Fig. 4.22). Les sons, qui semblaient tout d'abord reproduire le cliquètement de dizaines de dactylos au travail, se métamorphosaient en prenant lentement une autre coloration (■ Fig. 4.22)²⁰. L'origine mécanique disparaissait au profit d'un bourdonnement électronique... Métaphore?... Ressemblance?... Dissociation?... Saturation?

Les sons diffusés par les 50 haut-parleurs sont en réalité produits par la sonification du fichier numérique réalisé lors de la prise photographique de la machine à écrire LC Smith. La source de cette sonification est un fichier .tiff, traité par le logiciel Soundhack²¹ de façon à donner forme, d'une part à une image visuelle et, d'autre part à une image sonore. Lors d'un échange courriel avec Jocelyn Robert il expliquait :

Il n'y avait pas d'image au départ.

J'ai pris une photo de la machine à écrire avec un appareil numérique.

Contrairement à ce que l'on pense, ces appareils *ne font pas d'image* : ils font une description logicielle – codée - d'une distribution de lumière. Ce n'est PAS une image.

Pour qu'une image apparaisse, il faut appliquer une *second* code : un code qui dit comment distribuer l'information sur un écran ou dans une imprimante.

Dans le cas de cette installation, j'ai donc pris l'information produite par l'appareil photo-numérique

et je l'ai lue avec (je lui ai appliqué) deux codes au lieu d'un.

Je lui ai appliqué un code qui la traduit en image

je lui ai appliqué un code qui la traduit en sons.

Curieusement, c'est un concept que je n'ai jamais lu ailleurs et qui est, à mes yeux, essentiel. (Robert, 2015)²²

²⁰ ■ Fig. 4.22 : *L'origine des espèces* (2006) Jocelyn Robert. Exposition *CUT* Galerie Leonard & Bina Ellen, Montréal du 19 octobre au 25 novembre 2006. Consultée le 20 août 2016 sur le site de l'artiste http://jocelynrobert.com/?page_id=751

²¹ <http://www.soundhack.com/>

²² Extrait d'une correspondance entre Jocelyn Robert et Lorella Abenavoli à propos de *L'origine des espèces* datant du 17 avril 2015.

Ainsi le code du fichier numérique initialement destiné à produire une photographie, a été détourné afin d'engendrer des sons. On se trouve ici très loin, tant du point de vue processuel que du point de vue conceptuel de *Delay* ou de *Bondage* évoquées précédemment. La sonification n'aspire ici, ni à révéler auditivement le corps de la machine à écrire, ni à jouer avec la topographie de sa photographie mais bien à rendre audible la part, habituellement cachée, invisible et transparente du dispositif : la matrice numérique du code. Sur le plan du processus, ce qui est intéressant c'est que Jocelyn Robert délègue complètement la transformation de ce code au logiciel Soundhack (2006) et à l'auteur de son algorithme Tom Erbe. Il en revendique même, sans véhémence mais avec un parti pris assumé, la méconnaissance du procédé de transformation du code en son. Ce désintérêt pour le procédé n'en exclut pas moins la connaissance, par l'expérience, du type de production sonore qui pourra surgir de l'image, elle-même produite par le fichier numérique. On peut alors parler d'un procédé imprévisible qui, pourtant, associé aux autres éléments de l'installation, produit du sens.

Si on fait un retour sur le titre de l'œuvre, *L'origine des espèces*, qui cite le texte éponyme de Charles Darwin théorisant l'évolution du vivant, l'œuvre de Jocelyn Robert prend toute sa dimension philosophique et poétique. *L'origine des espèces*²³ de Charles Darwin, qui est encore à ce jour un des piliers de la biologie moderne, place au cœur de sa théorie la sélection naturelle grâce au principe d'adaptabilité du vivant à son milieu par sa mutabilité. Un défaut dans la transmission du code peut devenir ce qui sauve, le handicap d'aujourd'hui peut devenir la chance et la norme de demain. Cette œuvre en est à son tour la métaphore. Une même entité numérique, sorte d'ADN technologique, engendre ici deux formes : la première, normée, l'image figurative photographique de la machine à écrire; la deuxième, hors-norme, l'image sonore de la matrice numérique. En sonifiant cette matrice commune et par là même en l'ouvrant à un autre possible, Jocelyn Robert ouvre une voie et opère une mutation, en donnant corps à une nouvelle entité tout à fait improbable, dont l'œuvre expose le corps, promesse subversive d'un avenir incarné ici par le son.

²³ Titre original complet en anglais: *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*, est un ouvrage de Charles Darwin, publié le 24 novembre 1859 et dans lequel il explique les processus présidant, selon lui, à l'évolution graduelle des espèces vivantes dans la nature.

D'autre part la relation entre le titre et le dispositif visuel de l'installation nous renvoie à l'écriture mécanographique et ainsi au signe alphabétique, soulignant encore l'opacité d'un autre code, le code linguistique. L'œuvre, en cela, interroge le langage lui-même, celui-là même qui fonde le grand récit laïque de l'évolution de Charles Darwin. En confrontant dans l'espace d'exposition le titre *L'Origine des espèces* et l'image visuelle et sonore de la machine à écrire, Jocelyn Robert confronte, par métaphore, deux états du langage; d'une part le récit et d'autre part le médium nécessaire pour écrire ce récit. En exacerbant la technicité du caractère alphabétique, il réduit, par condensation sémiotique, le récit à son alphabet, la lettre à un objet technique. L'œuvre opère ainsi une approche déconstructiviste du langage et questionne le fondement de nos croyances enracinées ici dans la transparence du discours scientifique moderne.

Œuvre critique, politique, philosophique, *L'origine des espèces* est exemplaire. Du point de vue de la sonification, sa radicalité est aussi exemplaire, car elle amène une nouvelle dimension à sa définition. En mettant en place un procédé où le lien entre la source et l'objet sonore est bâti en partie sur le hasard de la procédure, elle se positionne comme antithèse de cette recherche et servira très probablement de pôle de comparaison pour les œuvres à venir.

4.3.2 *Genesis* (1999)²⁴ Eduardo Kac, en collaboration avec Peter Gena

La prochaine œuvre installative questionne elle aussi ontologiquement nos origines en jouant avec le code linguistique, numérique et génétique. Il s'agit de *Genesis* de Eduardo Kac qui avait été exposée au Musée des Beaux-arts de Montréal à l'automne 2007, dans le cadre de l'exposition e-art, pour les dix ans de la Fondation Daniel Langlois. Cette œuvre conçue en 1999 a fait l'objet de nombreuses expositions et de nombreux textes critiques qui omettent la plupart du temps sa dimension sonifiante réalisée par le compositeur Peter Gena. On se concentrera donc sur cet aspect de l'œuvre.

L'installation prend place dans une grande salle voûtée d'un bleu profond (Fig. 4.23). Au centre de l'espace, un socle recouvert d'une vitrine lumineuse renferme une boîte de Petri

²⁴ Date de sa première exposition.

contenant un gène dont la mutation advient en temps réel durant la durée de l'exposition. Face à nous, sur le mur du fond, est projetée une gigantesque lune, agrandissement de la boîte de Pétri, dont on reconnaît la translucidité de la gélatine du bouillon de culture grâce à quelques variations bleutées. Sur les murs des textes blanc-bleutés, sur lesquels nous reviendrons ultérieurement, irradient et dans l'air des sonorités spectrales se font entendre. Au seuil de cet espace, à l'attention du visiteur, un écran indique : « *please, click button on the left to mutate bacteria* ». En appuyant sur le bouton la grande lune s'éteint, un bref faisceau de lumière s'allume dans la vitrine centrale et les nappes sonores subissent une légère modification. Le visiteur vient d'opérer une mutation du gène...

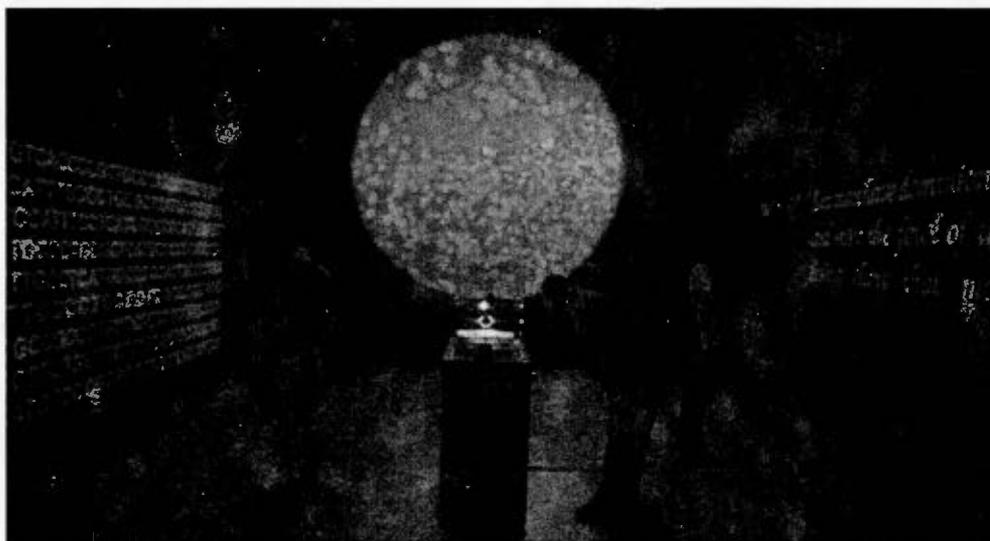


Fig. 4.23 : *Genesis* (1999) Eduardo Kac, Vue de l'installation, Photo de Otto Saxinger consulté sur le site de la Fondation Langlois le 19 avril 2016²⁵.

Le traitement spatial est très solennel, organisé en symétrie autour de l'axe longitudinal de la pièce, il évoque celui d'une église; le cercle projeté sur la paroi du fond renvoie à une rosace, les axes de déplacement et de lecture organisés selon un plan cruciforme, l'espace était recouvert d'une voûte en berceau. Bref le vocabulaire architectural ecclésiastique est tout entier présent, le tout baignant dans une atmosphère obscure. Le son synthétique aux effets

²⁵ <http://www.fondation-langlois.org/e-art/f/eduardo-kac.html>

réverbérants donne une dimension monumentale à l'espace dont le caractère illusionniste tient spécifiquement au traitement sonore. Sur les parois plusieurs textes sont écrits. Sur celui de droite un texte en alphabet latin, sur celui face à la rosace, quelques lignes en code morse, et sur le dernier, l'égrainage d'un fragment d'une séquence de code ADN. (Fig. 4.23)

« Que l'homme domine les poissons, les oiseaux du ciel et tous les animaux qui rampent sur terre ». ²⁶

Ce texte fonde l'origine de l'ensemble de l'œuvre qui se construit sur une série de mutations symboliques dont le code est la clef. Cette phrase programmatique issue du premier chapitre de la Genèse est transformée en code morse, dont la réduction des signes (traits, points, espacements) permet à son tour d'être transformée par Kac par la série des 4 caractères qui décrivent ainsi une séquence artificielle de code ADN. ²⁷ (Fig. 4.24). C'est à partir de ce code génétique artificiel, que Kac nomme "le gène d'artiste", qu'il reconstitue en collaboration avec le biologiste Charles Strom, un gène synthétique implémenté d'abord dans une bactérie *E.Coli* puis dans deux plasmides dont la mutation est rendue "visible" et "audible" en temps réel grâce, d'une part à la projection agrandie au microscope de la boîte de Pétri sur le mur du fond et, d'autre part par la sonification de ces mutations dans l'espace. La manipulation génétique est clairement décrite dans le texte de E. Daubner et je ne reviendrai pas dans ce texte sur son minutieux protocole bio-technique. En revanche je tenterai une description du processus de sonification réalisé par le chercheur et compositeur Peter Gena ²⁸. Pour

²⁶ Traduction choisie pour l'installation à Montréal. Cependant une autre traduction exprime mieux la phrase en anglais choisie par Kac : "Soyez les maîtres des poissons dans la mer, des oiseaux dans le ciel et de tous les animaux qui se meuvent sur la terre » ». (chap..I, 26) (Bible, 1983)

²⁷ Le processus détaillé de cette manipulation génétique est décrite dans de nombreux textes parmi lesquels, Daubner, Ernestine et Poissant, Louise (dir.). (2012). *Bioart. Transformations du vivant*. Presses de l'Université du Québec. Coll. Esthétique Sur les questions véhiculées par cette œuvre sur les plans politique, éthique et religieux, voir À propos de *Genesis* de Eduardo Kac :: Lorella Abenavoli Submitted by admin on 5 March, 2008 – *Revue électronique .Dpi* n°11

²⁸ Peter Gena est un compositeur, professeur et chercheur à The Art Institute of Chicago. Sa recherche quant à la composition musicale concernant la sonification de L'ADN a commencé dès 1995 avant sa collaboration avec Eduardo Kac. Il rédige un premier article en 1995 en collaboration avec Charles Strom chercheur en biomécanique et génétique moléculaire, autour de cette recherche. C'est une mise à jour de cet article datant de 2001 qui a servi à comprendre le processus complexe de sonification de ce que Peter Gena appelle *DNA Music*. L'article scientifique intitulé "A physiological Approach to DNA

comprendre en détail son processus de sonification je vais devoir décrire (en omettant de nombreuses phases) la transformation de la molécule d'ADN en protéine, car c'est cette phase qui deviendra la partition générative de Peter Gena.

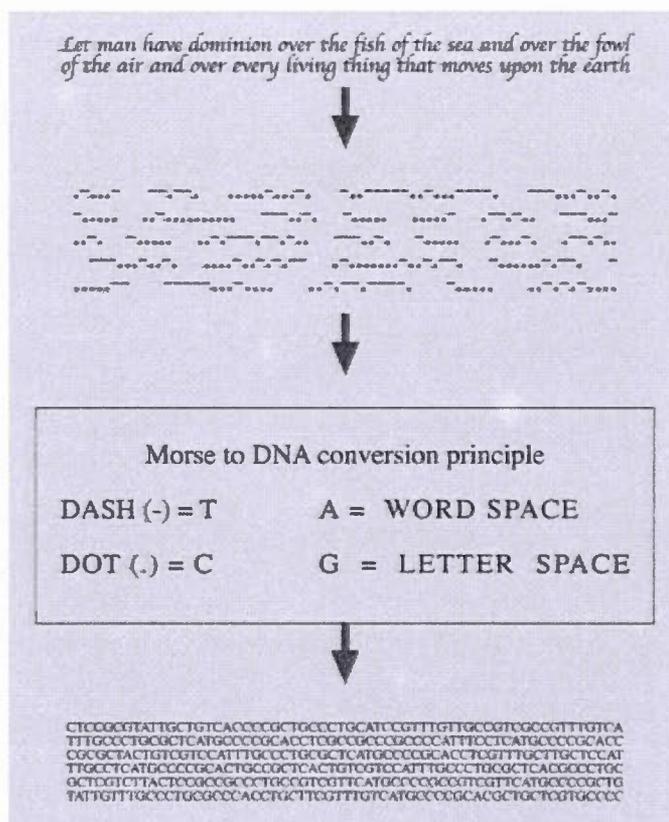


Fig. 4.24 : *Genesis*, 1999, Eduardo Kac. Eduardo Kac utilise la méthode de conversion illustrée ici. Le verset de la bible est converti en code morse; le code morse est converti à son tour en code ADN; et le code ADN est à son tour converti en une série d'opérations codées numériquement pour produire des sons. (voir fig. 4.25)

La synthèse protéique est un processus biochimique, à l'échelle cellulaire, essentiel au développement et à la survie de tous les organismes. La découverte de ce processus

Music" est disponible sur le net <http://www.petergena.com/docs/gena-strom-DNA.pdf> consulté le 9 fev 2016 (*A Physiological Approach to DNA Music*, (with Charles Strom, M.D., Ph.D.). Shaw, Robin and John McKay, eds. The Proceedings of CADE 2, the 4th Computers in Art and Design Education Conference, Glasgow: Glasgow School of Art Press, 2001: 129-134.

physiologique à la fin du XIXe siècle a engendré la génétique comme nouvelle discipline scientifique. La synthèse protéique est fascinante à plusieurs titres : d'abord parce qu'elle confirme que tous les être vivants ont une origine commune, des êtres monocellulaires aux humains, qui partagent les 4 mêmes bases de la molécule d'ADN. Ensuite parce que c'est l'ordonnement de ces seules 4 bases qui va déterminer la forme d'un être vivant et de son individuation. Mais aussi vu sous l'angle de l'art du code, elle semble obéir à une horlogerie de très haute précision, bien que son système soit ouvert et plastique. En effet cette plasticité autorise l'adaptabilité des organismes, évoquée plus haut à propos de la théorie darwinienne, grâce aux mutations génétiques. On peut ainsi comprendre la fascination qu'un tel processus biologique peut opérer sur des artistes et particulièrement sur des musiciens électro-acousticiens, à la fois comme potentiel compositionnel à partir d'un modèle biologique et comme modèle d'une programmation générative sur le modèle du vivant et donc ouverte.

La molécule d'ADN contenue dans les chromosomes, eux-mêmes contenus dans le noyau de chaque cellule d'un organisme vivant, décrit et détermine le patrimoine génétique des individus et de leur espèce et participe activement à la synthèse protéique. Les séquences d'ADN se situent à la croisée de 2 phénomènes : un phénomène de conservation du code génétique rendu possible grâce à sa reproductibilité au sein des nouvelles cellules et des nouveaux organismes, et un phénomène biochimique constant de production des protéines nécessaire à la survie et au renouvellement des cellules et de l'organisme tout entier. On se retrouve ici pour la première fois depuis le début de ce chapitre à pénétrer un phénomène dont les dimensions se situent dans le microscopique autour de 2 nanomètres (2 millionième de millimètre), phénomène qui sera exprimé sous forme sonore grâce à la sonification. En revanche les échelles de temps du processus de transformation de l'ADN en protéine nous sont plus familières et accessibles, allant de la seconde à quelques heures selon divers paramètres.

Pour comprendre le modèle de sonification élaboré par Peter Gena, on doit traverser le processus détaillé de la synthèse protéique, qui est présenté sur le schéma ci-dessous (fig. 4.25). La représentation de la molécule d'ADN se déployant au sein de la double hélice est désormais familière (Fig. 4.25). Les deux brins de cette double hélice sont maintenus par la

structure de l'acide desoxyribonucléique (ADN). Cette construction est souvent représentée

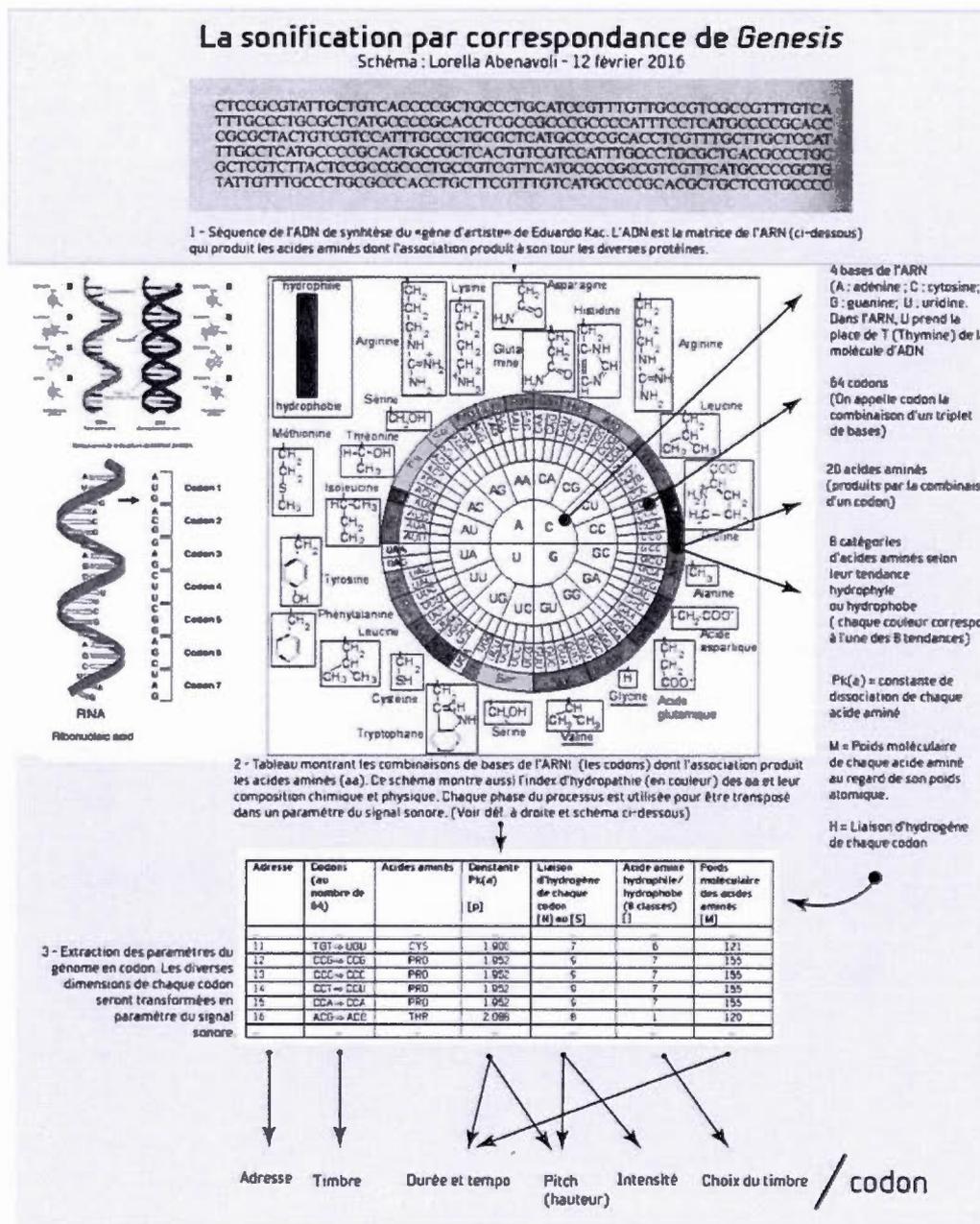


Fig. 4.25 : *Genesis* (Kac, 1999) Construction de la sonification par mise en correspondance conçue par Peter Gena. Schéma : Lorella Abenavoli

comme les barreaux d'une échelle reliant et maintenant ensemble ces deux brins. Chaque moitié de barreau est nommé par une lettre, initiale d'une base : A comme Adénine, C comme Cytosine, G comme Guanine, et T comme Thymine. C'est la façon dont ces bases sont ordonnées le long de la chaîne d'ADN qui va fournir le code spécifique aux caractéristiques génétiques de chaque individu et qui va servir simultanément à la fabrication d'une ou de plusieurs protéines. Pour faire la synthèse protéique la molécule d'ADN va donner corps à une molécule d'ARN grâce à la reproduction d'un fragment de sa séquence. L'ARN, qui ne comporte qu'un seul brin hélicoïdal relativement court, compte lui aussi une série de quatre bases A, C, G et U (l'Uracile remplaçant la Thymine) dont l'ordonnement est pré-déterminé par celui de l'ADN qui en est sa matrice. C'est l'ordonnement des bases de l'ARN qui va déterminer le type d'acides aminés produits dont les différents assemblages produisent à leur tour différentes protéines. Cette dernière phase s'exécute en dehors du noyau de la cellule, dans son cytoplasme grâce à ce qu'on appelle un ribosome, qui traduit les bases de l'ARN en série d'acides aminés.

Il y a 64 assemblages possibles de bases d'ARN qui produisent 20 types d'acides aminés se répartissant eux-mêmes en 8 familles plus ou moins hydrosympathiques selon leur niveau d'acidité. Chaque acide aminé a une charge et un poids moléculaire. La protéine résultant de l'association des acides aminés se définit elle-même par la structure primaire (ordonnement et quantité des acides aminés) et secondaire (les propriétés chimiques des acides aminés, leur nature hydrophobes ou hydrophiles, leur taux d'acidité ($P_k(a)$), et leur poids moléculaire). Les biologistes utilisent un tableau circulaire (Fig. 4.25) qui permet de voir immédiatement quelle séquence de bases de l'ARN produit quels acides aminés et par voie de conséquence quelle protéine.

C'est ce processus biochimique de transformation que Peter Gena décide de sonifier en élaborant diverses correspondances entre composants et activité moléculaires, en les transposant aux paramètres du signal sonore. Le principe du processus de sonification par mise en correspondance est représenté sur la figure 4.35 qui en illustre et en explique les étapes de transformation depuis le codon²⁹ d'ADN synthétique de Kac jusqu'à l'écriture de

²⁹ Un codon est une séquence de trois nucléotides sur un acide ribonucléique messenger (ARNm) spécifiant l'un des 22 acides aminés protéinogènes dont la succession sur l'ARN messenger détermine la

l'objet sonore. Peter Gena nomme *DNA Mixer* son logiciel de sonification des séquences d'ADN. Élaboré comme une composition générative, il prend pour modèle l'ordre processuel et physico-chimique de la synthèse protéique : tout d'abord le codon sonifié sur le modèle du codon de l'ADN constitue l'élément de base, "le mot", de la composition sonore. Peter Gena le décrit ainsi : « At that time I choose eight different electronic sounds for each piece - one timbre for each of the eight amino acid groups. So, once the algorithm generates the pitch, duration, and loudness for a codon, it then chooses the timbre for the amino acid class it is in.» (Gena, 2016)³⁰

Une fois mis en place le principe de sonification du codon (Fig. 4.25), Peter Gena réalise un algorithme qui va : 1) scanner la molécule d'ADN de synthèse dont le code est entré comme base de données primaire dans MAX-msp; 2) aller de codon en codon pour en extraire les triplets actifs, sur le modèle physiologique de la production de l'ARN, et les transposer en objet sonore. Ils seront ensuite joués chronologiquement en temps réel en une séquence sonore linéaire; 3) établir une composition sonore générative de plusieurs séquences d'ADN jouées simultanément tout comme, dit-il, cela se passe dans un organisme. (Gena et Strom, 2001)³¹.

Le procédé mis en place par Peter Gena est une sonification par mise en correspondance, assez typique d'une approche musicale, comme on a pu la voir chez Tanaka. En effet, la complexité compositionnelle recherchée par les musiciens depuis le début du XXe siècle trouve avec la sonification de phénomènes « naturels » complexes, des modèles processuels qui proposent un substrat pour le travail de composition. Le compositeur élabore ainsi des correspondances de données mathématiques ou géométriques avec des codes musicaux. Pourtant cette relation qui pourrait sembler arbitraire et ressembler à un « simple » jeu de

structure primaire de la protéine à synthétiser. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Codon> , consulté le 13 avril 2016.

³⁰ Précisions issues d'une correspondance entre Peter Gena et Lorella Abenavoli à propos de *Genesis*. Cet extrait est issu d'un courriel datant du 22 février 2016.

³¹ L'article scientifique intitulé "A physiological Approach to DNA Music" est disponible sur le net <http://www.petergena.com/docs/gena-strom-DNA.pdf> consulté le 9 fev 2016 (*A Physiological Approach to DNA Music*, (with Charles Strom, M.D., Ph.D.). Shaw, Robin and John McKay, eds. The Proceedings of CADE 2, the 4th Computers in Art and Design Education Conference, Glasgow: Glasgow School of Art Press, 2001: 129-134. La plupart des données techniques concernant la sonification de Genesis sont issues de cet article.

correspondances, obéit cependant pour son concepteur à un désir de saisir et de rendre perceptible une dimension de la « réalité ». On peut entendre cette aspiration lorsque Peter Gena écrit :

The present DNA mixer can execute up to six individual sequences at different starting point. This process is analogous to the scanning mRNA by the ribosomes as it adds amino acids sequentially to make proteins (...) at different locations, speeds, and spacings. This creation of polyphony is analogous to the way multiple ribosomes run along a single strand of mRNA. (Gena et Strom, 2001)

Peter Gena parle ici d'analogie entre la sonification et le processus temporel de la synthèse protéique, qui advient lors de deux événements concomitants : le moment de la synthèse de l'acide par le ribosome et la simultanéité de cet événement à de multiples endroits de l'organisme de la cellule. Ce travail de sonification de la synthèse protéique est une recherche que Peter Gena a menée entre 1995 et 2001 et qui a donné lieu à la réalisation de nombreuses œuvres musicales et performatives de plus en plus élaborées. *Genesis* est la première composition de cette série.³²

Au sein de l'installation *Genesis*, la présence sonore de cette composition générative est assez transparente et travaille esthétiquement de façon inconsciente : elle donne une spatialité monumentale à l'œuvre et lie ensemble tous les éléments visuels de l'installation. Mais contrairement aux œuvres précédentes on ne peut pas dire qu'elle ait un rôle prépondérant dans l'installation car les éléments visuels et conceptuels sont très présents et occultent la conscience auditive du visiteur. De ce fait, la sonification dialogue assez peu avec le reste de l'installation et constitue en ce sens, dans ce corpus, un exemple d'une faible participation esthétique.

³² Voici quelques titres des compositions musicales ultérieures réalisées avec le *DNA Mixer* dont on peut retrouver la description sommaire et les enregistrements sur le site de Peter Gena : *DNA Music* (1999-2005), interactive installations, *La Peste per oboe d'amore* (2000) with computer-generated *Yersinia Pestis* sequences, *Botox à 5* (2004), *Botulinin toxin bacteria for disklavier solo*, *DNA-PNO* (2005-10), an installation for computer algorithms and *Disklavier*, or MIDI keyboard, *Prometheus Redux* (2010), a light and sound installation by Steve Waldeck and Peter Gena, <http://www.petergena.com/DNAmus.html>, consulté le 13 avril 2016.

Cependant si cette sonification par mise en correspondance n'a pas un rôle majeur dans l'installation, elle est, en soi, exemplaire d'une approche complexe propre aux sonifications des musiciens pour qui la mise en correspondance de données issues de la géométrie du monde offre une complexification du travail de composition que l'on retrouve chez des précurseurs comme Cage, Xenakis, Risset et beaucoup d'autres. Enfin du point de vue de l'histoire de la sonification, on peut dire qu'il s'agit d'un travail novateur s'inscrivant dans le bio-art. La musique qui révèle une dimension microscopique rendue accessible à nos sens en transitant par un double niveau de codification : celle du phénomène physiologique qui est symbolisé par des lettres puis celui de la sonification qui est issue d'un processus de programmation sur le modèle de ce premier code biologique. Ce que la sonification introduit ici au regard d'une vision microscopique de ce phénomène, c'est l'exacerbation de la dimension temporelle du phénomène.

4.3.3 *Sketches of moving equations*³³ (2012) Florian Grond

La sixième œuvre a été choisie au regard de l'abstraction apparente de sa source. Elle est consacrée à la sonification d'un langage, *a priori* hermétique et idéal, celui d'une équation mathématique. Elle constitue dans ce chapitre ce qui semblait être le plus haut niveau d'abstraction d'une source, questionnant ainsi la relation possible entre le monde idéal des mathématiques et sa représentation sensible par le sonore.

Florian Grond propose comme traduction française du titre de sa pièce *Esquisses des équations émouvantes*³⁴ (☞ Fig. 4.26)³⁵. Cette œuvre a fait l'objet d'une commande pour une exposition en hommage à Benoît Mandelbrot intitulée *The Islands of Benoît Mandelbrot*

³³ Titre original en allemand : *Skizzen bewegender Gleichungen*. La traduction anglaise et française ont été faites par Florian Grond. Précisions issues d'un entretien téléphonique entre Florian Grond et Lorella Abenavoli le 21 janvier 2016 à propos de *Sketches of Moving Equations*.

³⁴ *Idem*

³⁵ ☞ Fig. 4.26 : *Skizzen bewegender Gleichungen* (2012) Florian Grond. Enregistrement sonore : L. Alexis Emelianoff consultée sur le 20 août 2016 sur le site de l'artiste <https://vimeo.com/50775379>

*Fractals, Chaos, and the Materiality of Thinking*³⁶. Son titre joue avec l'appellation des *équations de mouvement* des systèmes non-linéaires, déplaçant immédiatement le concept mathématique dans la sphère du sensible. Il est aussi possible d'accéder pleinement à cette œuvre sur le net³⁷. Face à l'écran, on devine une série de trois équations manuscrites sur fond gris dont les caractères du texte subissent des variations de valeurs allant parfois jusqu'à la disparition des signes (Fig. 4.27). En écho à ces variations visuelles, un son continu, dont le timbre et l'amplitude semblent dessiner un parcours dans l'espace, évoque le cheminement d'une bille en mouvement, frottant une surface légèrement granuleuse, un ruban de courbes infinies. Pour le profane non mathématicien ces équations

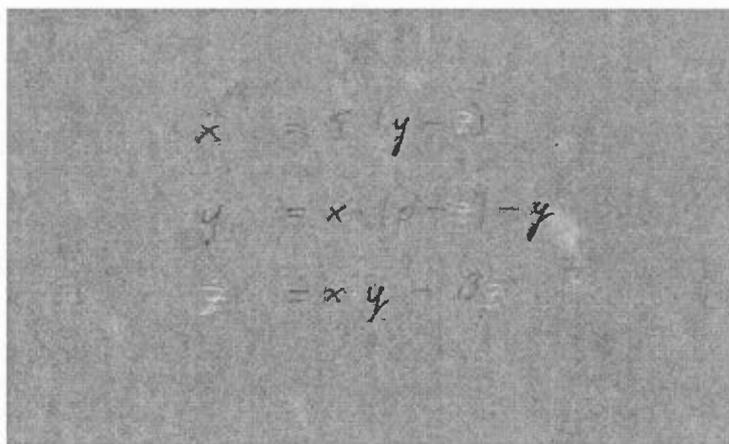


Fig. 4.27 : *Sketches of moving equations* (2012) Florian Grond

n'évoquent guère de représentations mais les éléments visuels et sonores leur donnent une consistance, évoquant un mystère qui, bien qu'hermétique, en rend compte paradoxalement de façon sensible et effectivement émouvante.

³⁶ The Islands of Benoît Mandelbrot: Fractals, Chaos, and the Materiality of Thinking September 21, 2012 - January 27, 2013 Curated by Visiting Assistant Professor Nina Samuel and students Bard Graduate Center Gallery – New York City.

³⁷ <https://vimeo.com/50775379>

Cette œuvre sonifie l'équation de Lorenz³⁸, icône conceptuelle de la théorie du chaos. Cependant Florian Grond se garde de nommer Lorenz et l'effet papillon afin de laisser l'observateur redécouvrir cette fonction sans le voile opacifiant de la célébrité. Chacune des trois équations représente une dimension, au sens euclidien du terme : x , y et z . En revanche ces équations représentent ensemble un phénomène dynamique complexe qui incorpore le temps (t). L'une des caractéristiques de ces fonctions, dont l'existence apparaît dans les années 1960-70, c'est la non-prédictibilité d'un système pourtant déterministe, qui élargit la description scientifique du monde connu jusque-là. Cet ensemble d'équations représente le mouvement de la trajectoire d'un point qui se déplace dans l'espace tridimensionnel. Ce déplacement se fait selon une sorte de boucle dont le parcours n'est pas périodique. L'objet que décrivent ces équations constitue la trace de ce mouvement. Afin de rendre cette équation sensible, Florian Grond utilise deux types de sonification. Le timbre de l'objet sonore est issu de l'enregistrement amplifié du tracé d'une ligne sur une feuille de papier et matérialise auditivement cette trajectoire. Sa texture provient donc d'une pratique d'audification. Simultanément la spatialisation de ce point et de son tracé sonore est construite selon les trois paramètres de l'espace tridimensionnel : verticalité, horizontalité, profondeur. Ainsi en fonction de la place de l'auditeur ce point circule entre le haut et le bas, la droite et la gauche, le proche et le lointain. En cela il fait aussi appel à une sonification par mise en correspondance c'est-à-dire qu'il fait correspondre à une dimension de l'espace deux paramètres sonores : une texture et une spatialisation (qui s'exprime grâce à des variations d'amplitude et de déplacement du signal). Le dispositif auditif proposé par Florian Grond est stéréophonique; la spatialisation exploite un système audio constitué soit de deux enceintes, soit d'un casque audio. Sur le plan de la sonification, il est probable qu'une spatialisation à plusieurs canaux immerçant le corps de l'auditeur au centre de l'espace présumé de l'attracteur de Lorenz, prendrait une consistance encore plus forte. Mais l'œuvre n'a pas pour projet une didactique de la théorie du chaos mais bien l'évocation sensible, audible d'un objet mathématique qui se déploie dans le temps. Ce qui fait la force de cette œuvre c'est justement sa fragilité et son indécidabilité à représenter quelque chose. Les visualisations graphiques, devenues très populaires, de l'attracteur de Lorenz ou encore des fractales de Mandelbrot sont

³⁸ À l'occasion de cette exposition, Florian Grond a sonifié cinq équations qui ont, selon son auteur, des liens de « parenté » avec les équations de Mandelbrot. C'est l'équation de Lorenz qui a été choisie pour rendre compte de ce travail de sonification.

spectaculaires et assez fascinantes mais ne laissent que peu de place à l'imaginaire. Or *Esquisse des équations émouvantes* semble, grâce à la sobriété de son dispositif et à l'instabilité du texte et des sons, faire émerger du néant des calculs qui sont extraits du monde physique puisqu'ils le décrivent, mais dont l'équation n'est qu'une représentation improbable en sa perfection. C'est ce que cette œuvre évoque à son observateur : une forme qui émerge et disparaît à nouveau dans le néant de la profondeur de l'écran, à l'image de la réalité qu'elle décrit.

4.4 Conclusion

La traversée des quelques œuvres présentées dans ce chapitre met en évidence que la sonification ne peut être traitée comme une pratique homogène tant du point de vue technique que conceptuel. Cette déambulation révèle aussi la complexité de la relation qu'entretient la sonification comme système de représentation avec les significations qu'elle engendre au sein de l'œuvre. Le tableau ci-dessous récapitule quelques caractéristiques des œuvres étudiées ainsi que leur domaine d'appartenance : audification ou sonification par mise en correspondance.

4.1 - Tableau de synthèse et proposition de typologies de sonification explorées dans le corpus d'œuvres du quatrième chapitre							
Artistes	Œuvres (par ordre d'apparition dans ce chapitre)	Sources : ce que les artistes désirent révéler, construire, donner à entendre	Données : sources décrites en terme technoscientifiques	Catégories génériques des sources	Nature des captations (s'il y a lieu)	Capteurs (s'il y a lieu)	Sonification
Brand, Jens	<i>GP4, The Earth is a Disc</i> (2004)	L'érosion du relief terrestre	Données topographiques terrestres	Relief topographiques	Par scanne linéaire	Dispositif de géolocalisation satellitaire	Audification topographique
Sherman, Mary et Grand Florian	<i>Delay</i> (2012)	Le regard balayant le relief d'une peinture	Données topographiques d'une peinture.	Relief topographiques	Par scanne linéaire	Scanner tomographique	Audification topographique
Tanaka, Atau	<i>Bondage</i> (2004)	L'interprétation subjective musicale d'une photographie	Données topographiques d'une photographie	Photographie	Par extraction de données graphiques	Pas de capteur	Sonification par mise en correspondance

		phie Erotische					
Robert, Jocelyn	<i>L'origine des espèces (2006)</i>	Le code	Données numériques du code source	Code numérique	Récupératio n du fichier source	Récupéra tion du code source	Sonification par mise en correspon danc e
Kac, Eduardo et Gena, Peter (collab.)	<i>Genesis (1999)</i>	Le génome humain	Processus biologique de la synthèse protéique	Morphogén èse de l'ADN	Par construc tion et non par captation	Microscope électroniqu e	Sonification par mise en correspon danc e
Grond, Florian	<i>Sketches of moving équations (2012)</i>	La géométrie temporelle d'une fonction mathématiq ue de Lorenz	La part d'audifica tion dans cette œuvre concerne le timbre : enregistrement du tracé d'un crayon sur une feuille.	Ondes mécaniques et fonction mathématis que	Construc tion géométr ique des dimension spatio- temporelles que décrit la fonction de Lorenz	microphone	Audification sonore et sonification par mise en correspon danc e

On pourrait, à l'aune de ces premières analyses, revisiter la définition de la sonification.

Rappelons son énoncé :

La sonification est l'utilisation de signaux sonores non-verbaux permettant de véhiculer de l'information. Plus précisément, la sonification est la transformation de relations de données afin que celles-ci deviennent perceptibles sous forme sonore dans le but d'en faciliter la communication ou l'interprétation.³⁹

On a vu que l'usage de la sonification dans l'œuvre d'art ne facilite pas tant la communication de données mais leur donne plutôt une consistance sensible. Celles-ci ont une relation avec leur source qui est parfois indicielle et analogique, parfois totalement reconstruite de sorte que la source est complètement obliérée par l'œuvre. On ne peut donc affirmer, en art, que la sonification facilite l'interprétation des données. On pourrait même dire que toutes les œuvres présentées, sans exception, exposent la complexité, non pas tant des données, mais de la

³⁹ Traduction Lorella Abenavoli « Sonification is the use of nonspeech audio to convey information. More specifically, sonification is the transformation of data relations into perceived relations in an acoustic signal for the purposes of facilitating communication or interpretation. » - <http://www.icad.org/node/400>

construction de celle-ci. Et même si les images auditives produites par l'audification topographique engendrent des figures acoustiques accessibles grâce à leur relation indicielle avec leur source, leur organisation au sein de l'œuvre engendre polysémie, métaphore, entrelacement des sens auxquels il est difficile d'accéder sans un travail de décryptage qui ne peut d'ailleurs jamais être achevé. On pourrait dès lors tenter une définition de la sonification plus appropriée au domaine artistique :

En art, la sonification est l'utilisation de signaux sonores qui véhiculent de l'information. Cette information est extraite et construite à partir de sources physiques ou abstraites produisant des figures auxquelles on accède auditivement. Ces figures sonores sont réalisées grâce à l'élaboration de systèmes de correspondance entre des données et des sons, engendrés par l'agencement de dispositifs techniques. Le traitement plastique de ces figures sonores produit des images auditives polysémiques qui fondent l'œuvre.

La sonification dialogue aussi avec les autres dimensions plastiques de l'œuvre: les éléments visuel et spatial, le titre, le paradigme artistique... ce qui augmente d'autant plus sa complexité. Si on désire accéder à cette complexité il apparaît nécessaire de comprendre comment fonctionne la sonification, de l'isoler sur le plan du discours, afin d'être capable d'analyser la relation qu'elle entretient justement avec ces autres composantes de l'œuvre. C'est ce qui a été tenté ici et ce qui est poursuivi dans le prochain chapitre.

CHAPITRE V

LE SON PLASTIQUE, SONIFIER LE FLUX ET L'INOÛI

5.1 Choix d'un second corpus

Ce chapitre privilégie des œuvres dans lesquelles le son est prépondérant, c'est-à-dire, où les composantes visuelles et textuelles sont bien moins présentes que dans les réalisations du précédent chapitre. C'est un retour sur mes préoccupations artistiques originelles à travers des œuvres qui ont en partage un rapport spécifique à leur source physique et à leur source d'inspiration. Ce sont des œuvres qui aspirent à révéler des temporalités de phénomènes physiques avec lesquels le son entretient une relation temporelle parfois homothétique dans le cas de l'audification, parfois indirecte dans le cas de la sonification par mise en correspondance, aspirant toutes au traitement des données en *temps réel* en vue de saisir des phénomènes mais aussi de construire une œuvre où leurs formes temporelles y soient révélées.

5.1.1 Temps réel

Le traitement temps réel est une caractéristique de l'art numérique dont la puissance de calcul permet d'opérer des transductions qui semblent immédiates à nos sens ; dans les pratiques audio, il est une pratique récurrente et particulièrement dans celles qui ont trait à la sonification. Les œuvres dont on va parler plus amplement dans ce chapitre adoptent toutes le traitement des données en temps réel. Le traitement temps réel correspond à une approche et un engagement esthétique : celui de la découverte, de la révélation et de l'accueil de la forme, sans volonté d'opérer un contrôle sur celle-ci. Sur le plan de la pratique le processus est paradoxal : la plupart des dispositifs incorporant le traitement temps-réel qui ont été mis en œuvre par des artistes, sont souvent des productions complexes, fruits de collaborations où les compétences et les matériaux exigent un niveau de connaissance et une maîtrise technologique de haut vol. L'objectif : laisser surgir des formes sur lesquelles l'artiste n'a pas de contrôle. Ou plus exactement sur lesquelles l'artiste souhaite ne pas avoir de contrôle.

C'est l'un des constats que fait Peter Sinclair à la suite d'entrevues menées auprès d'artistes qui utilisent la sonification "the use of data is considered as a counterpoint to personal choice and, as such, refers to artistic positions which reflect on determinism and freewill" (Sinclair, 2012, p.175). Ce parti pris s'explique aussi probablement par la nature intrinsèquement changeante et fugace des phénomènes qu'elle aspire à rendre sensibles.

5.1.2 L'espace auditif

Tout comme le chapitre précédent, celui-ci sera bâti à partir des sources et des données, pôle identifié grâce au *Schéma du dispositif de sonification*. Les œuvres choisies ici ont des sources qui ont comme caractéristiques communes d'être des phénomènes physiques temporels inaudibles que l'on peut aussi qualifier de flux. Outre cette spécificité, ces œuvres auront le son pour médium prépondérant, contrairement au chapitre précédent où les dispositifs visuels dialoguaient à part égale avec le son. On prendra aussi en compte la variété des dispositifs de diffusion qui donnent forme à *l'espace auditif* de l'œuvre, troisième pôle du *Schéma du dispositif de sonification*.

La recherche en sonification a intitulé le champ dédié à la phase de l'écoute, "the auditory scene" (Neuhoff, 2011 p.75). Celle-ci privilégie la perception en étudiant les multiples dimensions qui constituent l'audition et en cela elle appartient au champ de la psycho-acoustique, l'objectif étant d'identifier les nombreuses dimensions de l'audible et leurs interactions afin de produire des dispositifs auditifs « efficaces ». Cette efficacité est envisagée sous l'angle de la représentation des événements à mettre en exergue lors de l'étude d'un objet sonifié. Ainsi la *scène auditive* prend en compte les multiples dimensions technologiques du sonore qui coïncident avec nos dimensions perceptives auditives, telles que la spatialisation, le filtrage, le rythme, la durée, l'interaction audio-visuelle, la formation des hauteurs, les intensités et timbres... (Neuhoff, 2011 p.75). Le terme même d'« auditory scène » dont la traduction littérale est « la scène auditive » apparaît trop restrictif pour évoquer l'espace sensoriel, poétique et spirituel d'une œuvre. Tout comme le terme « d'affichage auditif » (auditory display) discuté précédemment, il sous-tend une frontalité, une théâtralité qui est loin des questionnements des artistes en art audio pour lesquels le temps

réel, l'interactivité, l'*in situ* ou encore l'immersion¹ aspirent à inclure le corps de l'auditeur, à le toucher, en somme à le positionner non pas "en face" mais à l'intérieur du processus formel et parfois même structurel (dans le cas de l'interactivité). Au lieu de traduire et de conserver la notion de *scène auditive*, nous utiliserons en art la notion d'*espace auditif* pour cette troisième phase du *Schéma du dispositif de la sonification*.² En réalité l'espace auditif est le médium. S'il constitue le troisième « cercle » du *Schéma du dispositif de sonification* (voir fig.XX), il est dans les faits le cœur de l'installation sonore, il en est sa matière première, autour de laquelle les différents éléments plastiques de l'œuvre s'élaborent. Cet aspect a été souligné lors du récit de pratique du *Souffle de la Terre* (chap.2).

Parmi les phénomènes temporels à l'origine des œuvres abordées il y a tout d'abord les ondes électromagnétiques que l'on trouvera dans *L'Optophone* (1922), œuvre pionnière de Raoul Hausman, *VLF, Natural Radio* (2000-2004) et *Save the Waves* (2004) de Jean-Pierre Aubé et les *Electrical Walks* (2004) de Christina Kubisch. Il y a ensuite les phénomènes chaotiques météorologiques qu'on retrouve comme source de *La Harpe à nuages* (1997-2000) de Nicolas Reeves et dans *Wind Array Cascade Machine* (2003), *Turbulence Sound Matrix* (2008) et *SIGNE* (2008) de Steve Heimbecker. Il y a enfin les ondes mécaniques auxquelles appartiennent *Le Souffle de la Terre* (2000-2007)³ et *Verticale* (2006-2015) réalisées durant ce doctorat. L'ensemble de ces œuvres s'inscrit dans une approche où la révélation des flux, phénomènes physiques temporels, qu'ils soient d'origine naturelle ou technologique, sont au cœur de pratiques de la sonification en art.

5.1.3 Les Électrosoniques⁴

La première famille d'œuvres commentées, *L'Optophone* (1922) de Raoul Hausman, *VLF, Natural Radio* (2000-2004) et *Save the Waves* (2004) de Jean-Pierre Aubé et les *Electrical Walks* (2004) de Christina Kubisch, résulte de la transformation d'ondes électromagnétiques en ondes sonores, passant d'un régime énergétique électromagnétique à un régime

¹ Dimensions qui ne sont pas forcément concomitantes.

² Espace auditif embrasse aussi bien des installations immersives que des systèmes d'écoute au casque.

³ À l'origine de cette thèse et qui a fait l'objet du chapitre II.

⁴ Néologisme créé par Douglas Kahn (2013).

énergétique mécanique grâce à un principe de transduction et/ou d'induction électrique qui opère cette transmutation. Dans son livre magistral *Earth Sound Earth Signal : Energies and Earth Magnitude in the Arts* (2013) Douglas Kahn invente un mot qu'on adoptera ici pour cette classe d'œuvres qui a désormais son histoire : les *Aelectrosonics*, que l'on traduira par *Éolectrosoniques*⁵. Ce sont des œuvres qui, selon Kahn, ont leur origine dans la tradition des instruments éoliens, qui cependant ne sonifient⁶ plus seulement les vents aériens de la troposphère mais les courants électromagnétiques qui évoluent entre la couche terrestre, la ionosphère et la magnétosphère. Si les ondes radios naturelles de très basses fréquences (VLF)⁷ ont été révélées accidentellement par l'induction due aux premiers réseaux de câbles télégraphiques et téléphoniques⁸ et par le téléphone lui-même qui fit office d'amplificateur, l'électromagnétisme dont la théorisation revient à Maxwell en 1864 s'avère être un phénomène omniprésent dans la mesure où tout corps dont la température est supérieure au zéro absolu (0° Kelvin) émet un rayonnement électromagnétique. L'électromagnétisme devient, selon Kahn, à partir des années 1960, la source du travail de nombreux artistes. Il faut ici bien distinguer la différence entre le fait d'utiliser l'électricité et l'électromagnétisme pour faire fonctionner des instruments comme le thérémine, les ondes Martenot et toutes une quantité d'instruments de musique qui ont vu le jour au début du XXe siècle⁹ et l'électromagnétisme comme matériau d'un art sonore. Dans cette nouvelle catégorie artistique des éolectrosoniques Kahn introduit ainsi rapidement, grâce à l'œuvre incontournable d'Alvin

⁵ On gardera par la suite la forme francisée de ce terme sous sa forme substantivée et adjectivée : éolectrosonique.

⁶ Douglas Kahn n'emploie jamais le terme de sonification. Bien que je résume ici un élément de son texte, je m'autorise à parler de sonification car c'est bien de cela dont il s'agit. En articulant la catégorie des éolectrosoniques avec la pratique de la sonification, on peut faire dialoguer discours théoriques et discours techniques, proposant ainsi des outils conceptuels à toute une famille d'œuvres audio qui émergent à partir des années 1920. J'y reviendrai dans la conclusion de ma thèse.

⁷ Dans certains textes francophones on utilise l'abréviation TBF pour Très Basse Fréquence mais on trouvera plus souvent l'abréviation anglophone VLF pour Very Low Frequencies. J'adopterai VLF dans ce texte car cela fait aussi écho à l'œuvre de Jean-Pierre Aubé.

⁸ Cette histoire de la découverte des ondes radios naturelles par ce dispositif fait l'objet d'un long et passionnant développement dans le livre de Douglas Kahn. On reprendra quelques éléments de son livre lorsqu'on abordera l'œuvre de Jean-Pierre Aubé.

⁹ Le site *120 Years of Electronic Music, the history of electronic music from 1800 to 2015*, est une source époustouflante des inventions instrumentales qui ont vu le jour durant ces deux derniers siècles et particulièrement pour le 19^e et le début du 20^e siècles. <http://120years.net/>, consulté le 11 mai 2016.

Lucier *Music for Solo Performer*¹⁰ (1965), toutes les ondes électromagnétiques "naturelles" qui sont à l'origine d'œuvres audio. *Music for Solo Performer* (1965) transforme en effet les ondes électro-encéphaliques, ondes électromagnétiques produites par le cerveau, en énergie qui anime en temps réel des percussions. Ceci advient grâce à une série de transductions dont la source sont les ondes alpha de l'artiste qui transitent par des amplificateurs électriques, eux-mêmes transmettant cette énergie proportionnellement amplifiée à des percussions qui s'animent¹¹. Ces ondes alpha sont celles d'Alvin Lucier qu'il active en se mettant dans un certain état de conscience qui est révélé, lors de la performance, par un geste qu'il effectue avec sa main en fermant ses paupières. Ce geste évoque alors l'intériorité du performeur dont l'énergie concentrée dans son corps va être rendue audible par l'animation des instruments de musique. Kahn ouvre finalement cette famille d'œuvres à toutes celles qui travaillent ce que Pauline Oliveros appelle la sonosphère qui "embraces a full sweep and barrage of energies, including the magnetic, electrical, electromagnetic, geomagnetic, and quantum, as well as the acoustical". (Kahn, 2013, p.174). Pauline Oliveros ne s'embarrasse pas des distinctions scientifiques entre ondes électromagnétiques et ondes mécaniques. Cette approche coïncide d'ailleurs avec le projet de Douglas Kahn de faire émerger et de nommer une nouvelle méta-catégorie artistique englobant les électrosoniques : les *Energetics Arts*, que l'on pourrait traduire littéralement par les *arts énergétiques*. Rappelons-nous le Chapitre 2 consacré à la genèse du *Souffle de la Terre* où j'introduisais l'énergie comme notion fondatrice de mon travail, sans pouvoir réellement nommer ce que ce terme recouvrait, sauf à l'aide de mes réalisations artistiques. À ce stade de la recherche, la naissance et la définition de cette catégorie par Douglas Kahn en 2013 prend tout son sens. Un champ de recherche artistique foisonnant s'ouvre si on l'envisage sous l'angle de la définition de Pauline Oliveros, auquel j'adhère pleinement tant intellectuellement qu'artistiquement. Par exemple, sur le plan des définitions scientifiques, les ondes sismiques ou le flux de la sève, qui constituent les sources

¹⁰ *Music for a solo performer* a été conçue à l'hiver 64-65 et a été performée pour la première fois le 5 mai 1965 au Rose Art Museum, Brandeis University. C'est une œuvre qui exploite plusieurs étapes d'audification. Des capteurs électro encéphalographique posés sur le crâne d'Alvin Lucier transmettent grâce à un dispositif de transduction électrique les impulsions électriques de son cerveau à des percussions qui réagissent aux fréquences reçues. Cette performance a été éditée sur vinyl, MUSIC FOR SOLO PERFORMER: Lovely Music, Ltd. VR 1014, 1982. *Music for Solo Performer, for enormously amplified brain waves and percussion.*(1965)

¹¹ Il est possible d'avoir accès à la performance filmée ici : <https://www.youtube.com/watch?v=bIPU2ynqy2Y> , consultée le 20 mai 2016.

du *Souffle de la Terre* (Abenavoli, 2001-2007) et de *Verticale* (Abenavoli, 2014), n'appartiennent pas à l'électromagnétisme, mais elles révèlent l'énergie qui meut le monde et en ce sens, ce que Douglas Kahn nomme les *électrosoniques* au sein des *arts énergétiques* constitue pour cette thèse la famille d'œuvres dans laquelle s'inscrivent toute ma pratique et celles des plasticiens qui transduisent des sources de nature énergétique en son. Si l'électromagnétisme n'est pas à l'origine de toutes les œuvres qui appartiennent à cette famille, l'électricité a quant à elle un rôle technique fondamental puisque c'est grâce à sa maîtrise, à travers la transduction qu'opèrent les dispositifs de captations, que ces divers flux peuvent être rendus audibles et sensibles, en en modifiant les échelles ondulatoires. Si la définition et l'identification des *électrosoniques* de Kahn me semblent fondamentales, elles sont le résultat d'une pratique qu'il ne mentionne jamais dans son livre : la sonification. Ce chapitre est ainsi consacré à quelques œuvres dont la méthode, la technique et la réalisation explorent des processus de sonification pour en saisir les flux éphémères ondulatoires ou chaotiques. Revenons ainsi à ces procédures techniques qui fondent cette thèse et plus particulièrement à celles qui ont été utilisées par des artistes dans le domaines des arts visuels et médiatiques.

5.2 L'*Optophone* (1922-1934) de Raoul Hausmann

Synesthésie technologique et phénomène ondulatoire

Bien que la définition officielle de la sonification exclut la langue parlée¹², on s'autorise tout de même à affirmer ici, que parmi les plus anciens systèmes de sonification on trouve le langage. La voix et le souffle constituent les premiers instruments sonores de communication et de diffusion de l'information; la parole et l'écriture constituent le code de la langue; l'oralité décrit et construit le monde en le sonifiant. On y pressent les premiers modèles de sonification conceptuelle où le son se fait l'écho et construit une représentation tout à la fois fluide et discrète¹³ du monde. Fluidité qui s'exprime par la nature temporelle et continue du son phonétique et qui s'exprime aussi dans le temps et l'espace de l'écriture puis de son énonciation; discrétion, c'est-à-dire rupture, qui s'exprime à travers les signes de l'alphabet, à

¹² Voir Chapitre 1 p. 17-18

¹³ Discret est ici utilisée dans le sens de : Composé d'éléments discontinus, séparés, distincts. *Une quantité discrète*, p. oppos. à une quantité continue : <http://www.cnrtl.fr/etymologie/discret>

travers les mots ou les idéogrammes qui a leur tour forment des phrases et des discours. La relation entre la langue écrite et la langue orale, entre le signe écrit et le son, propose une dynamique exemplaire d'une sonification devenue transparente tant nous l'avons intégrée, tant elle nous constitue¹⁴. Cette transparence est celle contre laquelle les poètes des avant-gardes au début du XXe siècle luttent désespérément tout en aspirant à travers le son de la voix à inventer une langue dépourvue d'objet.

L'*Optophone* de Raoul Hausmann occupe dans cette thèse une place singulière. D'abord parce que sa genèse se situe dans les années 1920 et précède de 80 ans les autres œuvres qui seront analysées. Ensuite parce que son auteur ne lui a jamais donné une forme tangible. Pourtant, comme idée, cette œuvre existe tant par les textes théoriques produits par son auteur que par les textes ultérieurs d'autres essayistes¹⁵ qui l'ont exhumée depuis une trentaine d'années. Elle existe aussi par son œuvre poétique et plastique, d'une grande longévité¹⁶, qui n'a jamais cessé d'interroger, de façon fragmentaire, les concepts dont l'*Optophone* est la synthèse. Par ailleurs, malgré l'inachèvement de sa forme matérielle, l'aspect technologique y occupe une place centrale, avec la conception dans les années 1930 d'une "machine à calculer" préfigurant le dispositif optophonétique avec le dépôt de son brevet en 1934. Malgré l'inachèvement de cette œuvre, la portée et la puissance de son concept ont trouvé un prolongement, dans les œuvres d'autres artistes contemporains, dans lesquelles il est possible de saisir l'actualité de la poétique d'Hausmann¹⁷. Comme de nombreuses œuvres précurseuses, elle contient en germe de nombreuses problématiques auxquelles les artistes actuels en art médiatiques, leurs œuvres, la pensées artistique dans son ensemble se confrontent. Cette œuvre comporte tout à la fois certaines caractéristiques contemporaines

¹⁴ C'est cette transparence que la médiologie (après le structuralisme) tente de rendre opaque, et qu'elle envisage, à l'instar de Bernard Stiegler, comme l'un des plus anciens objets techniques.

¹⁵ Voir les textes de : Borck Cornelius, 2005, *Sound work and visionary prosthetics : artistic experiments in Raoul Hausmann*, in Papers of Surrealism Issue 4 winter 2005; de Niebesch, Arndt, *Ether Machines : Raoul Hausmann's optophonetic Media*, Enns, Anthony and Trower, Shelly, 2013, *Vibratory Modernism*, Ed. Palgrave Macmillan; de Donguy, Jacques, *L'Optophone de Raoul Hausmann*, in Art Press n°255 (2000) et d'autres qui seront cités dans ce texte.

¹⁶ La pratique de Raoul Hausmann s'étend de l'aube du XXe siècle à sa mort en 1971.

¹⁷ Voir Abenavoli, Lorella (2012) La sensorialité excentrique dans les œuvres de Magali Babin dans *Circuit* Volume 23, numéro 1, 2013, p. 26-32.

des œuvres en art médiatique mais je la vois aussi comme l'une des premières tentatives de sonification en art, et plus précisément une audification que l'on pourrait qualifier de métaphysique.

5.2.1 Intention et fondement : optique, phonétique, haptique

C'est dans le langage poétique, au sens étymologique d'une poïesis, d'un faire apparaître dans la parole, telle que la pratiquent les poètes sonores au début du 20^e siècle, que l'on peut saisir l'origine ontologique de l'utilisation du son dans l'œuvre d'Hausmann. À la charnière du 19^e et du 20^e siècle les poètes sont le fer de lance des avant-gardes. Du *Coup de dés* de Mallarmé au *Zaoum* de Khlebnikov, des *Poèmes en liberté* de Marinetti à la *Karawane des éléphants* de Hugo Ball (Donguy, 2007), les poètes déconstruisent le langage, sa transparence, sa logique afin de trouver le son primordial, afin aussi de le rendre opaque, solide, rugueux, non-objectif¹⁸. En procédant ainsi, les poètes deviennent des plasticiens du langage et inaugurent une des orientations de la poésie sonore qui constituera à son tour l'un des champs de l'art audio. Chez les poètes Dada la remise en question du langage est inséparable d'une posture politique au sens artistique du terme. C'est à travers un remaniement du langage et plus exactement à travers la recherche d'une origine de ce dernier, qu'un avenir devient envisageable. Chez Hausmann, cette recherche d'un langage primordial ne s'inscrit pas dans une posture rousseauiste ou conservatrice bien que Marcella Lista y décèle une posture primitiviste. Elle s'ancre dans le présent et peut trouver une forme grâce aux technologies de son temps et grâce particulièrement aux potentiels de l'électricité qu'exploitent la cellule photoélectrique et le téléphone. C'est dans ce contexte que son œuvre plastique, poétique,

¹⁸ Je conserve ici le terme de "non-objectif" utilisé par les artistes des avant-gardes du XX^e siècle – et par Hausmann lui-même dans son texte *Poème phonétique* dans *Courrier Dada* – au lieu du terme "abstrait". Si l'on comprend immédiatement ce que "abstrait" signifie quand on le place dans une dualité figuratif/abstrait, en revanche, du point de vue de la production d'une œuvre, la notion d'abstraction est plus complexe et indécise. Des œuvres dites abstraites proposent le plus souvent des figures que l'on ne peut comparer au monde visible ou audible mais qui, pour l'artiste, ne sont pas pour autant issues d'une pensée abstraite. En tout cas pas plus abstraite que ne le sont les modalités de construction d'un paysage dit figuratif. La capacité de transposer sur une surface bidimensionnelle un paysage qui se déploie dans l'espace et le temps requiert un très haut niveau d'abstraction pour être réalisé. Et dans le contexte de cette thèse l'idée est de comprendre comment les artistes mettent en relation des formes physiques dont ils s'inspirent avec des formes sonores qu'ils produisent, et de les comparer. Enfin le terme "non-objectif" n'est pas forcément plus clair sémantiquement mais il a l'avantage de s'inscrire dans une pensée théorique produite par des artistes.

théorique et performative se déploie et c'est dans trois courts textes publiés entre 1921 et 1923: le "PRÉsentime"¹⁹, de l'"Optophonétique"²⁰ et "Du film parlant à l'optophonétique"²¹ (Lista, 2013)²² qu'il pose les fondements de son dispositif technico-conceptuel : l'optophonétique.

Avant d'aborder ce dispositif on va tenter d'en comprendre la genèse. C'est au cœur du processus d'opacification du langage que Raoul Hausmann entame une réflexion et une pratique plastique de la langue. On l'observe d'abord dans la graphie de ses poèmes qui deviennent partitions, indiquant les paramètres sonores de la langue : intensité, volume, durée, mélodie, timbre.

Le poème est une action d'associations respiratoires et auditives, inséparablement liées au déroulement du temps. Le poème phonétique divise le temps-espace en valeurs de nombres pré-logiques, qui orientent le sens optique par le pouvoir de notation des lettres écrites. Chaque valeur dans un tel poème se manifeste d'elle-même et obtient une valeur sonore, selon que l'on traite les lettres, les sons, les amasements de consonnes-voyelles par une déclamation plus haute ou plus basse. Pour exprimer cela typographiquement, j'avais choisi des lettres plus ou moins grandes ou plus ou moins maigres ou grasses, leur donnant ainsi le caractère d'une écriture musicale. Le poème optophonétique et le poème phonétique représentent les premiers pas vers une poésie parfaitement non-objective, "abstraite". (Hausmann, 1958/1992c, p.59)

¹⁹ Hausmann, Raoul (1992) *Courrier Dada*, Ed. Allia, Paris (La première édition de *Courrier Dada* a paru en 1958 Ed. Le Terrain Vague).

²⁰ *Ibid.* p.53-64

²¹ Contrairement au deux premiers textes qui ont été publiés en français par Hausmann lui-même et auxquels j'ai eu accès dans *Courrier Dada*, je n'ai pas ici les références de ce troisième texte dont le titre original est " Vom sprechenden Film zur Optophonetik" cité dans l'excellent article de Marcella Lista, *L'optophone de Raoul Hausmann : la « langue universelle » et l'intermédiat* dans Pluot, Sébastien et Sérandour, Yann, 2014, Ed. Presses du Réel, coll. Livres et éditions d'artistes, 228 pages ISBN : 978-2-84066-690-5. Marcella Lista y réunit de très nombreux éléments conceptuels, techniques, historiques qui ont conduit Raoul Hausmann à la réalisation de l'*Optophone* et à sa théorie de l'optophonétique. Cette étude se situe dans le prolongement de sa recherche sur la synesthésie dans les arts du XIXe et du XXe.

²² Marcella Lista *L'optophone de Raoul Hausmann : la « langue universelle » et l'intermédiat* dans Pluot, Sébastien et Sérandour, Yann (2014) Ed. Presses du Réel, coll. Livres et éditions d'artistes.

Il instaure ainsi une relation plastique entre écriture et oralité, un continuum entre le signe visible et le signe audible de la langue qui perd ici presque tout signifié au sens sémiologique du terme mais qui poétiquement ouvre de nouvelles dimensions. L'écriture de Hausmann redevient dessin et la parole redevient son²³, le caractère typographique est augmenté et affecté par des dimensions sensibles auxquelles la voix du poète donne corps²⁴. (Fig. 5.1 et ◀ fig. 5.2)²⁵



Fig. 5.1 : Raoul Hausmann, *K'PERIOUM*, 1918/19 "Optophonetical Poem, printed on Japanese paper (47.5 x 66 cm.)²⁶

²³ Comme le porte-plume de Prévert redevient oiseau. Dans le poème « Le cancre », in Prévert, Jacques (1949) *Paroles*, Gallimard.

²⁴ Raoul Hausmann expérimente aussi bien l'écriture dessinée que l'écriture typographique. Dans le poème-affiche ci-dessus la prévalence est donnée à une écriture mécanique, qui s'inscrit dans la réflexion d'Hausmann sur les techniques industrielles adaptées à la production artistique. Cependant il pratique jusqu'à la fin de sa vie l'écriture comme motif de ses dessins et peintures.

²⁵ ◀ Fig. 5.2 : Raoul Hausmann (1918) *poème phonétique, K'perioum*, 1'09". Source : <http://www.ubu.com/sound/hausmann.html>, consulté le 29 avril 2015. Date de l'enregistrement non précisée.

²⁶ *K'PERIOUM*, 1918/19 "Optophonetical Poem, printed on Japanese paper (47.5 x 66 cm.) [Private collection] Note: exhibited at the Erste International Dada-Messe, Nr. 5; published in *Der Dada* Nr. 1 (June 1919) 1. Cat. Hausmann (1994) 178. Source : <http://www.dada-companion.com/hausmann/soundpoetry.php> consulté le 15 mai 2016

Ses *poèmes phonétiques* fondent la première phase de son cheminement dans lequel les seuls éléments du langage persistants sont la lettre et la ponctuation (Fig. 5.3 et ◀ fig. 5.4)²⁷.



Fig. 5.3 : Raoul HAUSMANN. *fmsbwtözü*, 1918, Poème phonétique en forme d'affiche, 33 X 48, Paris, Collection Centre Georges Pompidou, Musée national d'art moderne, Paris

Plus de mot donc. "Je pensais que le poème est le rythme des sons. Pourquoi des mots? De la suite rythmique des consonnes, diphtongues et comme contre-mouvements de leur complément de voyelles, résulte le poème, qui doit être orienté simultanément, optiquement et phonétiquement." (Hausmann, 1958/1922c, p. 57) Le poème sonore, en abandonnant le mot, réserve "ainsi à la poésie son domaine le plus sacré"²⁸ (Ball, 1927), une langue originelle jaillissant « du regard et de l'ouïe intérieurs du poète par le pouvoir matériel des sons, des bruits et de la forme tonale, ancrée dans le geste même du langage. L'optique spirituelle, la

²⁷ ◀ Fig. 5.4 : Raoul Hausmann (1918) poème phonétique, *b b b b et F m s b w*. 1'09" Source : <http://www.ubu.com/sound/hausmann.html>, consultée le 22 avril 2015. Date de l'enregistrement non précisée.

²⁸ *Ibid.* p.57 Extrait de *Flucht aus der Zeit (Fuite Hors du temps (journal 1913-1921))* de Hugo Ball cité par Raoul Hausmann dans son texte *Poème phonétique* in Hausmann, Raoul, 1992, *Courrier Dada*, Ed. Allia, Paris

forme spatiale, et la forme matérielle sonore ne font pas le poème, elle le constituent. »²⁹ (Hausmann, 1958/1992c, p.59). C'est avec cette phrase, condensé radical de la pensée poétique d'Hausmann, que nous basculons dans l'optophonétique et vers, ce que j'entrevois comme le balbutiement d'une des formes originales de sonification en art. Sonification qui est corrélative d'une redéfinition des arts.

Quelle est la relation de Hausmann au sonore? Chez lui, l'auditif est inséparable de l'optique, cependant le rôle du sonore, tout au moins dans les années 20, prédomine dans son projet poétique, lorsqu'il décide de remplacer les mots par une composition de lettres faite en fonction justement de leur sonorité. C'est la raison pour laquelle il qualifie ses poèmes de "phonétiques", dont l'étymologie grecque renvoie par ailleurs au son spécifique de la voix. Le son est pour lui tout à la fois ce qui est perçu et ce qui est produit et émis, ce qui est intérieur et extérieur, c'est au fond l'"aurality" de la langue anglaise qui contient comme le souligne Louise Poissant tout à la fois ce qui est audible et oral (Poissant, 2014). "La langue jaillit de l'ouïe intérieure du poète par le pouvoir matériel des sons, des bruits, de la forme tonale". Mais la langue jaillit aussi du "regard intérieur du poète" qui renvoie à ce que Hausmann nomme "l'optique spirituelle" lui ôtant avec ce qualificatif tout lien avec l'optique picturale mais aussi avec l'optique scientifique et en particulier l'optique newtonienne (Donguy, 2000 et Hausmann, 1992)³⁰. « La mécanique morte ou notre vue déterminée par Newton n'est ni la vision, ni la perception, mais la division du phénomène optique vivant et dynamique en rubriques classifiées, en multiples catégories et notions. » (Hausmann, 1992b, p.90)

Il balaie d'un revers de main la conception "visuelle" et scientifique de l'optique pour l'inclure dans une modalité sensorielle englobante : l'haptique. C'est dans son Manifeste de 1921 du PRÉsentisme qu'il théorise la synthèse des sens ou ce qu'il nomme encore les "émanations excentriques" de l'humain, grâce à la notion unificatrice de l'haptique, qui désigne la façon

²⁹ Raoul Hausmann écrit cette phrase en 1958 (année de la 1^{ère} publication de *Courier Dada*) plus de trente ans après la conception de l'optophonétique. Elle pourrait être envisagée comme un anachronisme au sein de mon texte, mais en réalité elle condense les idées posées dans ses écrits des années '20 – manifestes, essais, journaux - tout en conservant les mêmes mots de vocabulaires qui révèlent la persistance de sa vision du monde et les questions qui l'habitèrent toute sa vie durant.

³⁰ l'*Optophone* de Raoul Hausmann dans *Art Press* n°255, mars 2000 p.56 à 60. Jacques Donguy cite la correspondance de Raoul Hausmann au poète sonore Henri Chopin; et (Hausmann, 1992, p.91)

dont nous percevons. Quel que soit le sens sollicité, il ne fait qu'actualiser un toucher à distance, dont le tactile est une des modalités immédiates. C'est ce toucher à distance qui constitue une émanation excentrique, partant de nous, dans toute les directions. *L'Optophone* est le projet qui donne corps à ce processus perceptuel, c'est-à-dire qu'il en est la "représentation" : représentation de l'excentricité de nos sens, du mouvement et de l'espace, représentation du nouveau "Sens-Temps-Espace" évoqué dans "L'Optophonétique" qui renvoie simultanément à la dimension temporelle et spirituelle du monde, à la quatrième dimension et au "sixième sens" de notre appareil perceptif (Hausmann 1922c). Quant à la "forme spatiale" elle désigne l'étendue et le médium même du poème phonétique, son origine et sa fin. "Espace" que l'on retrouve en février 1921³¹ dans son Manifeste du Présentisme où il développe une théorie de l'haptique inspirée par la notion de "sensorialité excentrique" du philosophe Ernst Marcuse qui conduit Raoul Hausmann en 1922 à écrire le manifeste Optophonétique dans lequel il affirme: "La synthèse s'approche à pas énergiques, nous réussirons à donner une forme unie aux vibrations de la lumière et du son" (Blistène, 1998, p.501). C'est cette intention unificatrice ou plus exactement ce continuum pressenti entre les dimensions ondulatoires et vibratoires de la matière qui préside à la création de *l'Optophone*³².

5.2.2 Conception et imagination : la forme des données, les ondes, la lumière et le son

Outre cette synesthésie primordiale qu'il résoud philosophiquement et physiologiquement par l'haptique, il trouve dans des technologies de son temps, la possibilité de réaliser son projet. Il trouve dans la lumière la "forme" absolue de l'optique et dans sa conversion sonore son équivalence audible. Ces technologies sont la lampe à arc "chantante"³³ qui produit des

³¹ Ibidem - extrait de *Manifeste du PRÉsentisme contre le Dupontime de l'âme Teutonique* dans Hausmann, Raoul (1992) *Courrier Dada*, Ed. Allia, Paris (la première édition de Courrier Dada a paru en 1958 Ed. Le Terrain Vague) – 239pages

³² Pour une approche très documentée à partir des sources de premières mains – incluant les textes en allemands de Raul Hausmann – voir le texte de Marcella Lista *L'optophone de Raoul Hausmann : la « langue universelle » et l'intermédiat* dans Pluot, Sébastien et Sérandour, Yann (2014) Ed. Presses du Réel, coll. Livres et éditions d'artistes, 228 pages ISBN : 978-2-84066-690-5

³³ Le physicien anglais William du Bois Duddell qui s'aperçut de ce phénomène, raccorda un clavier qui modulait la tension électrique à une lampe à arc et créa ainsi le 1^{er} instrument électronique en 1899, baptisé Singing arc lamp. https://fr.wikipedia.org/wiki/William_Duddell consulté le 15 juin 2015. Voir aussi à ce sujet le texte de Donguy, Jacques, *L'Optophone de Raoul Hausmann*, *ArtPress*, n°255, Mars

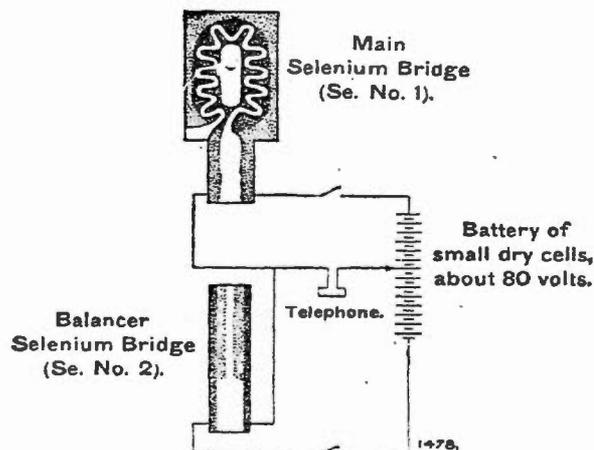


FIG. 7.—DIAGRAM OF SELENIUM BRIDGE CONNECTIONS.

Fig. 5.5 : Barr, A. (1921). "The Optophone". *Journal of the Royal Society of Arts*, 69 (3571), 371³⁴

fréquences audio contrôlables lorsque l'on fait varier la tension de l'alimentation électrique de celle-ci. En somme elle convertit le courant continu en énergie radioélectrique. Ensuite il y a la cellule de sélénium (fig. 5.5), dont le composant du même nom est un semi-conducteur photosensible³⁵ et dont la résistance électrique varie en fonction de l'intensité de la lumière qu'elle reçoit. Enfin il y a le téléphone, transducteur audio, tout à la fois émetteur et récepteur. L'association de ces capteurs et transducteurs permet de convertir la lumière en son et inversement. Dans son texte l'Optophonétique de 1922 Raoul Hausmann explique le processus :

Si l'on met une cellule de sélénium devant l'arc de lumière en mouvement acoustique, elle produit différentes résistances qui agissent sur le courant électrique suivant le degré d'éclairage, on peut ainsi forcer le rayon de lumière, à produire des courants d'induction et à les transformer [en sons], tandis que les sons photographiés sur un film derrière la cellule de sélénium paraissent en lignes plus étroites ou plus larges, plus claires ou plus sombres, se transforment de nouveau en sons, en renversant le procédé.

2000 où il cite un extrait de la correspondance de Raoul Hausmann qui parle du processus de la lampe à arc chantante.

³⁴ Retrieved from <http://search.proquest.com/docview/1307276953?accountid=14719> p.377

³⁵ Sa résistance électrique varie selon son exposition à la lumière.

L'Optophone change les images d'induction lumineuses à l'aide de la cellule de sélénium de nouveau en sons par le microphone placé dans le circuit électrique, ainsi, ce qui apparaît comme image dans la station d'émission devient son dans les stations intermédiaires, et si l'on renverse le procédé, les sons redeviennent des images.

La suite des phénomènes optiques se transforme en symphonie, la symphonie de son côté devient un panorama vivant.

La construction adéquate donne à l'Optophone la capacité de montrer l'équivalence des phénomènes optiques et sonores, autrement dit : il transforme les vibrations de la lumière et du son – "car la lumière est de l'électricité vibrante, et le son aussi est de l'électricité vibrante. (Hausmann, 2005, p.14)

Voici décrits sommairement les principes de l'*Optophone* et ce qui apparaît comme le premier dispositif artistique d'audification : les ondes lumineuses sont converties analogiquement en ondes sonores actualisant "l'équivalence des phénomènes optiques et sonores" (Hausmann, 1922). L'électricité incarne ici le médium, au sens du moyen, qui convertit les ondes lumineuses en ondes sonores et vice-versa. La physique des ondes et son application par les technologies électriques offrent à Raoul Hausmann, dans les années 20, la possibilité de mettre en œuvre les correspondances sensorielles tant réfléchies par les artistes du 19^e siècle et du début du 20^e. Cependant, ainsi que le développe Marcella Lista, "... l'Optophone, imaginé par Hausmann était voué à bouleverser la pratique post-symboliste des correspondances", correspondances que l'on retrouve dans les approches synesthésiques de Kandinsky par exemple, nourri par la théorie des couleurs de Goethe. "Les entreprises théoriques (...) d'Hausmann autour d'une primauté du tactile³⁶ engagent une révision moderniste de la synesthésie. Elles opposent au concept de "résonance" entre les arts, porté par le symbolisme puis par l'expressionnisme, un principe de contact direct qui implique un processus actif de traduction [sic] plutôt qu'une spéculation esthétique autour de la comparaison [sic] des arts." (Lista, 2014) Les correspondances effectuées ici par Hausmann et son *Optophone* sont des correspondances physiques, quantifiables, mais dont la nature ondulatoire les rapproche, selon lui, du fonctionnement et de la nature de notre système sensoriel. Ce sont ces correspondances qui sont au cœur du principe de l'*audification*, permettant de faire converger, par transduction (et non par traduction), tous les phénomènes

³⁶ « Haptique » serait plus adéquat ici. Tactile évoquant plus le toucher immédiat, tandis que l'haptique, tel que Hausman le conçoit, concerne tous les sens, puisque tous les sens actualisent selon lui un toucher à distance.

ondulatoires électromagnétiques et matériels vers les ondes matérielles sonores, dont l'échelle vibratoire est immédiatement et apercéptivement accessible à nos sens, ce qui fait du son un médium pour les artistes plasticiens.

5.2.3 Mise au point : conception de l'*Optophone*

Le premier optophone est un dispositif inventé en 1914 par le physicien, astrophysicien et chimiste Edmund Edward Fournier d'Albe. Cet appareil destiné aux aveugles constitue l'un des premiers dispositifs techno-scientifiques de sonification.³⁷

It would be difficult to conceive of a more remarkable electrical device than the type-reading optophone, which enables the blind to read ordinary type. This device, be it understood, is not altogether new as far as its basic principles are concerned. As far back as August 3rd, 1912, the SCIENTIFIC AMERICAN SUPPLEMENT carried a description of the first optophone which in its earliest form was an 'instrument for converting light into sound in such a manner that the blind were enabled to see by ear, so to speak. (Scientific American, 1920)³⁸

Voir par les oreilles : cette définition est probablement la plus simple et la plus appropriée à la sonification en art. Cité, dans la littérature spécialisée³⁹ de la recherche en sonification, comme l'un des premiers appareils électriques de couplage sensoriel destinés aux personnes atteintes de handicap de la vision, la longévité de son principe et sa réactualisation au fur et à mesure des perfectionnements technologiques, en font un dispositif exemplaire.⁴⁰ Raoul

³⁷ Sanz, Pablo Revuelta; Mezcuca, Belén Ruiz; Pena, José M. Sánchez; Walker, Bruce N. Affiliations: Carlos III University of Madrid, Legá, Spain; GeorgiaTech, Atlanta, GA, USA (See document for exact affiliation information.) JAES Volume 62 Issue 3 pp. 161-171; March 2014 Publication Date: March 20, 2014 <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=17130> Consulté le 15 mai 2015.

³⁸ Scientific American, November 6, 1920, vol. CXIII number 19 Original from Michigan University, Generated on 2015-05-13 15:45 GMT / <http://hdl.handle.net/2027/mdp.39015024546411> Public Domain, Google-digitized / http://www.hathitrust.org/access_use#pd-google Consulté le 15 mai 2015.

³⁹ Par exemple Revuelta Sanz, P., Ruiz Mezcuca, B., Sánchez Pena, J. M., & Walker, B. N. (2014). Scenes into sounds: A taxonomy of image sonification methods for mobility applications. *Journal of the Audio Engineering Society*, 62(3), pp. 161-171.

⁴⁰ L'un des travaux les plus extraordinaires élaborés ces deux dernières années est celui de Florian Grond, *The Haptophone* (2015) fait en collaboration avec des personnes aveugles. Ce dispositif transforme le toucher en son. Il sonifie une forme sculpturale pour en donner une équivalence plastique audible. Travail présenté à *BLIND CREATIONS : An International Colloquium on Blindness and the Arts Royal Holloway*, University of London, 28-30 June 2015

Hausmann en avait une connaissance très documentée⁴¹ et d'ailleurs la description précédemment citée de son optophone est techniquement très semblable aux versions antérieures de Fournier d'Albe optimisée en 1921 par Archibald Barr. La figure 5.6 permet une meilleure compréhension de son principe.

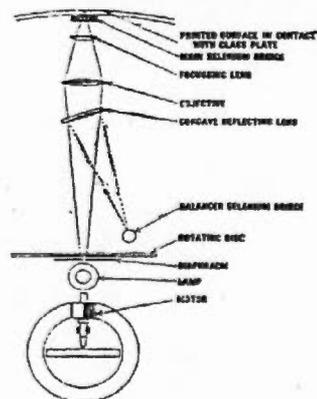
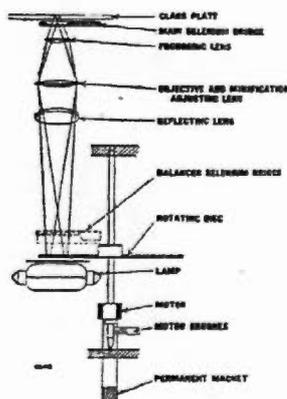
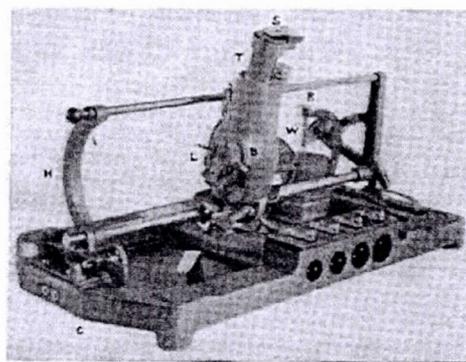


Fig. 5.6 : Optophone, Scientific American, Nov. 6, 1920, vol. CXIII n° 19
Original from Michigan University,⁴²

⁴¹ Voir le texte extrêmement bien documenté de Marcella Lista concernant les connaissances technologiques de Raoul Hausmann à la lueur de ses carnets de notes. Ces informations de secondes mains sont très importantes pour qui ne lit pas l'allemand, étant donné que ses nombreux cahiers n'ont été traduits que partiellement. Réf. Marcella Lista *L'optophone de Raoul Hausmann : la « langue universelle » et l'intermédiás* dans Pluot, Sébastien et Sérandour, Yann (2014) Ed. Presses du Réel, coll. Livres et éditions d'artistes ou encore dans sa première version anglaise "Raoul Hausmann's Optophone : Universal Language and the Intermedia", in L. Dickerman and M. Vitkovsky (Eds.), *The Dada Seminars*, Washington, NGA, 2005, pp. 83-102

⁴² Generated on 2015-05-13 15:45 GMT / <http://hdl.handle.net/2027/mdp.39015024546411>. Public Domain, Google-digitized / http://www.hathitrust.org/access_use#pd-google

Le dispositif d'assez petite dimension permet au "lecteur" muni d'un casque audio, d'apposer son livre sur l'optophone et de "lire" auditivement le texte. Il faudrait plutôt dire "d'entendre le texte" car c'est grâce à des notes de musique qui sonifient le dessin des lettres que l'auditeur accède au texte, au même titre que le braille permet une lecture tangible du texte par le toucher de signes en relief. Un extrait du *British Medical Journal* de 1921 en fait une description très claire.

The instrument depends for its action on the fact that the conductivity of electricity by metallic selenium is increased by light. Above an electric filament lamp revolves a disc with five rings of perforations around its circumference. The light flashing through the perforations in the disc is led by a series of lenses to two selenium detectors which are interposed in a circuit with a battery and a telephone, and the flashes of light are transformed by the selenium detectors into sounds in the telephone. When the amount of light is modified by the interposition of any object, the sound in the telephone is modified accordingly, and this happens when the figure of a black letter of the alphabet, moved across a slot, is reflected into the line of the light from the lamp. The notes which are given out differ with each letter, so that letters, and eventually words, can be recognized by their distinctive notes. Even the audience at Dr. Barr's demonstration was able, under his tuition, to recognize certain large capital letters in a few moments.⁴³ (*British Medical Journal*, 1921, p.574)

Si l'on peut imaginer instantanément le potentiel qu'un tel instrument aurait pu avoir sur la poésie sonore tel que Raoul Hausmann l'envisage en ce début des années 20, il est étonnant de constater qu'il n'oriente pas son *Optophone* vers une fonction de "lecteur" automatique de ses poèmes lettristes mais qu'il le conçoit comme instrument pour :

(...) une peinture électrique, scientifique! les ondes du son, de la lumière et de l'électricité ne se distinguent que par leur longueur et leur amplitude; après les expériences de Thomas Wilfred en Amérique sur les phénomènes colorés flottant librement dans l'air, et les expériences de la T. S. F. américaine et allemande, il sera facile d'employer les ondes sonores en les dirigeant à travers les transformateurs géants, qui les transmettront en spectacles aériens colorés et musicaux... Dans la nuit des drames de lumières se dérouleront au ciel, dans la journée les transformateurs feront sonner l'atmosphère!!! (Hausmann, 1992, p.94)⁴⁴

⁴³ The Optophone. (1921). *The British Medical Journal*, 1(3146), 574-574

⁴⁴ Extrait de *Manifeste du PRÉsentisme contre le Dupontisme de l'âme Teutonique* dans Hausmann, Raoul (1992) *Courrier Dada*, Ed. Allia, Paris (La première édition de *Courrier Dada* a paru en 1958 Ed. Le Terrain Vague) – 239 pages

Ainsi l'échelle de son projet devient celle du territoire incluant les dimensions spatiales de la lumière et du son, analogues aux dimensions haptiques de notre perception qui se déploient dans l'éther⁴⁵.

Sur son schéma simplifié de l'*Optophone* (fig. 5.7) on perçoit un cylindre perforé duquel sort la lumière⁴⁶ (où il est inscrit "cylindre troué" et "table de calcul") que l'on suppose être entraîné par le clavier de microreliefs. Le haut-parleur indique que le son se déploie dans l'espace contrairement à l'optophone de Fournier d'Albe qui est muni d'un casque. Par ailleurs il donne les indications suivantes quant aux "formes" qui passent devant la cellule de sélénium et qui engendreront le son :

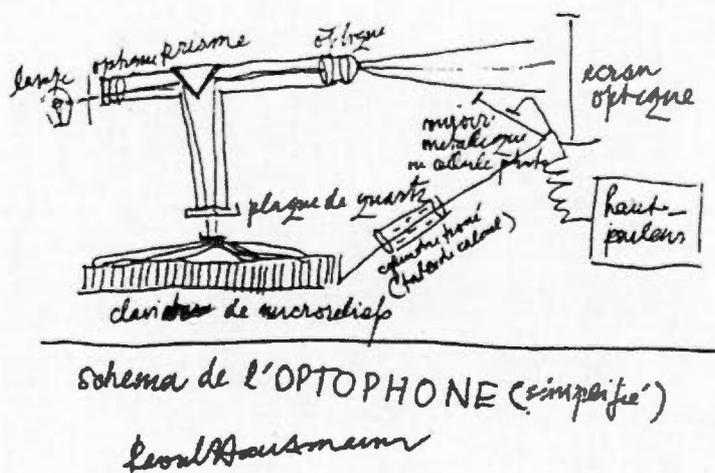


Fig. 5.7 : Schéma simplifié de l'*Optophone* (Raoul Hausmann, s.d.) localisation et date inconnues. Cependant, vu qu'il est rédigé en français on peut imaginer qu'il date des années 30. Dessin sur papier localisation inconnue Illustration tirée du livre de Jean-François Bory, *Prologomènes à une Monographie de Raoul Hausmann*, Paris, Edition de l'Herbes, 1972 Extrait de Son et Lumière p.205

⁴⁵ Arndt Niebisch développe l'idée que "Hausmann's main aesthetic project, which he called *Optophonetics* (...) was connected to a theory of ether." Notion qui a été éliminée par la théorie de la relativité d'Einstein remplaçant l'éther par le Vide. *Vibratory Modernism*. (2013) : Basingstoke, GB: Palgrave Macmillan.

⁴⁶ On pense ici au modulateur-espace-lumière (1922-1930) de Moholy Nagy avec qui il entretenait une correspondance étroite étant donné la proximité de leurs idées et de leurs recherches.

« Ces "sons photographiés" sur un film derrière la cellule de sélénium paraissent en lignes plus étroites ou plus larges, plus claires ou plus sombres, se transforment de nouveau en sons, en renversant le procédé » (Hausmann, 1922c). Comme pour le son optique du cinéma sonore dont il rencontre les protagonistes allemands dès 1925⁴⁷ (Donguy, 2001, p.56-60), ce sont les « photographies » du son lui-même qui vont devenir sonores.

Il n'est donc aucunement question ici de transformer du texte en son, mais bien de faire en sorte que « les phénomènes optiques se transforment en symphonie, la symphonie de son côté devenant un panorama vivant. » (Hausmann, 1992b, p.91)⁴⁸. On peut dire que le dispositif de Raoul Hausmann est un principe d'audification qui sonifie les ondes électromagnétiques de la lumière et qu'en retour il rend visible par des émanations lumineuses les ondes sonores.⁴⁹

Sur les conseils de Moholy-Nagy il tente de faire breveter son *Optophone* à la Chambre des Brevets de Berlin mais reçoit une fin de non recevoir, celle-ci "déclarant: "techniquement très possible, mais on ne peut pas voir à quoi cela servirait..." (Donguy, 2001). C'est probablement la nature de ce refus qui le pousse à développer une machine à calculer, reprenant quelques principes de l'*Optophone*, dont la cellule photo-électrique. Il s'associe avec l'ingénieur Daniel Broido, et ils reçoivent en 1935 leur brevet pour "Improvements in and Relating to Calculating Apparatus".

On retrouve dans les dessins techniques du brevet (Fig. 5.8) quelques éléments présents sur son esquisse mais à aucun moment il ne renvoie explicitement à l'*Optophone*. Tour à tour, Jacques Donguy (2001), Arndt Niebisch (2013) ou encore Cornelius Borck⁵⁰ (2005)

⁴⁷ "En 1925 j'entrai en contact avec les inventeurs allemands du film parlant Vogt, Masoll, Engel." Donguy, Jacques, L'*Optophone* de Raoul Hausmann dans Art Press n°255, mars 2000

⁴⁸ Hausmann, Raoul (1992) *Courrier Dada*, Ed. Allia, Paris 239 pages.

⁴⁹ Il est important de préciser à ce stade que l'audification n'est pas une finalité chez Raoul Hausmann en ce sens que ce qui l'intéresse c'est le système en boucle qui transforme la lumière en son puis le son en lumière et cela de façon récurrente avec cependant des modifications qui interviennent à chaque boucle car la transduction en temps réel des ondes électromagnétiques en ondes sonores et inversement produit des irrégularités à chaque nouvelles conversion. Il s'agit d'une boucle ouverte, comme dans l'œuvre d'Alvin Lucier *I'm Sitting in the Room* ou la boucle révèle l'entropie de la forme, en l'occurrence de la forme sonore.

⁵⁰ Borck Cornelius (2005) Sound Work and Visionary Prosthetics: Artistic Experiments in Raoul Hausmann, in Papers of Surrealism [ressource électronique]. Directory of open access journals. (2003). *Papers of surrealism* <http://accesbib.uqam.ca/cgi-bin/bduqam/transit.pl?&noMan=25051826a>

constatent l'écart entre l'envergure et l'ambition du projet *Optophonetik* et cette machine à calculer qui en propose un dispositif détourné. On pourrait spéculer et imaginer qu'à la place des nombres, cette machine pourrait engendrer des sons dont les fonctions d'addition ou de multiplication permettraient d'explorer un très large éventail de sonorités. C'est d'ailleurs ce qu'a tenté l'artiste Peter Keenes dans sa reconstitution de l'*Optophone* en 2004 (Fig. 5.9 et fig. 5.10)⁵¹.

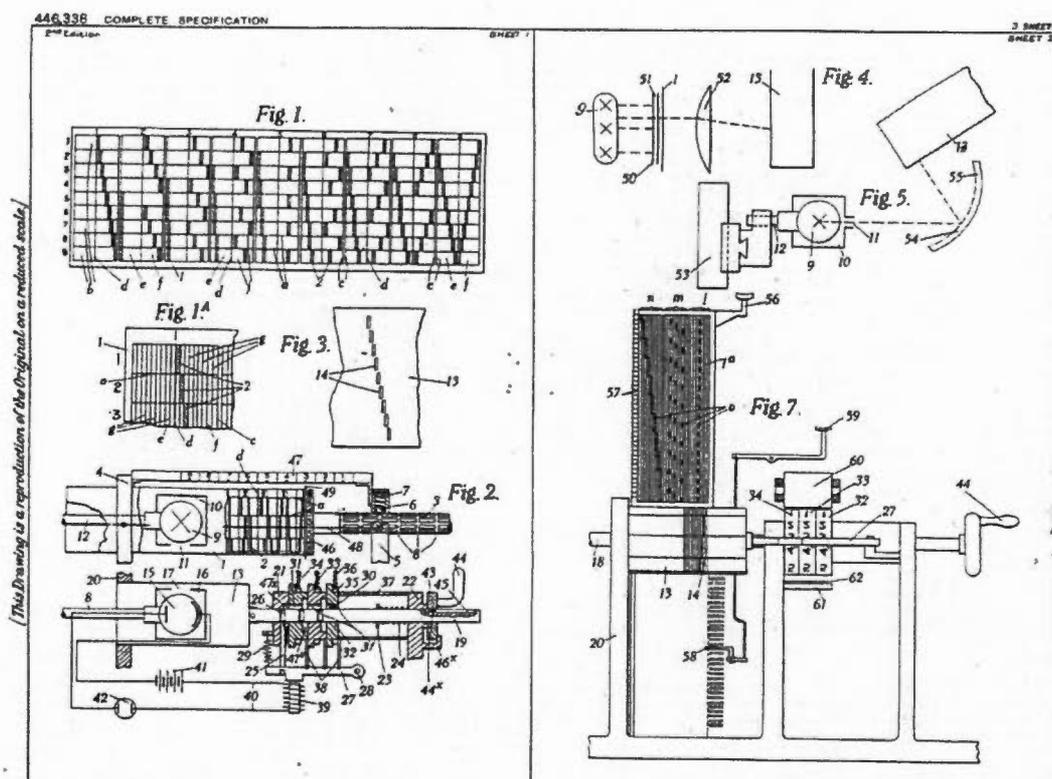


Fig. 5.8 : *Improvements in and relating to Calculating Apparatus.* (Hausmann et Broïdo, 1934-1936) «Patent Specification. Application Date : Sept.25,1934. N°27436/34. Complete Spécification Left: Oct. 25, 1935. Complete spécification Accepted: April27, 1936. Provisional Specification.» Reproduction de deux des trois schémas présents dans le brevet déposé par Hausmann et Broïdo aux Bureau des brevets à Londres en 1934-36.⁵²

⁵¹ Fig. 5.10 : Peter Keene (2004) *Raoul Hausmann revisited*, <http://www.peter-keene.com/Raoul%20Hausmann%20revisited.html>

⁵² L'ensemble du brevet est en index. Il m'a été gracieusement transmis par Jacques Donguy qui l'a retrouvé à Londres en 2000. L'analyse est plutôt longue pour comprendre le mécanisme mais il constitue un document historique très précieux. Il semble qu'il ait aussi fait l'objet d'une publication partielle allemande à laquelle je n'ai pu avoir accès. Citée dans Niebisch, Arndt, (2012) *Raoul Hausmann Dada-Wissenschaft. Wissenschaftliche und technische Schriften*, Ed. Philo Fine Arts; Auflage: 1.

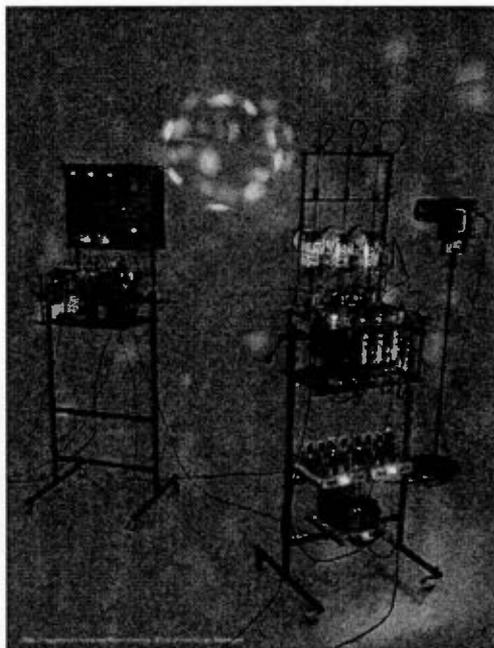


Fig. 5.9 : Peter Keene (2004) *Raoul Hausmann revisited*, photo Rolan Ménégon. Exposition Sons et Lumières, Centre Pompidou. 22 sept. 2004-3 janv 2005. Paris

Il « s'est inspiré de la partie mécanique du brevet, soit deux axes x et y, un capteur de lumière sous forme de cellule photoélectrique et un rayon de lumière sous forme de rayon laser. Les deux axes x et y correspondent à des échelles de voltage de 0 à 10, l'équivalent des fenêtres. Mais au lieu d'un galvanomètre, il a mis un synthétiseur analogique, et au lieu d'avoir un chiffre, nous avons un son.» (Donguy 2001, p.56-60). Sur le plan artistique⁵³ cette interprétation reste en de ça du système conceptuel et projectuel de Raoul Hausmann. Cela tient en partie aux sons choisis qui sont des extraits de la voix d'Hausmann issus d'enregistrements de ses performances poétiques, tandis que le projet excluait justement toute dimension figurative du son. En effet la présence des mots et de la voix d'Hausmann nous empêche d'imaginer les correspondances entre ondes lumineuses et ondes sonores. Cependant on entend tout de même des fréquences sonores sans cesse renouvelées par le dispositif et ainsi certains aspects de cette reconstitution ont le mérite de donner corps au mécanisme de l'*Optophone* (☛ Fig. 5.10). Sans compter que depuis les années 1930 les dispositifs technologiques ont tellement évolué que les œuvres exploitant ces mediums ont évidemment

⁵³ Dans la vidéo que Peter Keene diffuse sur son site. Je n'ai pas expérimenté l'œuvre.

engendré des formes tout à fait extraordinaires dans le domaine de l'art cinétique d'abord puis dans les arts médiatiques.

5.2.4 Synesthésie technologique et phénomène ondulatoire

Il y a donc un écart entre l'objet du brevet et l'optophone, cependant cet écart révèle une problématique inhérente à l'audification. Les productions technologiques de l'*Optophone* aspirent à transcender le technique en proposant d'établir simultanément des correspondances de nature physique et symbolique entre d'une part les ondes électromagnétiques de la lumière et les ondes acoustiques du son et entre, d'autre part, les états ondulatoires de la matière et les facultés de la perception. Chez Raoul Hausmann la synesthésie dont il est question dans l'haptique renvoie à un état originel de la perception, d'un état pré-linguistique, dont le cerveau est l'« organe centralisateur » (Hausmann, 1922c). Cela explique qu'il se détourne de l'optophone de Fournier D'Albe, pour imaginer un dispositif tridimensionnel et dynamique, avec lequel on bascule dès 1922 dans un projet d'œuvres environnementales où médiums électriques du son et de la lumière construisent des formes dans l'espace et dans le temps, échos et représentations des dimensions spatiotemporelles du fonctionnement de la perception même. C'est en cela que l'*Optophone* marque la genèse d'une forme d'audification en art, tendue entre un dispositif technologique de transduction des ondes électromagnétiques en ondes acoustiques et un dispositif conceptuel qui ouvre l'audification à des dimensions poétiques et spirituelles qui dépassent le système qui la construit.

Il faut faire un bond de quatre-vingts années pour aborder les deux prochaines œuvres, qui travaillent en effet à l'échelle du paysage, ainsi qu'Hausmann l'avait lui-même désiré. Il semble nécessaire à ce stade d'aborder la notion d'ondes afin de saisir le principe des correspondances élaborées lors de la sonification entre tous les phénomènes électromagnétiques et le son.

5.3 Ondes

Il est important de redire que les œuvres ne se bâtissent pas à partir des définitions scientifiques que nous allons survoler ici mais à partir d'intentions propres qui, chemin faisant, amènent les artistes à utiliser et à partager, le plus souvent, les outils technologiques développés la plupart du temps par les techno-sciences et par là même à devoir comprendre ce que ces instruments saisissent, au sein de quels paradigmes scientifiques et discours médiologiques ils ont été conçus et quelles réalités physiques ils cherchent à saisir. Lorsque les potentialités des instruments coïncident avec le projet artistique, quitte à les utiliser « contre nature » comme on l'a vu avec *Delay* (Sherman, 2012), *Bondage* (Tanaka, 2004), ou *L'origine des espèces* (Robert, 2006), ils sont alors adoptés par les artistes. Ainsi, si j'ai élaboré mon corpus au regard des sources à l'origine des sonifications étudiées, on comprend bien que la façon dont l'artiste va exploiter plastiquement son instrumentation a pour objectif de servir une intention artistique qui n'est pas démonstrative mais plutôt exploratoire et « monstrative ». Les artistes choisis ici souhaitent « montrer », par la médiation de dispositifs technico-conceptuels, des phénomènes cachés, presque imperceptibles, de notre environnement traversant toutes les échelles spatio-temporelles énergétiques souvent inspirées et influencées pas les théories, les instrumentations et les concepts scientifiques qui ont jalonné l'histoire technologique depuis le 19^e siècle⁵⁴.

Le concept d'onde, l'un des plus universels de la physique mathématique, est élaboré au XVII^e siècle (Pire, 2016). Cependant sa racine étymologique indo-européenne "wed-", "wod-" est très ancienne et se confond avec l'"eau". On la retrouve en anglais et en allemand dans water and Wasser (Picoche, 1992, p.354). Cette origine linguistique fait écho au phénomène observable et toujours fascinant de la formation de l'onde à la surface de l'eau, qu'il s'agisse des vagues de la mer ou encore de la surface calme d'un lac animée par le saut d'un poisson, la marche subaquatique d'un gerris ou encore le jet d'un caillou. Jet qui produit aussitôt un son bref, qui constitue la part audible de l'onde de choc produite par la rencontre du caillou avec l'eau et avec l'air. Nous percevons ainsi, grâce à notre appareil perceptif, au moins deux expressions ondulatoires simultanées l'une visuelle, l'autre auditive. Ce que l'on nomme

⁵⁴ Le 19^e siècle cristallise de nombreuses découvertes scientifiques dont nous n'oublions pas que, les prémisses remontent parfois à l'antiquité. Cependant le 19^e siècle marque une avancée fulgurante concernant la maîtrise de technologies absolument nouvelles dans l'histoire de l'humanité.

lumière et *son* sont tous deux des forces qui, pour la physique, s'expriment sous une forme ondulatoire⁵⁵. C'est d'ailleurs cette analogie formelle qui permet depuis le 19^e siècle d'opérer des transductions entre lumières et sons grâce à la maîtrise de l'électricité⁵⁶.

Ainsi, les ondes lumineuses grâce auxquelles nous voyons l'onde à la surface de l'eau et les ondes sonores que nous entendons simultanément appartiennent pour la physique à deux familles bien distinctes. La lumière s'inscrit dans le domaine des ondes électromagnétiques tandis que le son s'inscrit dans le domaine des ondes mécaniques ou matérielles. Les ondes électromagnétiques dont on peut observer le large spectre (Fig. 5.11 et 5.12) peuvent traverser un milieu matériel, mais elles n'en n'ont pas besoin pour se propager tandis que les secondes ne se manifestent que dans un milieu matériel, qu'il soit gazeux, liquide, solide ou mixte. Ces ondes, qu'elles soient électromagnétiques ou mécaniques, lorsqu'elles sont représentées sur un graphique cartésien, ressemblent toutes à une ligne plus ou moins accidentée, qui exprime le déplacement d'un point dans le temps qui oscille comme on l'a vu dans les nombreuses figures des chapitres précédents. On peut comprendre le principe de cette représentation en reprenant l'exemple de l'onde qui se propage à la surface de l'eau.

Lorsque je place un bouchon de liège qui flotte sur cette surface et que j'y jette un caillou, le bouchon va suivre les variations verticales (de pressions) des ondes tout en restant "sur place"; c'est-à-dire que le bouchon ne se déplace pas dans la direction excentrique où les ondes semblent se propager. Si j'enregistre le profil des déplacements du bouchon en les inscrivant dans la durée j'obtiendrai bien une ligne zigzagant sur le graphique correspondant

⁵⁵ On n'oublie pas ici la question physique contemporaine sur l'ambivalence onde/particule de la lumière mais il ne semble pas nécessaire d'en parler ici.

⁵⁶ Cette maîtrise technologique marque ainsi les premières tentatives de sonification tant dans le domaine des sciences que dans celui des arts. On pourrait retracer l'histoire des arts plastiques à l'aune de la nouvelle catégorie des *arts énergétiques* introduite par Douglas Kahn (2013). Il nous faudrait alors, avec Marcella Lista, remonter à l'aube du XX^e siècle où le son optique voit ses premiers développements avec le photographophone de Ernst Ruhmer, puis avec le cinématographe qui ouvrira la voix à des pratiques artistiques indépendantes marquant une sonification abstraite où le dessin deviendra la source de productions auditives. Parmi les artistes-chercheurs les plus célèbres dans ce domaine on retrouve Rudolf Pfeininger, Oscar Fischinger, Norman MacLaren. (Lista, 2004b). Il faut reconnaître que c'est Laslo-Moholy Nagy qui dans les années 1920 a théorisé cette pratique transductive avec le terme d'*intermédia* qui désigne précisément "la transformation physique d'un médium vers l'autre par des moyens électriques" (Lista, 2004b, p.64).

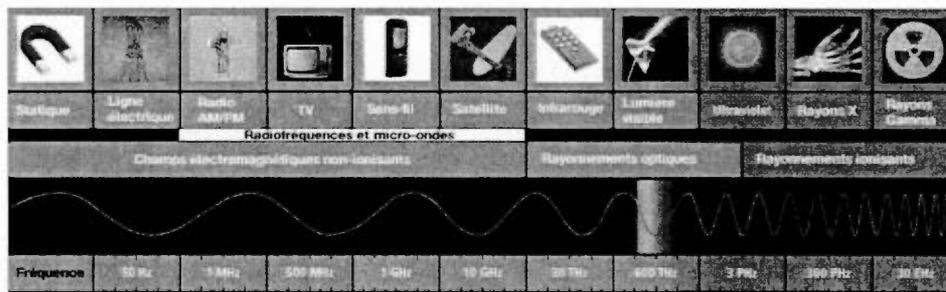


Fig. 5.11 : Le tableau des différents types d'ondes électromagnétiques existants.⁵⁷ La lecture se fait de gauche à droite, des longueurs d'ondes les plus longues (50Hz) aux plus courtes (30×10^{18} Hz). En haut sont indiquées des technologies qui exploitent les différentes ondes électromagnétiques. Sur fond noir on perçoit la place qu'occupe la lumière que nous voyons au sein de ce vaste champ. En bas la périodicité de ces ondes.

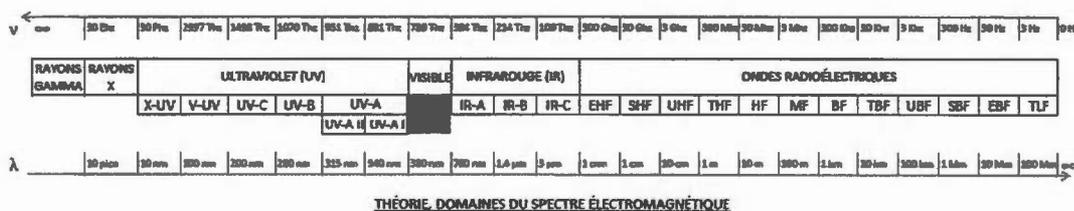


Fig. 5.12 : Domaines du spectre électromagnétique qui complète le tableau précédent.⁵⁸ Attention : la lecture ici se fait de droite à gauche. On voit en bas du tableau les longueurs d'ondes et, dans le champ intermédiaire, les noms donnés par la physique à différentes classes d'ondes réunies en fonction de leur longueurs.

aux variations de son déplacement. La captation de tout mouvement ondulatoire suit le même principe : un capteur à un endroit donné va pouvoir saisir la propagation des ondes, dans la mesure où, bien entendu, sa technique de captation est adaptée à la nature physique des ondes recherchées. Cette représentation commune des ondes électromagnétiques et mécaniques s'explique par le fait que leur description physico-mathématique obéit exactement aux mêmes équations, décrivant l'onde non pas comme un phénomène matériel mais comme une force qui se propage dans la matière qui en subit les déformations; la représentation graphique de la propagation de l'onde dessine cette force captée en un point donné de l'espace et de la matière. Par exemple, il en est ainsi du sismomètre qui, placé sur un point unique de la Terre,

⁵⁷ <http://danger-des-ondes.e-monsite.com/pages/qu-est-ce-qu-une-onde-telephonique.html> Consultées le 26 mai 2015

⁵⁸ Domaines du spectre électromagnétique 14122013 CC BY-SA 3.0 Création : 9 janvier 2014 https://fr.wikipedia.org/wiki/Spectre_%C3%A9lectromagn%C3%A9tique#/media/File:Domaines_du_spectre_%C3%A9lectromagn%C3%A9tique_14122013.JPG, Consulté le 26 mai 2015

saisit l'ensemble des ondes qui se propagent à travers et à la surface du globe. En retour, la description de cette courbe est techniquement suffisante pour reconstituer auditivement, avec le transformateur électrique adapté, la forme de l'onde sismique en entier dont le mouvement vibratoire est retransmis à la membrane du haut-parleur qui la joue acoustiquement. Dans le cas de l'induction électrique, que nous allons maintenant aborder avec les œuvres de Jean-Pierre Aubé et Christina Kubisch, le principe reste le même grâce à l'analogie de forme entre les ondes, qui constitue le principe même de l'audification, cette catégorie taxonomique technique de la sonification. Les ondes électromagnétiques, que révèlent ces œuvres, traversent l'air et vont être littéralement captées voire emprisonnées par des câbles de cuivres et transportées à la vitesse de la lumière vers un haut-parleur qui en amplifie le signal. Ces œuvres réalisent une part des vœux de Raoul Hausman : travailler à l'échelle de l'environnement où « dans la journée les transformateurs feront sonner l'atmosphère » (Hausmann, 1992, p.194).

5.4 VLF (2000-2004) à *Save the Waves* (2004) de Jean Pierre Aubé

5.4.1 Paysage

En écho à l'intuition de Douglas Kahn, c'est avec un projet d'éolienne, *Machines à récupérer le vent* (1999), que Jean-Pierre Aubé entame son parcours de paysagiste électrosonique. Avec cette œuvre, il transformait l'énergie du vent, saisie dans un paysage, en énergie électrique, qui à son tour mettait en marche l'éolienne exposée dans la galerie. La notion artistique de *paysage* marque le début de la pratique de Jean-Pierre Aubé et c'est à partir de cette catégorie des arts visuels qu'il a bâti son travail jusqu'à aujourd'hui. Si le Land Art, la musique électronique et l'art audio font partie de son bagage, c'est bien comme plasticien et comme vidéaste qu'il va aborder le son dans sa production. C'est la relation qu'il établit avec le paysage lors de ses grandes marches qui est à l'origine de son travail, et c'est comme photographe plutôt orienté vers ce qu'il appelle une « démarche documentaire » (Casemajor-Loustau, 2012) qu'il débute sa production artistique. À la fin des années '90, atteignant les limites du médium photographique (Bouchard, 2005), il éprouve la nécessité de s'orienter vers d'autres horizons tout en conservant certains acquis de sa précédente pratique. « Saisir quelque chose » du paysage constitue le geste élémentaire de son travail. C'est en 1999 qu'il découvre l'existence des « Natural Radios » VLF (Very Low Frequencies), grâce à l'écoute

du disque *Auroral Chorus* (1998) de Stephen P. McGreevy⁵⁹ (Aubé, 2013)⁶⁰. Si *VLF Natural Radio* (2000-2004) s'inscrit dans la longue mais pourtant récente histoire de l'audification des *ondes radio naturelles*, en revanche *Save the Waves*, produit en 2004, audifie les *ondes radios artificielles* produites par les technologies électriques de communication humaine. C'est la raison pour laquelle on parlera ici de ces deux œuvres, car si toutes deux audifient des ondes électromagnétiques de très basses fréquences, l'introduction de l'audification des *ondes radio humaines* introduit plus directement dans son travail des questions d'écologie politique.

5.4.2 Les ondes radios naturelles de très basses fréquences

Le terme composé de Natural Radio est l'appellation anglophone des *ondes radio naturelles très basses fréquences* (TBF)⁶¹. Elles ont été entendues pour la première fois en 1876 par Thomas Watson grâce au premier téléphone dont le câble fit office de capteur des VLF conduisant l'électricité vers l'électro-aimant du combiné faisant vibrer la lame dont l'amplification acoustique par le haut-parleur les rendit audibles (Kahn, 2013, p.28). Watson faisait là l'expérience de la première audification analogique par induction des ondes VLF sans bien savoir de quoi il s'agissait sinon d'interférences qui retinrent son intérêt pendant de longues années. Ce n'est qu'un an plus tard que John Pierce fit la corrélation entre les lumières aurorales qu'il perçut en même temps que certains sons "parasites" entendus dans le combiné téléphonique (Kahn, 2013, p.28). Il faudra cependant attendre les années 20 et 30 pour que les *whistlers* (les sifflements) et les *tweaks* (les grésillements) perçus dans les téléphones soient interprétés comme des sons issus de phénomènes atmosphériques. Et ce n'est qu'en 1953, après la Seconde Guerre mondiale et ses expérimentations atomiques, que L.R. Owen Storey expliqua dans sa thèse de doctorat ce qu'étaient les whistlers. " (...) les whistlers s'expliquaient grâce aux propriétés dispersives de la propagation à travers le plasma ionosphérique d'une impulsion électromagnétique : un éclair d'orage. L'énergie de l'onde est

⁵⁹ Le disque peut être écouté sur le site de l'auteur : <http://www.auroralchorus.com/> Consulté le 6 mars 2016. Les textes de McGreevy que l'on y trouve ont aussi été très utiles dans le cadre de cette recherche pour comprendre les VLF et leur histoire.

⁶⁰ Information issue d'une rencontre entre Lorella Abenavoli et Jean-Pierre Aubé le 20 août 2013.

⁶¹ TBF est le sigle francophone pour Très Basse Fréquence. Cependant, sa traduction anglophone, VLF pour Very Low Frequency, est aussi très utilisée. C'est celle qu'on gardera dans ce texte car elle renvoie aussi au titre de l'œuvre de Jean-Pierre Aubé.

guidée le long des lignes de force du champ magnétique terrestre, et ressort dans l'hémisphère opposé sous la forme d'un sifflement" (Beghin, 2011, p. 35). Autrement dit, à l'échelle de nos sens, les éclairs et les aurores polaires sont la part visible d'événements cosmiques dont la Terre est le siège et les ondes électromagnétiques naturelles VLF sont la propagation de moindre énergie de ces phénomènes atmosphériques qui ont été rendus audibles, accidentellement, grâce au plus gros dispositif d'audification jamais élaboré : les réseaux télégraphiques puis téléphoniques, dont les câbles capturaient les ondes électromagnétiques parfois traversant et parfois se réverbérant contre la ionosphère.

5.4.3 VLF Natural Radio (2000-2004)

Pour Jean-Pierre Aubé c'est en 1999 que les ondes électromagnétiques vont constituer la matière première de ses œuvres. *VLF Natural Radio* (2000-2004) s'inscrit ainsi dans la récente mais déjà foisonnante histoire de la sonification des ondes électromagnétiques. Pour les saisir il construit son propre dispositif avec lequel il expérimente l'audification *in situ*. Le principe technique est assez simple⁶². Il faut une antenne à induction (réalisé avec deux hula hoops renfermant des câbles de cuivre) qui fait office de récepteur des VLF, un transformateur électrique, un amplificateur et une sortie audio (Aubé, 2013).⁶³ Il effectue ses premiers enregistrements dans des contrées isolées en Laponie finlandaise puis sur les rives du Loch Ness en Écosse et enfin sur une île dans l'estuaire du fleuve Saint-Laurent, loin des parasitages des signaux électromagnétiques produits par les réseaux de télécommunication civils ou militaires. Si la source de ces ondes est localisable dans l'éclair ou l'aurore polaire, en revanche elles parcourent toute la magnétosphère se réverbérant sur la ionosphère et la Terre.

Au début de ce travail Jean-Pierre Aubé était à la recherche de la captation des whistlers générés par les aurores polaires. (Casemajor-Loustau, 2012). Une photographie, publiée à de nombreuses reprises, le montre en train de capter *in situ*. Cette image rappelle les thématiques des tableaux romantiques de Caspar David Friedrich : un homme seul au cœur d'un paysage

⁶² Un petit manuel extrêmement bien fait au sujet des VLF et de techniques partiellement DIY https://issuu.com/dantappersoundart/docs/vlf_guide_4_upload consulté le 21 mars 2016.

⁶³ Extrait d'un entretien entre Jean-Pierre Aubé et Lorella Abenavoli le 20 août 2013. De nombreuses explications techniques ainsi que de nombreux enregistrements sont désormais proposés sur internet.

hostile et grandiose. Sur cette photo on y voit la silhouette de Jean-Pierre Aubé qui tient une antenne au milieu d'un vaste paysage de glace (Fig. 5.13). Procédé où l'artiste témoigne de sa performance à la façon d'un Richard Long. Les diverses installations *VLF Natural Radio* exposées entre 2000 et 2004 de Jean-Pierre Aubé présentaient simultanément des montages vidéo exposant une vue panoramique "stéréo" (Fig. 5.14) en train d'établir un lent mouvement rotatoire à 360° ainsi que les enregistrements audio des VLF prélevés simultanément sur le

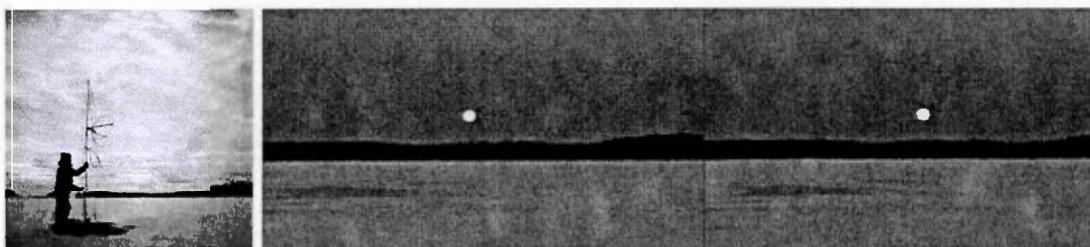


Fig. 5.13 (gauche) : *Capture de sons V.L.F. sur la Baltique* (2002). Jean-Pierre Aubé enregistrant les VLF sur la Baltique. Épreuve à développement chromogène montée sous plexiglas. Photo: Emmanuelle Léonard. Consulté sur le site de l'artiste : http://www.kloud.org/projet.php?id_projet=5
 Fig. 5.14 : *V.L.F. Natural Radio* (2000-2005) (14.08.2002 Saint-Jean-Port-Joli, Québec ; 21.12.2002 Jerisjärvi, Finlande; 10.07.2003 Meall Fuar-mhonaigh, Écosse) images tirées de la vidéo, Collection d'œuvres d'art de l'UQAM. Image fixe extraite de la vidéo montrant l'image « stéréo ».

site durant la prise sonore panoramique elle aussi (Fig. 5.15)⁶⁴. On entend les variations des ondes électromagnétiques dont les sonorités désormais bien décrites par les amateurs et spécialistes évoquent chants d'oiseaux, souffles oscillants, cliquetis. Ces saillances auditives baignent dans une profondeur de champs sonores qui évoquent sirènes et vies extra-terrestres. Bien qu'aspirant lors de cette œuvre à ne saisir que les ondes d'origine naturelles, Jean-Pierre Aubé perçoit déjà au sein de ces captations, les sonorités des émetteurs VLF de sous-marins russes ou de balises nord-américaines (Aubé, 2016)⁶⁵. En effet, si la découverte "accidentelle" des ondes radio naturelles très basses fréquence est advenue grâce au dispositif téléphonique, en retour la multiplication d'antennes, pilônes, réseaux électriques, signaux radio des télécommunication et réseau sans câble produisent de nombreuses ondes électromagnétiques qui occupent et traversent continuellement l'atmosphère interférant avec les ondes

⁶⁴ Fig. 5.15 : *VLF Natural Radio* (2002) Jean-Pierre Aubé. Vidéo réalisée en Finlande en 2002. Consultée sur le site de l'artiste <https://vimeo.com/6536339>

⁶⁵ Site de l'artiste : http://www.kloud.org/projet.php?id_projet=5 - consulté le 10 mars 2016.

"naturelles". Il lui fallut donc parcourir des territoires isolés pour saisir ces ondes dont l'histoire de l'audibilité aura d'ailleurs été de très courte durée au regard des interférences électromagnétiques technologiques qui en troublent désormais le signal. Cette "intrusion" d'ondes technologiques est l'occasion pour Jean-Pierre Aubé d'être fidèle à sa démarche documentaire et de rompre avec la figure romantique de *VLF Natural Radio*. Cela dit, ce titre, en reprenant l'appellation scientifique du phénomène, annonçait déjà une façon de placer son travail au sein d'un discours matérialiste. Dès 2004, il accueille ainsi ces ondes qui appartiennent désormais aux paysages électromagnétiques artificiels pour les incorporer comme matériau essentiel de *Save the Waves* (2004) et de toute sa production électrosonique ultérieure.

5.4.4 *Save the Waves* (2004)

Dans l'ensemble de l'œuvre de Jean-Pierre Aubé, *Save the Waves* (2004) a la particularité d'utiliser le son comme matériau prédominant de l'installation. Celle-ci fut exposée pour la première fois à la Fonderie Darling en 2004. S'il a conservé les mêmes récepteurs très basses fréquences que pour *VLF Natural Radio*, cette fois ils sont utilisés *in situ* et saisissent en *temps réel* les ondes électromagnétiques engendrées d'une part par le grand transformateur Hydro-Québec qui se situait en face du centre d'art, mais aussi celles des appareils électroniques de son installation à l'intérieur même de la galerie lors de la performance inaugurale⁶⁶ (☛ Fig. 5.16)⁶⁷. La fréquence dominante saisie est celle du réseau électrique Nord-Américain de 60Hz.

"*Save the Waves* dans une certaine mesure est assez simple; il s'agit de diffuser, d'amplifier un phénomène dans lequel on vit, dans lequel on est baigné mais qui est pratiquement imperceptible. On le perçoit pourtant lors des vibrations mécaniques de notre frigo par exemple qui vibre à 60Hz, notre micro-ondes aussi vibre à 60Hz, (...) et moi, ce que je fais avec mes récepteurs VLF, c'est de

⁶⁶ Ainsi, par exemple, dès qu'une lampe de bureau est branchée à la prise 220 V, elle est sous tension et elle crée donc un champ électrique autour d'elle. Dès qu'on l'allume, un courant la traverse et elle émet alors également un champ magnétique. Ces champs électriques et magnétiques sont de même fréquence que la tension et le courant qui les créent, à savoir le 50 Hz (ou 60 Hz en Amérique du Nord). <http://www.clefschamps.info/Ou-est-ce-qu-un-champ> Consulté le 23 mars 2016

⁶⁷ ☛ *Save the Waves* (2004) Jean-Pierre Aubé. Vidéo de la performance inaugurale à Fonderie Darling (Montréal, 2004). Consultée sur le site de l'artiste <https://vimeo.com/14486307>.

capter sous un mode d'ondes - c'est-à-dire non pas sous un mode mécanique, mais sous un mode électronique - c'est de capter ce phénomène là et de l'amplifier, de l'exagérer. C'est alors que le système *Save the Waves* vient jouer son rôle avec son dispositif octophonique avec une interface qui me permet d'intervenir un peu sur le signal (.....) en ne contrôlant que mon niveau sonore dans les 8 canaux, (il n'y a presque rien d'autre comme intervention), je crée une espèce "d'harmonique", je croise le 60Hz et mes différentes fréquences personnelles si je peux dire – comment je sens, comment j'organise la diffusion autour du système".⁶⁸ (Robert et Morin, 2005)

Aubé installe 4 antennes VLF dans la galerie qui sont connectées à un premier ordinateur qui reçoit les données. Sur le plan de l'audification Jean-Pierre Aubé développe surtout dans cette œuvre le 3^e pôle du *Schéma du dispositif de sonification : l'espace auditif* et ses modalités de diffusion. Il a construit son système audio pour l'espace de la Fonderie Darling. D'une étendue de 550m² et de plus de 11m de haut, les murs et le sol sont en béton armé, ce lieu devient une caisse de résonance avec pour noyau cet imposant émetteur cylindrique octophonique suspendu (fig. 5.17 et 5.18) fait de 24 haut-parleurs rayonnants dont les sons directionnels⁶⁹ en se réfléchissant sur les immenses parois engendrent un placenta acoustique immersant par lequel Jean-Pierre Aubé donne à percevoir les ondes électromagnétiques. Ce système octophonique est relié à une carte son et un ordinateur lui permettent de jouer lors de

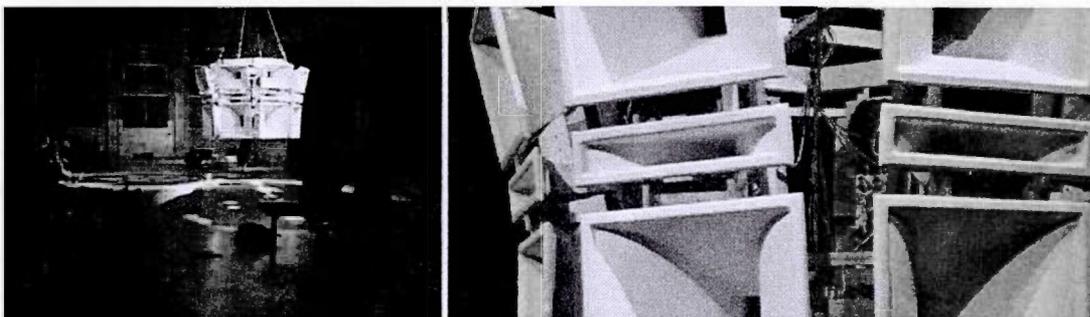


Fig. 5.17 (gauche) : *Save the Waves* (2004) Jean-Pierre Aubé. Photographie de l'installation extraite de la vidéo de la performance inaugurale à Fonderie Darling (Montréal, 2004). Consultée sur le site de l'artiste <https://vimeo.com/14486307>.

Fig. 5.18 (droite) : *Save the Waves* (2004) Jean-Pierre Aubé. Détail. Système de diffusion octophonique fait de 24 haut-parleurs

⁶⁸ Robert, J. et Morin E., 2005, *Degré d'hybridité, Regard sur le mois multi 6*, OHM éditions, Québec (Québec). Extrait de l'entrevue avec Jean-Pierre Aubé, du DVD faisant partie de la publication.

⁶⁹ *Ibid.*

la performance inaugurale, grâce à la spatialisation circulaire, avec le déplacement ondulatoire du son dans l'espace (■ Fig. 5.16). De plus, Aubé joue avec la fréquence sonore dominante de 60Hz et la diffusion circulaire qui peut aller jusqu'à 60 tours/seconde (ou autre variation). Lorsque la spatialisation circulaire rejoint la vitesse des ondes sonores, on entend alors des harmoniques qui se déploient dans l'espace de la Fonderie Darling. Cette stratégie formelle ne relève cependant ni de l'audification, ni de la sonification par mise en correspondance au sens strict mais d'un façonnage de la matière sonore.

5.4.5 Des technosciences à l'art

On peut se demander, parfois avec le public, ce qui différencie l'œuvre d'art de l'artefact scientifique. En faisant apparaître l'invisible paysage technologique que nous traversons et qui nous traverse en retour, Jean-Pierre Aubé ne fait pas que rendre audibles les ondes artificielles VLF. Outre le jeu d'amplitude et de spatialisation, il accorde aussi une valeur à cet "objet" résiduel, à ces restes technologiques. L'attention qu'il porte à la façon de recueillir ces sources en construisant ses propres capteurs, la façon dont il travaille les sons en exacerbant dans *Save the Waves* (2004), grâce à son dispositif octophonique, les nuances de ce matériau *a priori* ingrat, sont autant de gestes qui placent ce travail du côté de l'art. Par ailleurs, en refusant le filtrage, en affirmant la monochromie de cette matière minimaliste, en exposant le bruit de l'industrie électromagnétique du réseau Nord-Américain, il prend position artistiquement.

Quand j'ai construit mon récepteur VLF, quand j'ai branché mon hula hoop et que j'ai entendu le "hum" [sic] électrique au lieu d'entendre les aurores boréales, la première fois ça m'a surpris. Pour moi, ça sonne comme une expérience de musique expérimentale des années 70. (...) Sauf que je suis un artiste en art visuel, je suis un paysagiste, j'ai un rapport à la représentation (...) et je suis surtout documentariste. Mon approche de la photographie m'a appris à montrer des choses avec un certain rapport documentaire. Donc ma musique électronique n'en est pas une, au sens où j'essaie de garder la source des données avec tout leur sens. Pour moi c'est ça qui est important. (Casemajor-Loustau, 2012)

"J'essaie de garder la source des données avec tout leur sens" : transduire sans trahir, audifier sans idéaliser, exposer ce qui est donné dans sa triviale expression semble être une approche propre à une famille de plasticiens qui explorent les mondes imperceptibles grâce à

l'audification. Le plasticien conserve ici une relation indicielle⁷⁰ avec son objet dont le son constitue le médium, révélant dans *Save the Waves* notre paysage technologique atmosphérique, fait de temporalités inquiètes.

Dans l'introduction d'un article consacré au travail de Jean-Pierre Aubé, Louise Déry⁷¹ parle de "souillure", de "pollution" à propos de ces productions électromagnétiques humaines aux sources de son œuvre. Or ce qui me semble faire la force du travail d'Aubé, c'est justement le fait que l'œuvre ne produise pas un discours moraliste. D'ailleurs il expose assez clairement sa position.

" La représentation qu'on en a [de la nature] est héritée du paradigme chrétien de la nature originelle qu'il faudrait retrouver, ou de la philosophie occidentale qui nous pose d'emblée dans un rapport d'extériorité à la nature. Ce sont des débats moraux, et on les retrouve dans beaucoup de discours écologistes actuels. Comme artiste, mon but n'est pas d'avoir une position écologiste pour faire de l'art caritatif, mon but, en quelque sorte, ce serait de jouer sur la définition de la nature. La "radio naturelle" c'est un antagonisme qui semble ne pas pouvoir exister et pourtant ça existe. C'est contradictoire par rapport à notre définition de la nature. Pour moi il y a un enjeu là-dedans." (Casemajor Loustau, 2012)

Ici l'œuvre d'art questionne. Il semble pertinent d'évoquer l'écologie à propos du travail de Jean-Pierre Aubé dans la mesure où son premier acte écologique concerne son art : accueillir ce qui advient, ne pas forcer ni entamer la forme qu'il découvre, donner à entendre le monde sans *a priori* et sans idéalisation. L'œuvre est amoral et c'est sa polysémie qui légitime sa place dans la communauté. À cet égard *Save the waves* est une œuvre radicale et exemplaire d'une audification plastique.

⁷⁰ On comprend que cette relation indicielle est bien différente de celle utilisée par Jens Brand dans GP4 ou Mary Sherman dans Delay par exemple. Parler d'une relation indicielle à propos d'ondes qui plus est d'ondes imperceptibles par les sens c'est osé. Mais la connaissance devenue intuitive de la transduction analogique permet cela.

⁷¹ Dery, Louise, 2015, *Jean-Pierre Aubé, debout devant le ciel* in Spirale, arts, lettres et sciences humaines, 245 automne 2015

5.5 *Electrical Walks* (2004-2013) Christina Kubisch

On retrouve une affinité matérielle dans l'œuvre *Electrical Walks* (2004-2013) de Christina Kubisch, qui explore une variété infinie d'ondes électromagnétiques produites par notre réseau et nos technologies électriques. Cependant la forme de son œuvre et l'expérience qu'elle induit ouvrent d'autres horizons.

5.5.1 Un dispositif mobile

Au regard de la question initialement posée par cette recherche, quant à la faculté du son de produire des images, *Electric Walks* de Christina Kubisch est exemplaire. Bien qu'elle travaille avec des sources très similaires à celles de *Save the Waves* de Jean-Pierre Aubé, cette œuvre introduit ici des modalités de diffusion qui apportent une nouvelle dimension à l'audification et aux œuvres déjà visitées jusqu'à présent. Il s'agit d'une promenade sonore, pratique que l'on inclut ici dans les pratiques installatives⁷², qui a été réalisée dans de très nombreuses villes du monde depuis 2004 et qui a grandement participé à rendre populaire le travail de Christina Kubisch. La dimension performative de l'œuvre *par* le public y est fondamentale. J'ai expérimenté pour ma part *Electrical Walks* en septembre 2008 à Montréal, où l'œuvre était accueillie sous les auspices d'Oboro et du Goethe Institute où l'on se rendait pour emprunter un "casque audio préparé"⁷³ et un plan de la ville réalisés par Kubisch (Fig. 5.19, 5.20 et 5.21), avec lesquels on repartait en suivant à notre guise le parcours proposé.

5.5.2 Mirage ou comment les oreilles donnent à voir

⁷² Les promenades sonores ont pris un essor considérable ces dernières années. Max Neuhaus fut l'un des premiers à pratiquer cette nouvelle forme et à l'affirmer comme un acte artistique, avec la "pièce" LISTEN (1966) New York. Là encore les formes sont multiples et le parti pris radical : l'idée n'étant pas de produire un "objet" mais de saisir par l'écoute l'œuvre du quotidien. Souvent les promenades sonores sont pratiquées sans aucune prothèse, seul un artiste fait office de guide à un groupe de personnes. (Eric Leonardson, Gilles Malatray, Andra McCartney). Je parle d'installation à propos du travail de Christina Kubisch car elle a construit un dispositif mobile en vue d'explorer les villes qui, elles-mêmes, dans ce contexte, constituent l'espace à explorer, une installation *in situ* à l'échelle 1/1. Cette inclusion est discutable mais l'un des intérêts de cette œuvre est aussi d'aborder une forme d'interactivité et d'ouvrir avec elle une nouvelle dimension de la pratique de la sonification.

⁷³ J'utilise ce terme en référence ici à l'histoire des instruments préparés inaugurés par Cage. Aussi, il s'agit de fait, d'un casque audio qui incorpore un dispositif d'audification.

Ces écouteurs, *dispositifs mobiles*, donnent à entendre en temps réel les ondes électromagnétiques imperceptibles de l'espace urbain que l'on traverse. Une autre ville apparaissait alors soudainement. On entendait dans le casque des crépitements plus ou moins intenses, faisant émerger un paysage et un environnement insoupçonnés. Des nuées de

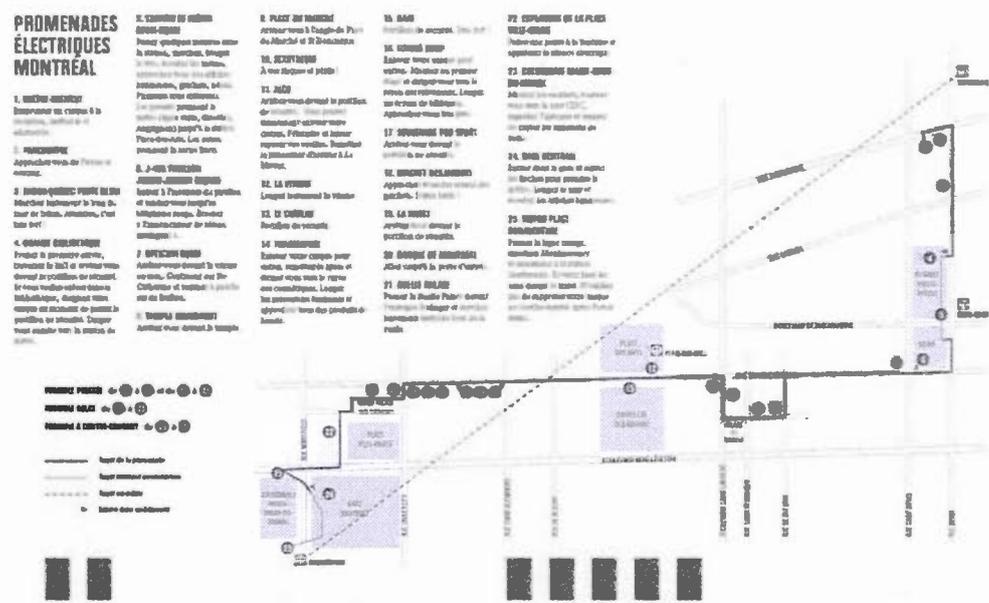


Fig. 5.19 : *Electrical Walk* (2008) Christina Kubisch. Plan de Montréal.



Fig. 5.20 (gauche) : *Electrical Walks* (2006) Christina Kubisch. Écouteurs, Ikon Gallery, Birmingham⁷⁴ July 25-October 1, 2006

Fig. 5.21 : *Electrical Walks* (2006) Christina Kubisch. Détail d'un casque audio.

⁷⁴ <https://ikon-gallery.org/event/electrical-walks/> Consulté le 30 mars 2016

particules sonores, produisant pourtant des images mentales visuelles, apparaissaient puis s'amenuisaient en fonction de mes déplacements. La stimulation du canal auditif, sens privilégié par le port du casque, nous faisait découvrir un paysage auditif en *temps réel et in situ*, donnant naissance à des volumes vaporeux, parfois denses comme un brouillard épais, parfois rare comme une rosée, que je traversais et qui se superposaient de façon imprévisible avec la ville existante, tout au moins, avec la ville que je connaissais jusque là. Je me déplaçais non plus au regard de l'ordre visible - les trottoirs, les rues, les immeubles - mais au profit d'une quête acoustique m'immergeant dans ces bancs de particules bourdonnantes.

5.5.3 L'induction comme pratique artistique

Le principe d'induction évoqué à propos des câbles télégraphiques et du téléphone à l'origine de la perception des ondes radios naturelles est celui avec lequel Christina Kubisch travaille depuis la fin des années 70. Là encore c'est le téléphone qui déclenche l'expérience heuristique qui marquera toute sa production.

"One day I bought a telephone amplifier, a little cube that you could put next to your telephone so that you could hear it without having receiver in your hand. The cube was switched on, and when I came into the laboratory, it started to make really strange sounds in my handbag. I took it out and asked my professor what was going on. He explained to me that there were coils in this little cube, and that they picked up some of the machine in the room. It was like a flash in my mind. It was exactly at the time when I wanted to get away from performance and start producing installations." (Cox et Kubisch, 2006).

Elle intégra ce principe dès sa première installation *Il respiro del mare* (1980)⁷⁵ construisant son premier système sonore à induction magnétique. Le public était alors équipé d'un "petit cube" muni d'un amplificateur permettant ainsi d'entendre les sons enregistrés qui circulaient à l'intérieur de câbles tendus dans l'espace de la galerie (Titel, 2009, p.61). Les sons phonographiques, instillés dans les câbles, diffusaient d'une part les sons de la mer et d'autre part ceux de souffles que l'on ne pouvait entendre qu'à la condition d'en approcher le cube qui "captait" à travers l'air les ondes électro-magnétiques empreignant la forme des flux phonographiques circulant dans les fils de cuivre.

⁷⁵ Christina Kubisch, *Il respiro del mare*, 1981, Capo d'Orlando, Sicile

Une décennie plus tard, elle introduit les écouteurs comme dispositif mobile à destination du public, tout en conservant la mise en place de câbles ou de fils conducteurs avec lesquels le visiteur joue. Et c'est à la fin des années 90 qu'elle met au point des écouteurs assez performants pour rendre audibles la profusion et la variété des ondes électromagnétiques qui grouillent dans la ville, les faisant ainsi apparaître à notre perception. Elle décrit ainsi le fonctionnement de ses haut-parleurs :

"Every current in an electrical conductor—for example a wire or a cable—generates an electromagnetic field. These currents can be “musical,” like the signals running through loudspeaker cables; or they can come from electrical activity in the infrastructures of buildings or cities. The magnetic component of these fields is picked up by the sensor coils in the headphones. And, after amplification, these signals are made audible by the little speaker systems in the headphones." (Cox et Kubisch, 2006).

5.5.4 Image-Son-Temps-Espace

Il s'agit donc du même principe de transduction par induction que dans *Save the Waves*, sauf qu'ici le système de diffusion est mobile et totalement immersant⁷⁶; nous savons que nous sommes en train de traverser ce que nous entendons et que ce que nous entendons nous traverse, physiquement et esthétiquement. La faculté du son à produire des images, expérimentée comme public dans l'œuvre de Kubisch, confirmait cette faculté du sonore au sein de la pratique de l'audification. Lors de cette expérience, ce n'est pas tant la nature des sons qui m'a marquée mais plutôt leur faculté à construire et faire apparaître un nouveau paysage à l'échelle de la ville, à stimuler et engendrer des images quadridimensionnelles. Si ce ne sont pas les "couleurs" des sons que j'ai écoutées pour elles-mêmes, ce sont quand même leurs nuances, leurs éclats, leurs masses qui ont construit les variations de ce paysage. Cela confirmait la fonction du son comme médium, au sens plastique du terme, au sein de l'audification. De ce point de vue l'œuvre de Kubisch est plus effective que celle d'Aubé. La perception qui s'élabore grâce à une appréhension psychomotrice et expérimentale active produit une connaissance, c'est-à-dire littéralement la naissance d'un savoir qui s'actualise au

⁷⁶ J'emprunte ce terme à Bernard Andrieu in Bernard Andrieu (dir.), 2014, *Arts immersifs, dispositifs & expériences*, Figures de l'art #26, Revue d'études esthétiques, Pau, Presses de l'Université de Pau et des pays de l'Adour, 492 p. (<http://archee.qc.ca/ar.php?page=article&no=489> - cité dans l'article de Louise Boicclair, consulté le 10 mai 2016.

rythme de notre expérience sensori-motrice. La rencontre des temporalités ondulatoires engendrées par le son audifié avec notre temporalité individuelle produit bien une individuation, pour reprendre le terme de Simondon (Simondon, 1989)⁷⁷. C'est bien la 3^e phase du dispositif d'audification, c'est-à-dire les modalités de diffusion de *l'espace auditif*, qui rend cette œuvre unique. La technologie utilisée date du 19^e siècle, en revanche le paysage qu'elle révèle et qu'elle construit, est le paysage du présent hyper-saturé d'énergies électromagnétiques. Expérience individuelle et collective, cette œuvre investit et questionne elle aussi l'espace urbain, écologique et politique dans une ambivalence propre à l'art que Kubisch exprime ici clairement :

I have always been critical toward the way that people deal with technology and have made many pieces about the relationships between nature and technology. But I never point a finger and say, "This is bad" or "This is good." I'm more interested in having people recognize what's around them by doing it themselves. I could tell everyone that I think it's bad. But that wouldn't be an *experience*. It would just be didactic. On the other hand, this stuff is very fascinating as well." (Cox et Kubisch, 2006).

Cela dit l'économie et l'écologie de l'œuvre, au sens d'une relation équilibrée entre la dépense d'énergie et le gain poétique, est optimale au regard des dispositifs numériques immersifs que nous connaissons et en cela aussi l'œuvre de Kubisch est exceptionnelle.

Les deux prochaines œuvres, *La Harpe à nuages* (1997-2000) et *SIGNE* (2008) appartiennent *a priori* elles aussi aux *électrosoniques* dont les sources ne relèvent pas des ondes électromagnétiques mais du domaine de la météorologie c'est-à-dire des phénomènes atmosphériques tels que les nuages, les vents, les précipitations que la conjugaison de nos sens nous permet de percevoir assez immédiatement contrairement aux ondes électromagnétiques évoquées précédemment. En revanche, ce qu'elles ont en commun d'avec les sources de *VLF* et d'*Electrical Walks* c'est la nature fluide, temporelle et complexe de leur forme. Le son et la sonification deviennent pour Reeves et Heimbecker une pratique qui va renouveler la figurabilité de ces phénomènes qui, contrairement aux ondes

⁷⁷ Je fais référence à la notion d'individuation chez Simondon, qu'il développe dans de nombreux ouvrages et particulièrement dans celui-ci : Simondon, Gilbert, 1989, *L'individuation psychique et collective à la lumière des notions de forme, information, potentiel et métastabilité*, Aubier, Paris.

électromagnétiques, sont depuis au moins l'antiquité, la source d'une longue histoire sonore, celle des instruments éoliens.

5.6 *La Harpe à nuages* (1997-2000) de Nicolas Reeves ou la forme du chaos



Figure 5.22 : *La Harpe à Nuage* (2006) Nicolas Reeves cadre *francoffonies ! Québec_numériQ* Théâtre du Châtelet à Paris, France. Photo : Lorella Abenavoli

En 1999, lors de ma première résidence artistique, je travaillais à la mise en œuvre du *Souffle de la terre*, au Métafort d'Aubervilliers. En surfant sur le net, je découvris alors l'existence de *La Harpe à Nuages* de Nicolas Reeves. Outre l'enthousiasme provoqué par l'idée du projet, cela m'assurait que les orientations artistiques auxquelles j'aspirais trouvaient un écho chez d'autres artistes. À l'occasion d'un séjour de travail à Montréal en 2004, je rencontrai son auteur et l'année suivante nous collaborions à l'œuvre sonore *Nox Mater, Étude pour muons et silences*⁷⁸. En tant que public, je n'ai expérimenté *La Harpe à nuages* que de nombreuses

⁷⁸ *Nox Mater, Étude pour muons et silences* (2007) L. Abenavoli et N. Reeves Festival @rtOutsider, Maison Européenne de la photographie, Paris. Commissariat Jean-Luc Soret, est une installation sonore qui utilise la sonification par mise en correspondance, pour révéler l'arrivée de particules cosmiques de haute énergie, les muons, imperceptibles objets célestes qui nous traversent à chaque instant.

années plus tard, lors de son exposition à Paris en 2006⁷⁹. Si le principe de sonification de *La Harpe*⁸⁰ était le même que lors de sa première réalisation en 1997, en revanche de nombreux éléments différaient des versions antérieures.

La Harpe exposée au Théâtre du Châtelet en 2006⁸¹ était constituée de trois éléments majeurs: le buffet en marqueterie (fig. 5.22), le laser invisible pointé vers le ciel (fig. 5.23) et



Fig. 5.23 : Représentation de la localisation de *La Harpe à nuages* (1997-2000) à Paris en 2006 au Théâtre du Châtelet. Photomontage : Lorella Abenavoli. Les ondes circulaires représentent l'émanation des sons de *La Harpe* située sur la terrasse du Théâtre, la ligne verticale évoque le laser, et la tache verte le point de rencontre entre le laser et le nuage.

⁷⁹ Cette œuvre fut présentée dans le cadre *francoffonies ! Québec_numériQ* Théâtre du Châtelet à Paris en septembre 2006. Les artistes : Khrystell Burlin, Gonzales et Ninja Pleasure, Avatar (Diane Landry, Émile Morin et Jocelyn Robert), Édouard Lock, Thomas McIntosh avec Mykko Hynninen et Emmanuel Madan, Jean Piché, Purform (Yan Breuleux et Alain Thibault), Ray-XXXX, Nicolas Reeves, et les DJ et VJ de la SAT -Société des Arts Technologiques de Québec. Production : Epidemic Direction artistique : Richard Castelli

⁸⁰ *La Harpe* sera parfois utilisée à la place de *La Harpe à nuages*.

⁸¹ *Ibid.*

les sons de l'instrument. Le défi artistique était difficile : placée en surplomb de l'un des sites les plus grandioses de la capitale, faisant face tout à la fois au Théâtre de la Ville, à la Tour Saint-Jacques, à la Seine et à l'Île de la Cité, *La Harpe* devait rivaliser avec ce contexte monumental. Cependant la terrasse privilégiait notre relation au ciel tout en dominant le cœur de la ville. Cette position géographique répondait aux aspirations de Nicolas Reeves et de fait, à la tombée du jour, nous étions situés entre l'étendue du ciel urbain et la clarté électrique et minérale de la ville à nos pieds, la musique de *La Harpe* nous reliant aux courants célestes. Une musique hésitante, caressante, faite de timbres ténus et longs, sorte de traînées sonores parsemées de tintements campanaires tout à la fois baroques et frêles, ces sonorités faisaient écho aux quelques cirrus élevés qui voguaient doucement au dessus de nos têtes.

5.6.1 *L'Harmonis mundi* de Johannes Kepler : un premier modèle de sonification

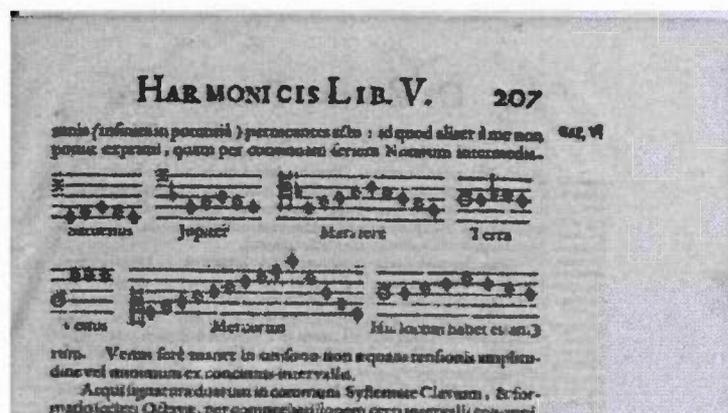


Fig. 5.24 : Extrait d'une page de l'*Harmonices mundi libri V De motibus planetarum* (Cap. VI) p.207 de Johannes Kepler (1619)⁸² sur laquelle on voit les extraits de partitions correspondant aux séquences des rotations des sept planètes autour du soleil. Immédiatement sous les partitions il est intéressant de noter le commentaire de Képler qui évoque le mouvement uniforme de Vénus autour du soleil, justifiant ainsi sa séquence unitonale.

Avant que le titre définitif de *La Harpe à nuages* ne s'impose, Nicolas Reeves avait aussi nommé son instrument *La Harpe képlérienne* (Nourry, 2008, p.155), faisant référence à

⁸²Illustration extraite du fonds numérisé de la Bibliothèque Nationale de France accessible en ligne sur son site : <http://images.bnf.fr/jsp/index.jsp>, consulté le 15 mai 2016

l'Harmonis mundi de Johannes Kepler⁸³, traité scientifique décisif démontrant la géométrie héliocentrique de notre système solaire. Kepler est considéré par l'ICAD comme l'un des précurseurs de la sonification telle qu'on l'envisage aujourd'hui (Grond et Schubert-Minski, 2009, 285).

Comme presque tous les astronomes depuis Pythagore, Kepler est aussi musicologue. Dans le cinquième chapitre de son *Harmonis Mundi* dédié à la musique, dans la lignée de ses prédécesseurs qui raffinent l'hypothèse initiale de Pythagore concernant l'harmonie des sphères⁸⁴, il complexifie les correspondances entre planètes et sons, en associant ces derniers à deux paramètres : la vitesse et la distance de leur trajectoire elliptique autour du soleil produisant ainsi une séquence de notes fondées sur leur mouvement (fig. 5.24). Si Pythagore, au Ve siècle avant notre ère, prend pour point de départ les notes de la gamme qu'il fait correspondre aux planètes qui errent autour de la Terre⁸⁵, Kepler quant à lui, s'appuie sur les lois de la physique qui énoncent que tout objet en mouvement doit produire des vibrations acoustiques, pour en déduire que les planètes doivent certainement produire un son lors de leur déplacement. Le son en question, au regard des lois de l'harmonie du monde, est forcément un son musical issu de la gamme. C'est ainsi que notre système solaire devint une partition en mouvement précédant de quelques siècles l'usage de la sonification céleste en

⁸³ Nicolas Reeves a évoqué ses sources lors d'une table ronde internationale organisée par Avatar à Québec en 2011, intitulée *Échographies des œuvres en art audio et électronique* est une table ronde qui se tenait les 4 et 5 février 2011 au Cercle de Québec. Sous la direction de Lorella Abenavoli.

⁸⁴ On parle ici d'harmonie des sphères et non de musique des sphères. Le terme d'harmonie renvoie à la notion d'ordre et la musique est le modèle suprême de cette harmonie. Lorsque Pythagore invente le système de mesure des sept notes musicales à partir de l'expérience du monocorde, il établit une correspondance entre les mesures de ces notes et celles des sphères entourant la Terre, en attribuant à chacune d'entre elles une note. Ces correspondances, dans le contexte d'une recherche de l'harmonie du monde, est le point de départ d'une longue et très complexe histoire entre musique et cosmos, liée par la numérisation du monde. Ce qui est encore plus fascinant c'est que cette métrique musicale sera étendue à travers le nombre Phi (φ) (ou le nombre d'or) à l'ensemble des arts jusqu'au XXe siècle.

⁸⁵ Je renvoie ici le lecteur au premier traité d'harmonique musicale de Nicomaque de Gérase (déjà cité dans le chapitre 1, p.18-19), qui décrit longuement et très clairement, selon une procédure et une conception déjà assez complexe, la façon dont Pythagore associa les sept notes de la gamme musicale aux sept sphères sur lesquelles étaient suspendues les planètes du ciel de la Grèce pré-socratique. Gérase, Nicomaque de, (2e siècle) *Manuel d'harmonique et autres textes relatifs à la musique*. Dans Ruelle Charles-Emile (traducteur), 1880, *Annuaire de l'Association pour l'encouragement des Études Grecques en France*.

musique⁸⁶. Bien que la sonification de Képler n'ait pas été rendue audible (Grond et Hermann, *AI&Society*, 215), elle n'en reste pas moins un modèle dans lequel Nicolas Reeves entrevoit une filiation avec son propre projet.

Nicolas Reeves reprend à son compte cette approche des correspondances, en la transposant cependant à la géométrie multi-fractale contemporaine qui définit la forme des nuages. Sa première décision, à l'instar de Pythagore et non de Kepler, fut de faire correspondre l'altitude des nuages à la hauteur des sons. Et bien qu'il trouve son modèle intellectuel au sein des théories contemporaines du chaos, de la complexité et de l'information il maintient comme référent de son vocabulaire sonore le système musical de la gamme.

5.6.2 La géométrie des nuages

Il nous faut tout d'abord définir avec Nicolas Reeves ce que signifie "la forme d'un nuage" ainsi que la notion d'une « géométrie du nuage », termes utilisés par l'auteur, qui constituent une question nodale à deux titres. D'abord pour être capable de comprendre les correspondances entre les nuages et les sons il faut établir les paramètres issus des dimensions qui définissent le nuage. Ensuite pour comprendre comment les dimensions temporelles redessinent les notions de formes en art. En effet, comme sculpteur, la notion de forme me semblait ébranlée, dans le cadre de la sonification, par l'inclusion de la dimension temporelle. Lors d'une rencontre j'interrogeais donc Nicolas Reeves sur la notion de forme. Quelle était la forme d'origine, quelle était la forme du nuage qu'il retenait pour produire la forme sonore de son œuvre? Cette notion de forme lui était-elle familière dans le contexte de son travail?

Il est exact que depuis très longtemps on postule l'existence de lois physiques qui agissent sur la matière... l'idée que la transformation des formes visibles soit déterminée ou contrôlée par des figures qui sont imperceptibles mais qui ont tout de même une forme au sens abstrait du terme... cette idée là est très présente et c'est que Ivar Ekeland [1987] appelait *Les Figures du temps*. C'est-à-dire qu'une loi physique a une forme. Cette loi peut être représentée de différentes manières mais la stabilité n'est

⁸⁶ On pense ici à l'œuvre de Gérard Grisey, *Le noir de l'étoile* qui est construite à partir de la vitesse de rotation d'une supernovae, dont le cycle est sonifié en temps réel lors des concerts qu'il a réalisés avec les percussions de Strasbourg.

plus dans la forme physique proprement dite mais dans la loi qui détermine la forme physique. Et le travail de la science depuis très longtemps est de chercher la permanence ou les persistances en arrière des changements apparents du monde. "Qu'est-ce qui est stable dans le mouvement des planètes par exemple? Ce n'est pas la position des planètes à proprement parler, c'est un principe de l'univers" (...) Alors cette idée qu'il existe quelque chose de stable en arrière de la modification de l'apparence des nuages qui permet de déterminer la géométrie des nuages c'est un changement de paradigme, ça ne s'applique pas simplement aux nuages mais à l'ensemble des systèmes complexes." (Reeves, 2011b)

Ainsi la forme telle que l'envisage Nicolas Reeves renvoie à une, voire à plusieurs lois physiques qui décrivent les métamorphoses du nuage. De quelles lois s'agit-il? Et comment ces lois abstraites et parfois absconses pouvaient-elles être à l'origine d'une œuvre? Il nomme ici la géométrie, celle des nuages, qui semble, indique-t-il dans un autre extrait, un oxymore. Il est vrai que le terme de géométrie, évoquant étymologiquement "la mesure de la Terre", nous rappelle le sol, le référent stable, à partir duquel on établit les mesures⁸⁷. Dans l'imaginaire commun il désigne encore la géométrie euclidienne et ses formes cristallines et régulières que l'on peut tracer sur un tableau noir. Mais le nuage se meut, se métamorphose, se transmue en eau, en glace ou en brume, disparaît pour renaître ailleurs, plus tard. Quels sont les référents qui permettent d'en bâtir sa géométrie, une géométrie du mouvement? Comment Nicolas Reeves définit-il la géométrie du nuage?

Moi j'utilise le terme de géométrie pour décrire n'importe quel système qui permet de repérer les événements et les phénomènes. Donc métaphoriquement c'est un système d'adresse : où et quand se passe cet événement et ce phénomène et comment je peux rendre compte de son évolution en caractérisant sa position à l'intérieur du système. Il y a des géométries qui n'ont plus grand chose à voir avec la mesure. Si par exemple je fais un graphe, avec une mesure de l'état de l'atmosphère, en mettant l'abscisse : la pression et l'ordonnée : la température, je peux définir une distance entre deux états de l'atmosphère parce que je l'ai transformée en une forme de géométrie, mais cette distance là n'a rien à voir avec une métrique. (Reeves, 2011b)

Il s'agit donc d'envisager des "dimensions" qui définissent l'objet étudié. Ces dimensions ne renvoient pas à une "mesure" au sens d'une distance au regard d'un référent géographique.

⁸⁷ Voir l'essai de Michel Serres concernant les origines de la géométrie et ses incidences sur l'ensemble de la structure sociale. Il place les origines de la géométrie au cœur du Nil, lorsqu'après chaque crue il fallait réattribuer un lopin de terre aux agriculteurs. Serres, M. (1993). *Les origines de la géométrie tiers livre des fondations*. Paris : Paris Flammarion.

Cependant, en définissant des "dimensions" telles que la pression ou la température de l'atmosphère, on définit bien des mesures au regard d'une échelle de référence, dans ces cas-ci la température en degrés Celsius ou en Kelvin et la pression en Bars ou en Pascals⁸⁸. C'est ici que commencent la définition de la "forme du nuage" et sa complexité.

Ce qui déclenche la conception de *La Harpe à Nuage* c'est la photo d'un nuage prise par satellite qu'Anthony Davis, ami physicien de Nicolas Reeves, lui transmet. Lorsqu'il découvre cette photo, la dimension multi-fractale fait partie, depuis plusieurs années déjà, du vocabulaire de la recherche formelle de Nicolas Reeves. Comme architecte-chercheur, la dimension multi-fractale s'impose lors de son étude de la structure des bidonvilles dans les années '90. Cela le conduit à concevoir un outil d'analyse des morphologies urbaines exploitant dès lors la géométrie multi-fractale. Ensuite il transformera son outil d'analyse en outil de production et élaborera ainsi des formes architecturales programmées, qu'il appellera architectones⁸⁹, issus de processus algorithmiques génératifs. La musique, quant à elle, entre dans son processus de production en 1996, lorsqu'il rencontre le musicien Alain Jaffrenou qui travaille aussi sur des algorithmes afin de générer de nouvelles musiques. Nicolas Reeves envisage alors la partition musicale comme un programme⁹⁰ pour un projet d'architecture génératif. Il réalise alors ses premiers architectones stéréolithographiques élaborés à partir de partitions musicales. Quand son ami Anthony Davis lui envoie en 1996 cette photographie satellite de nuages et les fichiers numériques qui décrivaient l'évolution du stratus, il imagine aussitôt le transfert de cette géométrie multi-fractale, qui décrit le nuage, comme partition pour une composition musicale générative. En fait c'est l'ensemble du dispositif météorologique qui inspira alors Nicolas Reeves : le laser qui s'élève vers le ciel et sonde les nuages jusqu'aux fichiers numériques qui en révèlent la géométrie évolutive. Une géométrie issue d'un phénomène naturel et non plus d'un algorithme programmé ou d'une partition musicale pré-écrite. Cette géométrie "naturelle" est l'élément décisif. Immédiatement il

⁸⁸ Le terme de dimension ne sera pas toujours utilisé dans ce texte pour désigner les deux, trois ou quatre dimension de la géométrie euclidienne mais plutôt pour parler des diverses variables choisies pour la sonification.

⁸⁹ En référence aux architectones de Kasimir Malevitch.

⁹⁰ dans les deux sens : architectural et informatique.

envisage cette structure multi-fractale du nuage comme une partition potentielle pour la composition d'une musique.

5.6.3 Mise au point : paramétrage de *La Harpe à Nuages*

Concernant le dispositif technique on peut le décrire comme deux ensembles inter-reliés. D'une part le capteur constitué par le laser et le télescope et d'autre part le générateur de sons constitué de trois modules programmatiques. Ces deux cœurs du traitement et de la production de l'information sont localisés au même endroit : dans le buffet de *La Harpe* même.

5.6.3.1 Le capteur

Le laser infrarouge est couplé à un télescope. Ce système couplé de captation s'appelle le LIDAR, contraction de Light et de RADAR⁹¹. Le premier fonctionne comme le laser d'un disque compact. Il s'enfonce dans la profondeur du ciel et va caresser la surface des nuages; le rebond de la lumière sur les nuages, va transmettre au second, le télescope, l'information concernant deux dimensions : la densité et l'altitude. C'est à partir de ces données que Nicolas Reeves va extraire les paramètres qui feront "chanter *La Harpe*". Ils seront alors transformés en données qui serviront à leur tour à générer la partition de *La Harpe* en temps-réel. Nicolas Reeves en donne quelques exemples :

Un des paramètres qui nous intéresse, c'est le nombre de couches de nuage. On peut capter jusqu'à quatre couches de nuages et avoir l'altitude des trois premières. Comment capte-t-on ces trois couches de nuages? Au lieu de recevoir un seul écho de la première couche de nuage, on en reçoit trois. Encore une fois c'est une mesure d'altitude qui va nous donner les trois couches de nuages.

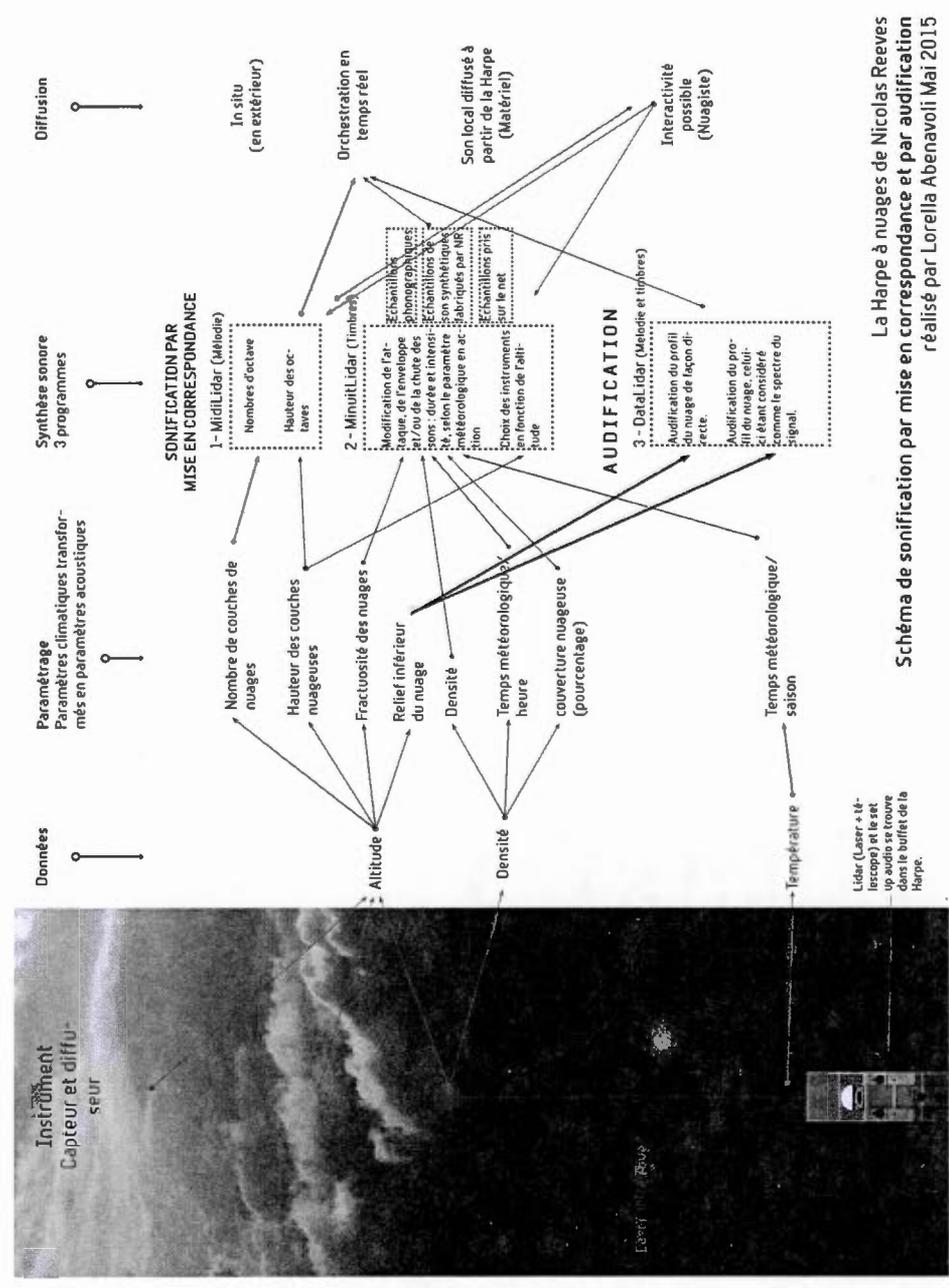
On peut évaluer également le pourcentage de couverture nuageuse. On sait que la couverture nuageuse se mesure en octa. Un octa c'est 12,5%. C'est une mesure qu'on a prise parce qu'elle est assez intuitive... parce que les ciels sont soit complètement couverts, couverts au quart, couverts à la moitié, couverts au huitième... Et comment détermine-t-on les octa? Au bout d'un certain temps, on s'aperçoit que tant de

⁹¹ Le radar sonde les ondes radio de l'atmosphère d'où son nom : Radio Detection And Ranging, le Lidar signifiant : Light Detection And Ranging, Dans Louis-Michel Nourry, 2008, *Vents, Invention et évolution des formes*, Presses Universitaires de Rennes, 168 p. ISBN : 978-2-7535-0615-2

pourcentage des mesures ne retourne pas de signal, le laser se perd dans le vide... et tant de pourcentage retourne en signal (...) (Reeves, 2011b)

On comprend, dès lors, la façon dont les paramètres issus des nuages sont élaborés. Comme dans tout système géométrique il y a un référent pour chaque paramètre, à partir duquel une échelle de mesure peut s'établir. Ici on retient trois dimensions : la densité, l'altitude et la température. À partir de ces trois sources, par déduction et recoupement entre celles-ci, on définit les paramètres climatiques qui seront sonifiés: luminosité du ciel au regard de la saison, présence ou absence de nuages, nombre de couches de nuages, altitude des couches du nuage, fractuosité du nuage, relief inférieur de celui-ci, température au sol... La figure 5.25 propose un schéma de synthèse qui décrit la *sonification par mise en correspondance* de la plupart des paramètres de *La Harpe à Nuage*.

Toutes les mesures évoquées par Nicolas Reeves indiquent donc des gradations : une météorologie plus ou moins clémente, des nuages à plus ou moins haute altitude, des nuages à plus ou moins grandes irrégularités de surface... Ces gradations constituent des échelles de différentes natures, qui elles-mêmes vont permettre le paramétrage des valeurs acoustiques données : hauteur, amplitude, nombre de « voix », durée des objets sonores, forme de leur enveloppe... Si l'on se réfère au *schéma du dispositif de sonification* (fig. 3.3) on comprend que l'on est ici dans une *sonification par mise en correspondance* mais aussi, dans une moindre de mesure, dans *une audification*. Par conséquent on n'est pas dans des correspondances ondulatoires homothétiques comme dans, *Le Souffle de la Terre* ou *VLF Natural Radio*, mais dans des correspondances entre des dimensions abstraites, extraites cependant du monde physique, vers des dimensions sonores. Mais il perdure tout de même une relation technique avec la théorie des ondes et ses applications : c'est grâce aux longueurs d'ondes du laser infra-rouge qui touchent et rebondissent sur les molécules d'eau de l'atmosphère que les différentes informations du nuage vont être transmises au programme qui va les interpréter et les traiter. La lumière, devient ici un capteur hyper sensible du mouvement des nuages. Si le nuage constitue la source de la forme sonore, ce sont les ondes



La Harpe à nuages de Nicolas Reeves
Schéma de sonification par mise en correspondance et par audification
réalisé par Lorella Abenavoli Mai 2015

Fig. 5.25 : Schéma des étapes de sonification de *La Harpe à nuages* (1997-2000) qui décrit le dispositif où la mise en correspondance et l'audification sont toutes deux utilisées. Il reprend les phases décrites dans le schéma général de la sonification présenté dans le chapitre précédent (fig. 3.3). Il se lit de gauche à droite et se structure en cinq phases : représentation de *La Harpe* et de son laser, les données, les paramètres des données, la synthèse sonore et la diffusion. Ce sont les flèches rouges et jaunes qui indiquent les correspondances établies entre les données initiales, leur décomposition en paramètres quantifiables.

infra-rouges, émanations haptiques technologiques, prolongements tactiles de notre sensorialité, qui en permettent l'accès et qui sont à leur tour mises en relation avec les paramètres de la synthèse sonore qui enfin produisent l'œuvre.

5.6.3.2 Le générateur de son : trois modules

Le programme de traitement du signal est composé de trois modules : Le MidiLidar, le MinuitLidar et le DataLidar.⁹² Chacun d'entre eux traite en temps réel les données météorologiques paramétrées transmises par le Lidar⁹³ (fig. 5.25).

Le premier, le module mélodique, est dénommé le Midilidar, en raison d'un fonctionnement technologique hybridant le protocole Midi et le Lidar (Nourry, 2008, p.157). Il détermine un des aspects de la mélodie, c'est-à-dire les hauteurs des sons et leur tempo. La hauteur renvoie ici aux hauteurs des notes de la gamme tempérée au nombre de 88, équivalentes à celle d'un piano. C'est l'altitude des nuages qui les détermine de façon assez littérale : "... elle [la première harpe] associait l'altitude des nuages à la fréquence des notes émises, et leur densité au volume sonore : un nuage haut et ténu déclenchait une note aigüe et de volume faible, alors qu'un nuage dense et bas provoquait l'émission d'un grondement puissant et très grave. (Nourry, 2008, p.159). Et d'ajouter lors de notre rencontre en 2011 "Là, la mélodie va suivre la forme du nuage auditivement." Ici c'est le Datalidar qui prend le relais (3^e module). Le relief inférieur du nuage dessine une courbe temporelle, envisagée parfois comme le profil d'une onde acoustique et parfois comme le spectre d'un signal acoustique. Ce spectre est ainsi programmatically et automatiquement analysé afin de produire les harmoniques dont il est constitué. Ces harmoniques seront jouées par *La Harpe* dans une bande de fréquences déterminées par l'altitude du nuage. Le DataLidar est ainsi le module d'*audification* de la topographie inférieure des nuages de chacune des couches nuageuses. L'audification a pris de plus en plus d'importance dans la programmation de *La Harpe* au point de créer récemment en 2013 le DataLidar uniquement destiné à cette fonction. On est ici, dans une *audification topographique*, pratique déjà explorée avec *GP4* (2004) et *Delay* (2012). Ce que Florian Dombois (2011, p. 302) nomme l'audification de *données abstraites*, qui sont cependant

⁹² Ces termes sont nommés ainsi par N. Reeves.

⁹³ Voir note 37.

issues elles aussi de *données physiques*. En fait il s'agit de données concrètes, le profil du nuage, pour une audification abstraite. Là encore la frontière est ténue : on a vu avec l'audification du *relief* terrestre de *GP4* (2004) ou celle du *relief* de la peinture dans *Delay* (2012), que les sonorités obtenues renvoient à une expérience tactile sensible, qui rend l'audification dans ces deux cas familières : le frottement d'une pointe sur un solide texturé renvoie immédiatement à des sources connues. En revanche dans *La Harpe*, l'audification du *relief* du nuage n'a pas pour vocation de rendre compte d'une matérialité familière - quel son ferait une pointe frottant la surface d'un nuage?! - mais elle est plutôt instrumentalisée pour enrichir la structure compositionnelle mise en place. Cela semble constituer une subtilité dans la 4^e catégorie d'audification, celle des *données abstraites*. Dans *La Harpe à nuages* cette transposition formelle par l'*audification* du relief du nuage, a pour fonction de venir étayer la *sonification par mise en correspondance* utilisée pour les autres données.

Le deuxième module, appelé le MinuitLidar est celui des timbres. Bien que Schaeffer et Chion aient remis en cause cette appellation dans le contexte des sons fixés, elle reste pratique pour parler d'un paramètre complexe d'un son : sa texture, son grain, sa tessiture, sa couleur, sa matière, sa masse... Il y a trois types d'échantillons sonores qui sont archivés dans la mémoire de ce module : des échantillons phonographiques, des échantillons de synthèse et des échantillons pris sur le net (Reeves, 2011b) (◀ Fig. 5.26)⁹⁴. Les deux premiers sont réalisés par Reeves. Cependant ces échantillons vont subir des mutations dans leur traitement. Ces échantillons deviennent des objets sonores⁹⁵, c'est-à-dire qu'ils ont une forme circonscrite dans le temps mais ils deviennent cependant malléables lors de leur traitement en fonction des données météorologiques auxquelles ils sont associés. À titre d'exemple, un nuage dense et sombre induira une attaque violente de l'échantillon et l'étendue et la morphologie du nuage modifieront la durée et la variation du son, allant de l'éclat à la nappe sonore. Ainsi le timbre ou encore la relation matière/forme (Chion, 2006, p.245) de l'objet sonore produit par

⁹⁴ ◀ Fig. 5.26 : Extrait enregistré durant une tempête de verglas, dans lequel on entend de nombreux échantillons de sons phonographiques mêlés aux sons de synthèse produit par une *Harpe* exposée à Montréal en 1998.

⁹⁵ La notion d'objet sonore désormais devenue commune dans le vocabulaire des pratiques audio, provient du travail de redéfinition du sonore dans les années 1950 de Pierre Schaeffer exposé dans son *Traité des objets sonores* et ré-élaboré à différentes reprises par Michel Chion. Parmi d'autre : Michel Chion, 2006, *Le son*, Ed. Armand Collin Coll. Cinéma 342 pages. p.239

ce deuxième module, travaillera les différentes phases de l'enveloppe des objets sonores pré-échantillonnés : son attaque, son maintien et sa chute.

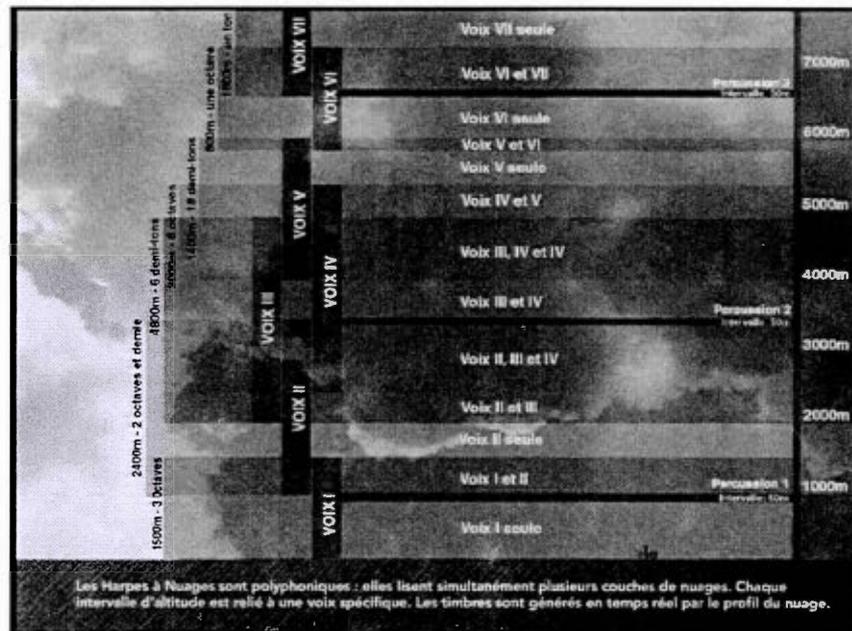


Fig 5.27 : Schéma de Nicolas Reeves (2015) qui montre les correspondances entre les altitudes des nuages envisagées sur une échelle verticale et les "voix" qui, dans le cas de *La Harpe*, sont les différentes catégories de synthèses sonores qu'il a choisies.

Nicolas Reeves construit son système sur le modèle de l'orchestration symphonique : il compare ses échantillons aux instruments, et la hauteur des nuages à leur emplacement dans l'orchestre. Il y a ainsi une composition qui s'élabore en faisant interagir les trois modules que l'on peut observer sur le schéma ci-dessous (Fig. 5.27), qui exprime clairement cette organisation transformant les strates nuageuses en une partition complexe.

5.6.4 L'espace auditif de *La Harpe* : *in situ*, diffusion et temps réel

L'espace auditif met en œuvre des stratégies sonores pour donner à entendre et à percevoir les correspondances établies entre la source et les sons produits. Toutes les déclinaisons de *La Harpe à nuages* (1997-2000) depuis son origine recouvrent trois caractéristiques récurrentes : c'est une œuvre *in situ*, dont le traitement se fait en *temps réel* et dont l'émission du son est *rayonnante* (c'est-à-dire non immersive).

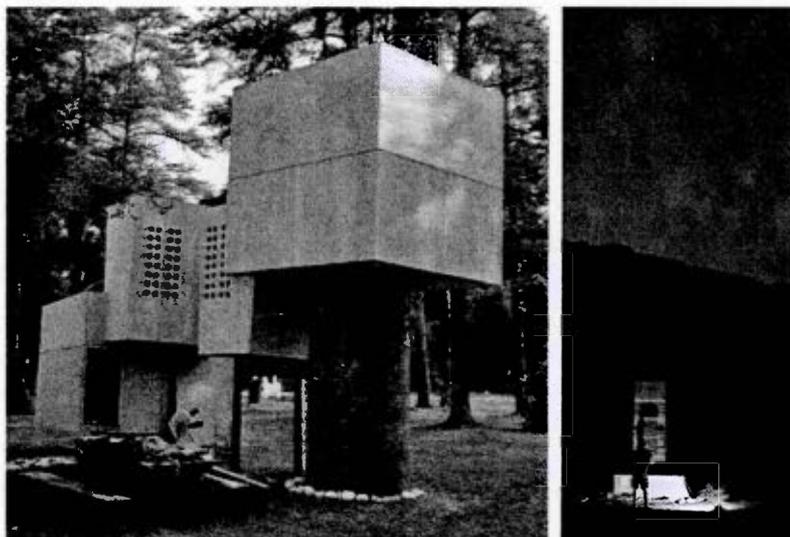


Fig. 5.28 (à gauche) : la première *Harpe à Nuages* (1997). 3e Symposium en arts visuels de l'Abitibi-Témiscamingue : *Vingt mille lieu(x)es/sur l'esker*. Amos (Québec) Commissariat Alain-Martin Richard.

Fig. 5.29 (à droite) : la petite *Harpe à Nuages*, *Étude n°VI (Nomade 3 – Marseille)* Festival MIMI Îles du Frioul Marseille du 1^{er} au 14 juillet 2010.

Une œuvre *in situ* est une œuvre dont la conception est profondément associée au milieu dans lequel elle prend place⁹⁶. Le milieu détermine les orientations esthétiques de l'œuvre, qu'elles soient d'inspiration politique, sociologique, géographique, relationnelle, spatiale... *La Harpe* est une œuvre *in situ* qui travaille avec son environnement météorologique. Elle se définit moins par son caisson de bois⁹⁷ que par l'univers sonore qu'elle produit qui varie au gré des paysages nuageux qui nous survolent. Elle construit un axe zénithal de la terre aux nuages. Cet axe matériel et symbolique, qu'il soit visible lorsque Reeves utilise un capteur optique (fig. 5.29) ou invisible dans le cas d'un capteur infra-rouge, on le sait là, touchant le ciel. Notre corps empathique est lui-même physiquement inscrit dans cette verticalité. *La Harpe* se définit aussi par la supersposition auditive de la mélodie qu'elle produit qui se mêle aux sons

⁹⁶ Dans *Electrical Walks* cette dimension est exemplaire.

⁹⁷ Tout au moins la Harpe du Chatelet et ses différentes présentations.

locaux. Lors de sa première installation à Amos en 1997 (fig. 5.30), les échantillons sonores étaient ceux de « flûtes tribales ». Nicolas Reeves raconte.

Le passage d'un violent orage a généré un grandiose son et lumière. Déchaînées par les rapides variations des nuages, les flûtes hurlaient avec le vent et le tonnerre, qui par ses craquements rythmait la musique en une percussion assourdissante et syncopée. Les rideaux de pluie battante, les arbres balayés par les bourrasques, les nuages déchiquetés révélés dans le ciel sombre par les éclairs incessants, se fondaient en un décor dantesque." (Nourry, 2008, p.159).

Les sons de *La Harpe* ont une fonction de médium : trait d'union entre le tectonique et le cosmique, ils visent à partager cette expérience du sublime météorique. La relation de *La Harpe* à son environnement est tout entier nécessaire et en cela on peut parler d'une œuvre *in situ* mais aussi d'une œuvre *In tempo*. Sans son environnement pas de son. Elle s'oppose à l'idée d'œuvre objet et se rapproche par son contexte environnemental au Land Art où le paysage devient la matière même de l'œuvre.

Le 2^e élément récurrent est le dispositif de diffusion sonore qui est rayonnant, ou frontal comme dans *La Harpe* du Chatelet. Les haut-parleurs dans les différentes versions émettent depuis le buffet de *La Harpe* vers l'extérieur. Cependant lors de l'évocation par Nicolas Reeves de *La Harpe* d'Amos on entend que l'immersion à laquelle il aspire est celle du paysage tout entier. « Et même là je dirais que l'intention principale de *La Harpe*, c'est de proposer aux visiteurs d'ouvrir leur regard sur ce qu'ils sont en train de voir ou de vivre, en connectant les paysages célestes avec les paysages terrestres et de prendre conscience de toute la dimension du paysage dans lequel ils se trouvent. » (Reeves, 2011b). Je ne crois pourtant pas que l'on puisse dire que *La Harpe* soit une œuvre immersive, mais plutôt qu'elle induit la conscience que l'on a d'être plongé au sein du paysage. Certes elle nous met en relation avec les éléments de notre environnement en nous incluant dans l'espace qu'elle ouvre autour d'elle mais le médium de l'œuvre, le son, ne nous englobe pas. Cette dimension spatiale du sonore que l'on appréciera dans la prochaine œuvre étudiée, *SIGNE* (Heimbecker, 2008) n'est pas explorée dans *La Harpe*.

Le traitement en temps réel des données météorologiques et leur transduction sonore place pourtant le public dans le présent et dans son évanescence et en cela joue un rôle essentiel dans l'aperception de ce que Hausmann nommait notre Sens-Temps-Espace.

La Harpe à nuages est un instrument automatisé qui capte les données atmosphériques et les traite en temps réel au sein d'une programmation certes déterministe mais dont les formes sonores émises ne sont ni prédictibles, ni reproductibles; cela grâce aux choix de paramétrages de la programmation d'une part et d'autre part grâce aux variations infinies des sources météorologiques qui se déroulent dans le temps. On peut entendre dans l'intention de Reeves quelque chose de similaire lorsqu'il écrit en 2008 :

Ils [les programmes de production sonore de *La Harpe*] doivent répondre au défi de produire des séquences musicales ou acoustiques sans trahir la *morphologie*⁹⁸ du nuage et en intervenant le moins possible au niveau de la composition. (...) Composer une musique qui rende compte de la forme des nuages demande la mise au point de logiciels aussi neutres que possible, sans pour autant transformer l'instrument en un système de mesure de type vu-mètre. Cette préoccupation est restée constante depuis la naissance du projet." (Nourry, 2008, p.156).

On entend ici le désir de subordonner le processus de formation de l'œuvre sonore aux processus de formation des nuages grâce et à travers le dispositif technico-conceptuel de *La Harpe* qui aurait une certaine "neutralité" ; la mise en place du traitement temps réel est un des aspects de cette "neutralité", de cette volonté de non contrôle de l'artiste sur ce qui advient. Et le rôle qu'il s'accorde est la construction d'un dispositif qui laisse advenir, tout en leur donnant forme, les énergies du monde dans leur fugacité et dans leur irréversibilité temporelle. Ce statut éphémère de l'œuvre d'art est récent. L'œuvre s'inscrit dans une temporalité de l'instant et dans une esthétique de la disparition, ce qui en bouleverse les conditions d'existence. En ce sens elle se rapproche des pratiques éphémères de la danse ou de la performance. L'enregistrement qui en conserve la trace ne peut pallier le temps réel qui est une dimension esthétique à part entière de l'œuvre.

5.6.5 Donner forme au chaos

⁹⁸ C'est moi qui souligne. On reviendra à la notion de morphologie avec la prochaine œuvre et en conclusion.

Les complexités et subtilités de traitements de *La Harpe* à nuages ne peuvent être exposés de façon exhaustive car son auteur en modifie lui-même les paramètres à chaque nouvelle exposition. Mais les éléments précédemment mentionnés sont suffisants pour comprendre que les combinaisons sonores issues de cette sonification sont infinies. L'imprédictibilité de la forme sonore est un élément cher à son auteur. C'est aussi un choix esthétique capital : il correspond au désir de rendre compte d'une géométrie chaotique, écho des formes temporelles du monde, qui, bien qu'obéissant à des lois mathématiques, laissent l'œuvre ouverte. Ouverte pour le public qui expérimente un objet sonore fugace et le maintient dans la tension paroxystique de l'instant, ouverte dans le sens d'un inachèvement inhérent au processus sonore en temps réel incorporant la dimension du hasard⁹⁹.

L'appropriation de la notion de hasard n'est pas récente dans les arts. Au début du XXe siècle le hasard est d'abord revendiqué par Dada puis par les surréalistes, comme posture esthétique nihiliste ou révolutionnaire s'opposant au savoir-faire et au discours normatif. Plus tard dans le siècle, certains artistes comme Jackson Pollock en peinture, John Cage en musique, Merce Cunningham en danse incorporent le hasard comme donnée esthétique constituante de l'œuvre. La notion de hasard est modifiée avec la science contemporaine, au sein des théories du chaos, qui furent mises en évidence et formalisées grâce à l'ordinateur¹⁰⁰, notamment par le météorologue Edward Lorenz. Ivar Ekeland dans les *Figures du temps* la résume ainsi : la théorie du chaos contribue à trouver un ordre caché sous un désordre apparent. Cela ne signifie pas que le hasard n'existe plus mais qu'une part de ce que l'on nommait le hasard est désormais décrite mathématiquement. C'est la théorie du chaos qui inspire Nicolas Reeves et le pousse à imaginer des systèmes déterministes mais non prédictibles pour concevoir ses œuvres génératives, dont *La Harpe* constitue un travail exemplaire.

John Cage, l'un des pionniers de l'élaboration de la notion de hasard en art, lors de sa dernière allocution en public qui se tenait à Pérouse en 1992, énonçait quelques fondamentaux de son

⁹⁹ Scientifiquement parlant le hasard et l'imprédictible ne répondent pas à la même définition. Cependant sur le plan de l'expérience sensorielle que propose l'œuvre, on ne peut anticiper ses formes, puisqu'elles dépendront intimement de celles que prennent les nuages et la météorologie au moment où le visiteur expérimentera la pièce.

¹⁰⁰ En effet sans la vitesse de calcul de l'ordinateur, il n'aurait pu démontrer (et montrer) sa théorie. L'outil numérique est ici capital pour montrer cet "ordre caché".

parcours de compositeur et d'artiste. En introduction, évoquant l'influence qu'avait eu tout au long de sa vie le philosophe Ananda Coomaraswamy, il citait son ouvrage *La transformation de la nature en art* dans lequel disait-il "on apprend que la responsabilité de l'artiste est d'imiter la nature dans la manière dont elle agit". Et de poursuivre :

Tout comme nous est familière l'idée d'une ressemblance entre l'art et la nature, c'est un fait convenu que l'art est soumis historiquement à des métamorphoses constantes. Mais la question se pose : qu'est-ce qui suscite ces changements? Une réponse propre à nous convaincre (...) serait que si l'art évolue, c'est en fonction de la conscience que nous prenons de la façon dont la nature travaille, de la façon dont elle opère. Cela m'a permis de m'initier en compositeur, et non pas en savant, à la manière d'œuvrer de la nature. Et cela m'a converti à la nécessité d'avoir recours, par exemple, au hasard. Car si je m'étais servi de la musique pour m'exprimer, elle n'aurait eu trait qu'à mes émotions personnelles (comme à celles que nous éprouvons tous) ; elle n'eut en rien concerné notre compréhension de la façon dont la nature œuvre. (Cage et Charles, 1994, p.14-16)

En cette seule phrase Cage résout l'écueil de la « mimesis » qui hante la théorie de l'art depuis deux mille cinq cent ans en remplaçant la notion sclérosante d'imitation de la nature par « la manière d'œuvrer » de celle-ci, c'est-à-dire par son processus qui donne forme à la chair du monde. Processus qui, tant pour Cage que Reeves, sont inspirés par la théorie du chaos mais qu'ils abordent en tant qu'artistes de façon différentes : le premier met en place des stratégies qui incorporent le hasard à presque toutes les étapes de sa composition tandis que le second produit une programmation déterministe qui engendre des formes imprédictibles grâce à son interaction avec les nuages, « objets » en perpétuel métamorphose. La sonification complexe de *La Harpe* aspire à rendre sensible cet ordre caché par les sonorités qu'elle produit et qui se renouvellent sans cesse au gré des géométries célestes. Mais la sonification de *La Harpe* n'illustre pas la théorie du chaos, pas plus qu'elle ne représente la structure du nuage. *La Harpe* ouvre plastiquement et conceptuellement la notion de forme en art tout comme la théorie du chaos dont elle s'inspire ouvre la notion de forme en science.

L'étude des formes par le son est probablement l'un des liens forts qui unit *La Harpe à nuages* et la prochaine œuvre abordée, *SIGNE* de Steve Heimbecker. Elles ont en partage, en réalité, de nombreuses caractéristiques : leurs sources météorologiques, l'usage d'une

sonification hybride, le traitement temps réel, la construction d'un dispositif qu'ils ouvrent à d'autres artistes... Il semble pourtant, que c'est bien la notion de forme – et tout le processus technique qui découle de cet écart conceptuel - qui sépare radicalement ces deux approches artistiques.

5.7 *Wind Array Cascade Machine* (2003), *Turbulence Sound Matrix* (2008) et *SIGNE* (2008) de Steve Heimbecker ou La forme du vent

In my life I have viewed with pleasure and fascination the motion of the wind across a field of tall grass or grain. Very elaborated wave patterns travel and dart across the field, always in motion, always similar from one moment to the next, but never exactly the same – an illusion of repetition. In the spring of 2000, after working for two years in retreat in a central Saskatchewan farming called Springwater, I became fundamentally aware of the effect of the wind across the prairie landscape. The realization that we do not actually hear the wind (...) gave me the insight to create *Wind Array Cascade Machine*. (Heimbecker, 2005d, p.41)

Le vent est une force que l'on perçoit par les effets qu'il produit sur les lieux, les corps et les objets qu'il traverse ou qu'il cogne, qu'il fait chanter, hurler, bourdonner ou frémir. Notre appareil sensoriel voit, touche, entend, éprouve la présence du vent, mais le vent lui-même comme force est insaisissable. Il est l'une des premières manifestations d'une sonification sacrée chez les oracles hellènes. Il est le souffle de Zeus dont le message était interprété grâce à la façon dont les feuilles du chêne de la cité de Dodone frémissaient (Guirand et Schmidt, 1996, p.191). La très longue histoire des instruments éoliens¹⁰¹ comme dispositif révélant le chant des forces divines et matérielles nourrit la poésie de ce phénomène, qui d'ailleurs marque pour Douglas Kahn l'origine des pratiques électrosoniques. Cependant, contrairement aux harpes éoliennes, Heimbecker a initialement construit son instrument non pas en vue de produire du son mais afin de saisir la complexité de la forme du vent. Son

¹⁰¹ L'histoire technique, géographique, métaphysique, mythologique et poétique de cet instrument est magistralement développée dans l'ouvrage de Georges Kastner, 1856, *Harpe d'Éole et la musique cosmique, Études sur les rapports des phénomènes sonores de la nature avec la science et l'art*, Ed. G. Brandus, Dufour et Cie, Leipzig, Bartès et Lowell, Londres, Jules Renouard et Cie, Bruxelles 300 pages, Livre numérisé et téléchargé le 10 avril 2015 sur <https://books.google.ca/books?id=8t4pSyQhvtIC&hl=fr>

approche relève de celle du plasticien dont les formes du monde constituent la source d'inspiration de ses œuvres.

5.7.1 *Wind Array Cascade machine* : 64 accéléromètres pour un méta-capteur

Wind Array Cascade Machine (WACM) de Steve Heimbecker est un dispositif de captation des mouvements du vent, constitué de 64 capteurs organisés sur un plan orthogonal selon une grille de 8 x 8 unités. (Fig. 5.30 et 5.31). Ce dispositif est conçu pour couvrir une superficie

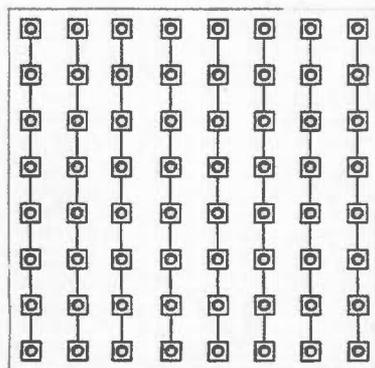


Figure 5
Grille des 64 capteurs de la *Wind Array Cascade Machine* vue en plongée

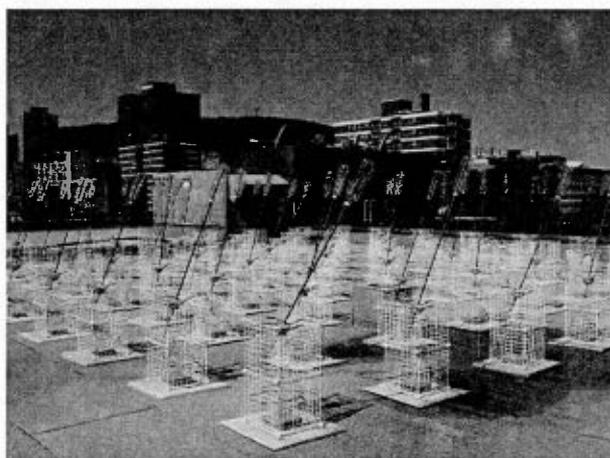


Fig. 5.30 (à gauche) : *Wind Array Cascade Machine* (2003) Steve Heimbecker. Plan de la grille des 64 capteurs. Dessin : Steve Heimbecker, extrait de *Songs of Place* (Heimbecker, 2005).

Fig. 5.31 : *Wind Array Cascade Machine (WACM)* (2003) Steve Heimbecker. Installation sur le toit de la Fondation Daniel Langlois (2004-2005). Photo : S. Heimbecker <http://www.steveheimbecker.net/installations/wind-array-cascade-machine-2003/>

maximale de 625 m² (25m x 25m). Ces 64 capteurs sont des accéléromètres, chacun placé au sommet d'une tige qui bascule mécaniquement selon la force du vent et transmet l'information (l'accélération déduite de l'amplitude et de la vitesse d'inclinaison), à raison de 10 échantillons par seconde (5Hz), à des micro-contrôleurs eux-mêmes reliés à une interface Max-msp d'un ordinateur. Lorsque la tige est à la verticale (Fig. 5.32) cela correspond à l'absence de vent et inversement, la variété des inclinaisons correspond à sa puissance. Ce sont les réactions individuelles de chacun des 64 capteurs diffusées simultanément par 64 émetteurs, qui saisissent l'orientation, la vitesse et par là même la complexité des courants éoliens. Le fonctionnement des capteurs est mécanique. Ils sont cependant munis d'une

électronique capable de transformer ces flux en électricité puis en données sérielles à 64 canaux. Rappelons que "64 canaux" signifie qu'il y a 64 informations différentes captées

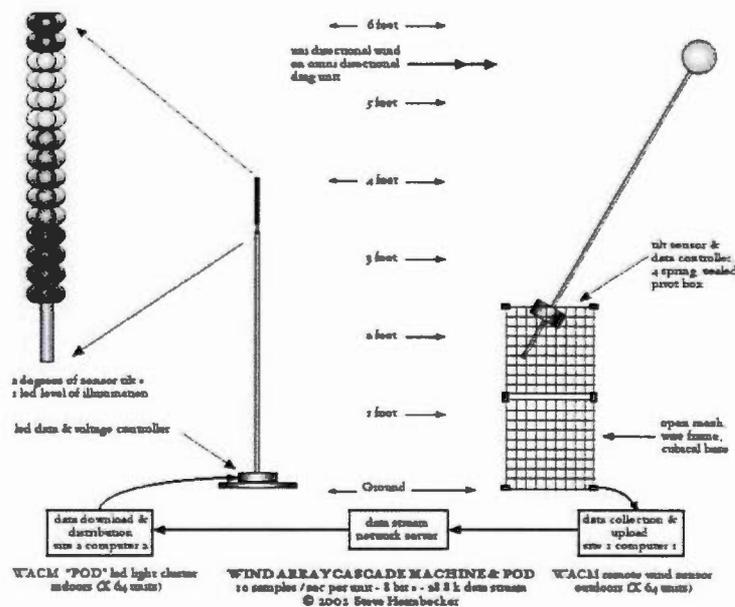


Figure 5.32 : *Wind Array Cascade Machine* (2001) Steve Heimbecker. Dessin technique du capteur de mouvement. À droite on voit précisément le principe du fonctionnement de détecteur de mouvement, qui, ici, a rejoint son inclinaison maximale de 30 degrés. Extrait de *Songs of Place* (Heimbecker, 2005a). Dessin : Steve Heimbecker.

simultanément, transmises par 64 "chemins" ou câblages indépendants, puis finalement diffusées à 64 émetteurs eux aussi indépendants. Ce dispositif est réalisé pour être placé en extérieur résistant aux intempéries, ce qui n'en fait pas pour autant une œuvre *in situ*, puisque le capteur de vent peut, par exemple, se trouver à Québec tandis que l'émetteur peut diffuser à Toronto¹⁰². Heimbecker envisage ce méta-capteur comme un instrument dont les données peuvent être utilisées en temps réel en transitant par le réseau internet ou alors en différé. (Heimbecker, 2005d)¹⁰³. Ce dispositif constitue la première phase d'un vaste projet artistique aux développements multiples.

¹⁰² En 2003, *WACM* était sur le toit de Méduse (*Méduse* est une coopérative de producteurs et de diffuseurs artistiques, culturels et communautaires, situé dans la ville de Québec (Canada) et les données du vent étaient transférées en temps réel par internet à l'installation POD exposée à Toronto lors de l'événement annuel *Subtle Technologies* (2003).

¹⁰³ L'ensemble des données techniques sont extraites de *Songs of Place* (Heimbecker, 2005).

On évoquera ici rapidement la première installation *POD*¹⁰⁴ (Fig. 5.33) réalisée en 2003 à partir de *WACM* bien qu'elle soit une œuvre visuelle et exceptionnelle dans la pratique de l'artiste car elle va ensuite permettre de comprendre plus aisément le fonctionnement de *Turbulence Sound Matrix* et *SIGNE*, respectivement dispositif et œuvre audio issus du capteur *WACM*.

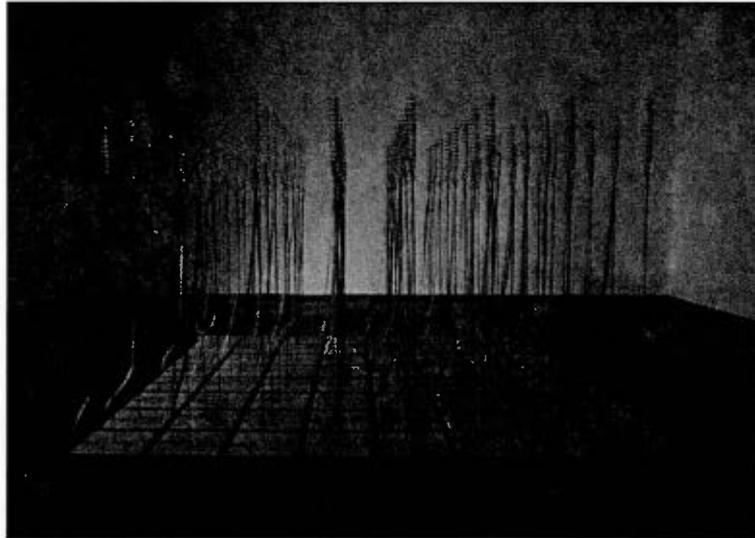


Figure 33 : *POD* (2005) Steve Heimbecker. Installation à Ars Electronica. Ce dispositif était relié à *ACM* qui était sur le toit de la Fondation Langlois à Montréal. On voit à la base des épis, à gauche, quelques diodes allumées diminuant sur les épis de droite.¹⁰⁵

POD est donc une œuvre visuelle à 64 canaux composée spatialement sur le même modèle que *WACM*. 64 tiges ordonnées sur un plan orthogonal comportent à leur sommet une série de 45 diodes électroluminescentes variant en couleur et en intensité en fonction des données reçues par *WACM*. Ensemble, ces épis électroniques forment un plan lumineux à hauteur des yeux qui, visuellement, semblent onduler au gré des flux éoliens transduits en lumière, métaphore des champs de blé et visualisation du passage du vent. Les données de chaque accéléromètre de *WACM* sont transmises à une tige électroluminescente unique de *POD*, l'ensemble créant ainsi une marée lumineuse.

¹⁰⁴ *POD* (2003) a été exposée à Oboro, Montréal et au Musée d'art contemporain Kiasma à Helsinki lors d'ISEA 2004.

¹⁰⁵ CyberArts 2005, *POD* (Wind Array Cascade Machine), Steve Heimbecker - Qube Assemblage (CA) Source: Steve Heimbecker - Qube Assemblage - Cross-reference: The right to reprint is reserved for the press; no royalties will be due only with proper copyright attribution.

Lorsque Steve Heimbecker réalise *POD* en 2003, il a déjà derrière lui une décennie de pratique sonore multicanale dans des installations qui convoquent des dimensions spatio-temporelles acoustiques, issues de la captation phonographique, elle-même multicanale, d'environnements naturels et urbains. Steve Heimbecker a une formation de plasticien et son travail interroge l'*espace-temps* des lieux depuis l'origine de sa pratique (Heimbecker, 2005d). Non pas le paysage, comme chez Jean-Pierre Aubé, mais bien l'espace comme géométrie complexe qui nous englobe. Dès 1992, avec l'œuvre sonore *Engine : an Octophonic Movement*, il trouve dans la qualité immersive du son et dans son travail de captation et de diffusion multicanale, un potentiel plastique pour rendre compte de cette perception pluridimensionnelle (Heimbecker, 2005d, p.22). Il nomme d'ailleurs *Soundpool* les milieux qu'il écoute et enregistre, mais aussi ceux qu'il produit avec ses installations sonores, évoquant ici la qualité immersive de ces installations dans lesquelles le son a, pour Steve Heimbecker, la faculté de révéler l'essence et la complexité de l'espace (Heimbecker, 2005d, p. 20).

5.7.2 *Turbulence Sound Matrix (TSM)* : 64 haut-parleurs pour un espace sonore immersif.

Sur le même schéma que *POD*, il transpose ainsi dès 2003 le principe des correspondances entre les données du vent de *WACM* à un nouveau dispositif audio, qu'il nomme *Turbulence Sound Matrix (TSM)* qu'il construit entre 2004 et 2008. *TSM* est un dispositif à 64 canaux de 64 haut-parleurs à large bande, reliés à *WACM* (où à ses données pré-enregistrées elles aussi en 64 canaux). Comme *POD* le faisait avec les diodes électroluminescentes, chaque haut-parleur diffuse simultanément une information différente des 63 autres. Ce dispositif dialogue lui aussi grâce aux microcontrôleurs reliés aux accéléromètres de *WACM*, eux-mêmes raccordés à un nouveau patch Max qui permet de communiquer et transmettre les données éoliennes aux 64 haut-parleurs¹⁰⁶ (Fig. 5.34)¹⁰⁷. Ces derniers sont montés sur 8 colonnes contenant chacune 8 haut-parleurs (Fig. 5.35). Celles-ci sont le plus souvent disposées par

¹⁰⁶ En transitant bien entendu par des amplis et des cartes sons pour 64 canaux.

¹⁰⁷ Fig. 5.34 : *SIGNE* (2008) Steve Heimbecker. Interface du Patch Max et extrait audio de la pièce. On voit le « damier » qui représentent les capteurs de *WACM* dont le changement de valeur indiquent les flux éoliens qui induisent les variations sonores de *SIGNE*.



Fig. 5.35 : *Turbulence Sound Matrix (TSM)* (2008) Steve Heimbecker. Photographie du dispositif.
photo : S. Heimbecker durant la Nuit Blanche à Toronto (2008).¹⁰⁸

Steve Heimbecker en cercle ou en ovale, de façon à réaliser cette dimension immersive chère à l'artiste. Mais puisque les données du vent ne sont pas sonores quels sons ces haut-parleurs diffusent-ils? Pour sa première pièce sonore avec ce dispositif, Steve Heimbecker élabore *SIGNE* un travail de composition sonore spatio-temporelle basée sur un travail de sonification que l'on va décrire ici.

5.7.3 *SIGNE* (2008)

À l'image de l'horizontalité du dispositif technique de *WACM*, Heimbecker pense sa composition en "strates" (layers)¹⁰⁹. Pour une meilleure compréhension de ce que Heimbecker désigne par strates, on peut comparer la composition en strates à la composition linéaire d'une partition. La superposition des strates est conçue comme la superposition des portées d'une partition multi-instrumentale qui, lorsqu'elles sont jouées ensemble, forment une composition homogène dont la structure conçue en « feuilletage » n'est plus audible. Cependant la conception en « strates », en remplaçant la conception linéaire de la partition,

¹⁰⁸ <http://www.steveheimbecker.net/installations/wind-array-cascade-machine-2003/> Scotia Bank Nuit Blanche, by New Adventures in Sound Art, Toronto, ON/CA photo : steve Heimbecker

¹⁰⁹ Extrait d'un entretien entre Steve Heimbecker et Lorella Abenavoli le 7 avril 2016.

annonce déjà le traitement en volume de la composition. Si ces strates ne sont donc plus perceptibles lors de la diffusion et lors de l'écoute (◀ Fig. 5.36)¹¹⁰, ce schéma conceptuel et technique va nous permettre de comprendre la façon dont l'œuvre est composée et comment la sonification est construite. On peut ainsi compter quatre strates. 1) La première strate est composée avec des sons de synthèse de fréquences pures (harmoniques) générées par un oscillateur. Les fréquences correspondent aux inclinaisons du capteur. Si l'on se concentre sur un seul d'entre eux, la sonification par mise en correspondance est ainsi construite : plus le capteur se tient à la verticale, moins il y a de vent, plus les fréquences sont hautes; plus le capteur est incliné, plus le vent est fort et plus les fréquences sont basses. Et enfin c'est la vitesse de l'inclinaison de chacun des 64 capteurs qui va générer la spatialisation dynamique sonore globale de *TSM* à l'image des flux éoliens. C'est donc l'ensemble de ces variations individuelles, diffusées simultanément dans les 64 haut-parleurs du *TSM* qui va exprimer les tourbillons, rafales, bourrasques, volutes, brises du vent et ce sont ces trajectoires quadridimensionnelles multiples diffusées sous une forme sonore qui vont produire ce volume sculptural à l'image de la complexité des formes du vent. 2) La deuxième strate transforme une autre séquence éolienne en amplitude seulement. Le volume des sons joués aux 1^{ère}, 3^e et 4^e strates, est modifié par cette 2^e strates. Pour chaque haut-parleur, plus le vent est fort plus le volume est élevé et inversement plus il est doux plus le volume est faible. Mais cette force peut être intense d'un côté du méta-capteur *WAMC* et faible à un autre endroit. Ainsi l'amplitude exprimera cette variation cinétique lors de la diffusion. 3) La troisième strate est constituée par l'enregistrement des claquements des touches d'une machine à dactylographier, utilisée par Steve Heimbecker, pour raconter le récit de l'élaboration de *TSM*. Il y a 16 courts récits dont il ne reste que le son des percussions du clavier, 16 objets sonores qui vont composer cette 3^e strate. Chacun d'entre eux, d'une durée différente, sera diffusé sur 4 haut-parleurs simultanément, les uns à la suite des autres. 4) Enfin la quatrième strate associe aux degrés d'inclinaison de chaque capteur, 88 notes d'un piano, échantillonnées au préalable. Là encore un autre enregistrement de données de flux éoliens sert de schéma temporel pour le jeu des notes.

¹¹⁰ ◀ Fig. 5.36 : *SIGNE* (2009) Steve Heimbecker. Festival Elektra 2009, Montréal. Extrait.

Chaque strate exploite un « pattern » éolien différent, dont la durée varie aussi. En les faisant jouer chacun en boucles, Steve Heimbecker crée une composition générative qui ne diffusera jamais le mêmes espaces auditifs durant toute la durée de l'exposition (Heimbecker, 2016)¹¹¹.

5.7.4 Sculpter le son : silence et immersion

Avec cette œuvre, on se trouve dans une pratique de la *sonification par mise en correspondance* pour les première, deuxième et quatrième strates pour lesquelles Steve Heimbecker fait correspondre aux paramètres des données éoliennes, des paramètres sonores qui sont, respectivement, les hauteurs, les amplitudes et enfin les notes d'un piano. La 2^e sonification, celle des amplitudes, affecte toute les autres. Contrairement aux exemples de sonification par mise en correspondance d'objets temporels évoqués précédemment (*Genesis* (Kac, 1999), *La harpe à nuages* (Reeves, 1999-2003)), lorsqu'on est au cœur du dispositif de diffusion de *TSM* diffusant *SIGNE*, on éprouve physiquement cette dimension éolienne dont le cinétisme quadri-dimensionnel est rendu sensible, grâce, essentiellement, à deux qualités de sonification par mise en correspondance qui s'additionnent (qualitativement) : la spatialisation dynamique de chacune des strates selon un schéma temporel éolien et la spatialisation de la variation des amplitudes de l'ensemble de la composition. Cette dernière est un travail en creux, par le silence, qui façonne la matière sonore dans le temps de la composition et dans l'espace de diffusion. La spatialisation par l'amplitude sonore de l'ensemble de la pièce constitue une des singularités, sur le plan du processus, de ce travail de sonification. Et bien que la sonification utilisée par Steve Heimbecker ne relève pas de l'audification telle qu'elle est définie par Florian Dombois (2011), les différentes strates entretiennent pourtant une relation homothétique avec les courants éoliens en reproduisant une de leurs dimensions : les trajets des flux chaotiques, que l'on éprouve grâce aux système à 64 canaux. Et c'est ce qui rend le travail de Heimbecker si singulier et si intéressant au sein de ce corpus. En effet, au début de cette thèse il semblait évident que seule l'audification, qui entretient une relation indicielle avec ses sources, pouvait rendre compte d'un phénomène physique. Or ce travail contredit cette intuition en nous faisant éprouver un phénomène physique complexe grâce à la sonification par mise en correspondance.

¹¹¹ Explication donnée lors d'un entretien Steve Heimbecker et Lorella Abenavoli le 6 avril 2016 en vue de compléter la description du dispositif de *SIGNE*. *SIGNE* a été exposée en 2008 au Festival Elektra à Montréal.

5.7.5 La forme sensible versus la forme des lois physiques

SIGNE entretient de nombreuses similitudes avec *La Harpe à nuages* : ces deux œuvres renvoient à la complexité et à la poétique des flux célestes et aériens, toutes deux s'inspirent de deux phénomènes perceptibles par les sens (contrairement aux ondes électromagnétiques de *Save the Waves* et *Electricals Walks*) et toutes deux utilisent la sonification par mise en correspondance exploitant à différents degrés un vocabulaire musical ainsi qu'un échantillonnage hybride. Pourtant l'expérience proposée par *TSM* est d'une tout autre nature dont on a décrit précédemment les causes techniques. Sur les plans imaginaire et conceptuel cette différence relève de deux approches très différentes de la forme. Et je reviens ici à une des questions fondamentales posées initialement par *Le Souffle de la terre* et par cette thèse. Cela concerne la notion de « forme ». Nicolas Reeves entrevoit la forme des nuages, dans le contexte de sa production artistique, à partir "des lois qui déterminent la forme physique" et non plus à partir "des formes physiques elles-mêmes". Il rajoute « cette idée qu'il existe quelque chose de stable en arrière de la modification de l'apparence des nuages qui permet de déterminer la géométrie des nuages est un changement de paradigme. » (Reeves, 2011b) S'il précise que ce changement de paradigme est advenu dans le domaine des sciences, il se l'approprie pour penser la forme de son œuvre, elle-même écho de la "forme géométrique" du nuage, la géométrie étant entendue par lui comme « un système d'adressage » (Reeves, 2011b). Et c'est ce que l'on observe dans le schéma de la sonification de *La Harpe à nuages* (fig. 5.25). Les correspondances entre les sources et les données deviennent tellement indirectes et complexes (comme par ailleurs dans *Genesis* (Kac, 1999) et *Bondage* (Tanaka, 2004)) que même si l'artiste éprouve une étroite relation entre la forme dont il s'inspire et son œuvre, lorsque je l'expérimente comme public, je ne peux absolument pas savoir ce qui renvoie à la forme du nuage. Sur le plan phénoménologique, j'ai le sentiment que les nuages engendrent des sons grâce à l'intervention et au programme informatique de l'artiste mais ces sons ne me conduisent pas à élaborer des images mentales évoquant les nuages. L'œuvre construit bien une relation entre les sons et le ciel, *mais on n'est pas dans une relation indicielle qui convoquerait notre expérience corporelle à re-connaître par les sons une morphologie originelle à laquelle elle se rapporterait.*

De quelle forme parle-t-on?

Dans la citation en exergue qui ouvre ce texte sur Steve Heimbecker, il exprime explicitement et avec une certaine candeur sa fascination pour la formation des ondes à la surface des champs de blé, laquelle a été la source de ce travail. C'est donc, pour lui, *la forme perçue* qui est à l'origine de son œuvre. On comprend bien ici la scission qui s'opère entre les deux conceptions de la forme exprimées par Reeves et par Heimbecker. Le premier élabore le dispositif de sonification selon une description physico-mathématique de la forme, tandis que le second élabore son dispositif de sonification selon un "modèle" perceptuel de la forme. Ce que Steve Heimbecker poursuit dans ce travail c'est la compréhension des formes qu'il perçoit et qui le lient au monde d'une façon particulière. Cela ne l'empêche pas d'avoir un discours très sophistiqué sur sa pratique et ses relations avec les sciences contemporaines (Heimbecker, 2005d) mais son travail de plasticien est avant tout une tentative de compréhension, par la réalisation de son œuvre, de la genèse des formes qu'il a expérimentées phénoménologiquement. C'est la raison pour laquelle il construit *WACM*, *TSM* et *SIGNE*, qui forment ensemble un dispositif qui aspire, par son système multicanal immersif, à toucher à son tour tout le corps sensible du public : le corps écoutant, le corps marchant, le corps tactile, le corps multi-dimensionnel. La spatialisation de ce travail plastique sonore est très difficilement descriptible par le texte et même par l'enregistrement stéréo de *SIGNE* (Fig. 5.36 ◀) qui ne rend pas du tout compte de cette dimension capitale. Si la sonification place au cœur de son processus le principe des correspondances, on s'aperçoit à nouveau ici, comme dans l'œuvre de Kubisch, et de façon exemplaire, que la dimension plastique de l'espace auditif, qui n'advient qu'au moment de sa diffusion, est essentielle en art. Revenons à la valeur conceptuelle du dispositif technique.

5.7.6 Du point de vue au point d'ouïe

Le désir de Steve Heimbecker de saisir mais aussi de transposer son expérience sensorielle dans son œuvre explique une autre des singularités de *WACM*, *TSM* et *SIGNE*. En donnant un titre à son capteur : *Wind Array Cascade Machine (WACM)* et à son système de diffusion *Turbulence Sound Matrix (TSM)* il leur accorde la même valeur qu'à l'œuvre sonore elle-même. *SIGNE* étant, quant à elle, la première composition sonore réalisée parmi les

nombreuses qu'il a conçues par la suite avec *WACM* et *TSM*. Le système perspectiviste, qui a souvent été utilisé dans cette thèse comme référent pour penser le système de la sonification, refait surface. J'y reviens ici, avec Steve Heimbecker, pour qui il constitue aussi un référent conceptuel pour l'élaboration de son système de captation et de diffusion audio. Pour comprendre cette référence de Heimbecker à la perspective il faut revenir à ses premières installations sonores à plusieurs canaux. Ses sources étaient l'environnement sonore des paysages dont ses installations aspiraient à restituer la complexité spatiale par la prise de son octophonique. Le preneur de son (l'artiste) était au centre de l'espace sonore enregistré.

Ce que j'ai toujours apprécié du son, c'est la possibilité qu'il soit ou qu'il devienne omnidirectionnel. Nous faisons l'expérience du son tout autour de nous et en continu, donc, d'une certaine façon, lorsque nous choisissons de nous rappeler ou de comprendre des occurrences sonores qui déclenchent une étincelle d'intérêt en nous, nous prenons des décisions de montage en nous-mêmes à partir de cette architecture omnidirectionnelle. C'est fondamental. Une fois que cette chose est comprise, en tant qu'artiste, la question qui se pose est la suivante : comment pouvez-vous exercer un certain contrôle? *L'idée est donc de couper en sections, ce qui n'est pas très différent des premiers dispositifs perspectifs et des premières machines à dessiner munis de grilles*¹¹². [...] Quand on commence à parler de la résolution de cet espace omniprésent et qu'on essaie d'articuler cet espace, il faut le diviser en sections qui deviennent les pièces d'un casse-tête pouvant être remonté, dilaté, comprimé et ainsi de suite. (Bonin, 2004)

Steve Heimbecker évoque ici la perspective comme modèle technico-conceptuel à propos de la grille dessinée sur la plaque de verre sur laquelle on reporte les lignes du paysage qui se trouvent à l'arrière. La célèbre gravure d'Albrecht Dürer (vers 1600) (Fig. 5.37), qu'il cite dans la suite de ce même entretien, en expose le procédé. Pour Heimbecker la construction des correspondances qu'il établit entre la grille de capteurs de *WACM* et la grille de haut-parleurs de *TSM* prolonge historiquement et conceptuellement la découpe du monde perçu, actualisée par la perspective, pour le saisir et lui donner forme dans et par l'œuvre. Dans le système perspectiviste et dans le système octophonique l'artiste est au centre du dispositif. Cette position idéale du preneur de son renvoie, là encore, à la position idéale du peintre dans

¹¹² C'est moi qui souligne.

le système perspectiviste. Cependant, avec *WACM*, il sort d'un cadre perspectiviste, puisque les capteurs sont à l'horizontal et par conséquent le corps du preneur de son n'est plus au

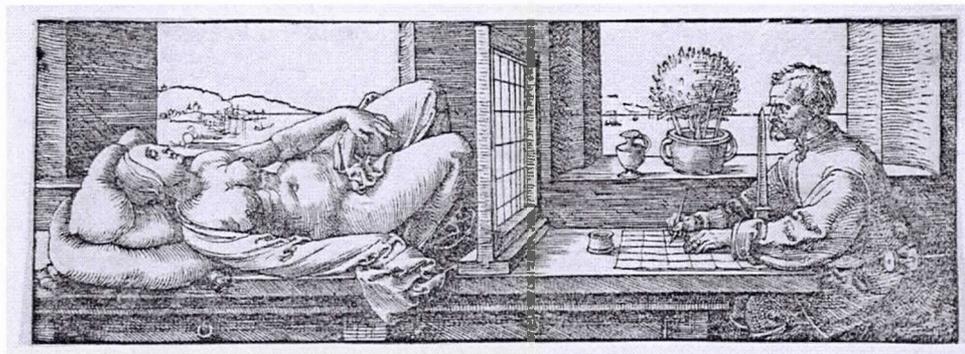


Fig. 5.37 : *Draughtsman Making a Perspective Drawing of a Reclining Woman* Albrecht Dürer (All., Nuremberg 1471–1528) ca. 1600, gravure sur bois, (7.7 x 21.4 cm). Cette gravure d'Albrecht Dürer (vers 1600) est une référence importante depuis le début du travail de Steve Heimbecker. On y perçoit la grille comme modèle de construction de la perspective, principe repris et extrapolé par Heimbecker pour la construction de ses dispositifs audio.

centre du dispositif de captation. Pourtant il y revient avec *TSM* qui propose au public un emplacement idéal : le *sweet spot*, que j'ai traduit par le *point d'ouïe*, empruntant à Gilles Malatray¹¹³ cette appellation. Le point d'ouïe est à un espace sonore ce que le point de vue est à la perspective : un point où la perception du public occupe la place symbolique idéale que l'artiste lui a assignée. Le point d'ouïe dans *TSM* se trouve exactement au milieu du cercle des colonnes de haut-parleurs. Ces colonnes ont une double inclinaison qui fait en sorte que tous les sons projetés par les haut-parleurs convergent simultanément vers un point unique, là où se trouve la tête du visiteur. Sur le plan perceptif, notre tête se retrouve au centre d'une sphère acoustique, et lorsque l'on se trouve au point d'ouïe, l'expérience est inédite. On fait l'expérience d'une immersion auditive complète. L'ouïe (et non l'écoute) devient alors un canal sensoriel hypertrophié, comme si l'on était dans un hologramme acoustique. Lorsque l'on tourne sur soi-même on saisit la singularité de cette expérience. Mais Steve Heimbecker n'a pas une relation spectaculaire avec cet aspect précis de son dispositif. C'est grâce à une

¹¹³ Gilles Malatray est très actif en France et à l'international dans le milieu des arts sonores. Sa pratique est essentiellement celle de l'écoute qu'il partage en organisant des promenades collectives. Il est l'auteur prolifique du site Desarsonnants, de nombreux articles et conférences sur l'art sonore. Son site et blog sont ses premières tribunes. <https://desartsonnantsbis.com/2015/12/23/points-douie-catalyser-lecouite/> consulté le 20 mai 2016.

collaboration avec lui dans le contexte de ma thèse que j'ai pu pour ma part jouer, dans l'une des versions de *VERTICALE*¹¹⁴, avec ce point d'ouïe et en exacerber le potentiel grâce à une matière sonore particulièrement sensible à cette configuration. Il est ainsi très intéressant de comprendre ce glissement entre le système de représentation optique perspectiviste avec le système de représentation auditif de la sonification, dans le cadre de la question de cette thèse. On comprend mieux pourquoi Steve Heimbecker accorde aux éléments techniques de son dispositif une valeur si importante. Ils sont en effet indissociables tant sur le plan conceptuel que technique de l'œuvre elle-même, ils sont l'œuvre : si l'on retirait le métacapteur à 64 canaux de l'œuvre, aucune autre technique ne pourrait s'y substituer et il en va de même avec le dispositif de diffusion à 64 canaux; sans lui l'expérience immersive singulière et les perceptions des flux éoliens n'existeraient pas non plus. Cela vient réitérer la nécessité de penser indissociablement la sonification de l'espace auditif qui lui donne corps.

5.7.7 Des études de Léonard à *SIGNE* : pour une morphopoétique des flux

Si le dispositif technique *WACM* et *TSM* renvoie ainsi à une modernité médiologique, son approche formelle s'inscrit dans un héritage bien plus ancien. Le lien historique conceptuel de cette œuvre ne me semble pas tant être la harpe éolienne mais bien plus les *Études de déluges* (1517-1518) de Léonard de Vinci dont les recherches techno-scientifiques et artistiques interrogèrent, toute sa vie durant, la part fluide du monde. Des machines à voler aux études de feuillages, des canons aux peintures de portraits, des vélos aux esquisses de nuages, Daniel Arasse (1997) revisite l'ensemble de l'œuvre de Léonard sous l'angle du mouvement qui constituait, selon lui, la recherche primordiale de l'artiste.

Comprendre le monde, mais aussi le représenter, c'est dès lors comprendre et représenter son rythme et les lois qui l'organisent, les lois du mouvement, « cadence du temps indivisible ». Les formes visibles du monde sont celles des rythmes de son mouvement, au sens précis que nous avons indiqué au tout début

¹¹⁴ Cette collaboration a donné lieu à un événement collectif *Sonic Jello*, immersion en 64 canaux pour corps, viscères et cerveaux, du 2 au 5 septembre 2015, Agora Hydro-Québec, Montréal, sous la direction artistique de Steve Heimbecker, avec Steve Heimbecker, Lorella Abenavoli, André Eric Létourneau, Patrice Coulombe, Daniel Courville, Robert Chrétien et Étienne Grenier. Voir chapitre 6.

^[115] [...] [Cette notion de rythme caractérise] on ne peut mieux le monde tel qu'il apparaît aux yeux de Léonard, tel qu'il l'analyse scientifiquement et lui donne figure artistiquement ou littérairement : son approche du réel est *morphologique*, intéressée à la genèse des formes, concernée par l'analogie des lois fondées sur le principe de proportions géométriques et l'irréductible et infinie diversité des aspects des choses. Visant à « saisir les formes par leur cause^{215[sic]} », situant en particulier son attention à ce « passage des formes nées du mouvement [...] vers les mouvements que deviennent les formes à l'aide d'une simple variation de la durée^{216[sic]} », Léonard « se meut, en quelque sorte, à partir des apparences des objets; il en réduit ou tente d'en réduire, les caractères morphologiques à des systèmes de forces; et, ces systèmes connus – *ressentis* – et raisonnés, il achève ou plutôt renouvelle son mouvement par l'exécution du dessin ou du tableau^{217[sic]} ». (Arasse, 1997, p.121)

Outre les notions de rythme évoquées ici par Arasse, c'est l'apport de la notion de *morphologie* qui vient nourrir cette réflexion sur la sonification pratiquée par les plasticiens. Si Léonard introduit dans la perspective le clair-obscur et la ligne floue dans le dessin, c'est parce qu'il tente de saisir la vibration et le mouvement du monde. L'évanescence d'un sourire est aussi instable et fugace qu'un courant éolien dans un champ de blé. Et même si le médium dans l'œuvre de Heimbecker est le son électronique, c'est cette même recherche et cette même approche qui sont à l'œuvre dans son travail. Le travail sonore de Heimbecker dans *WACM*, *TSM* et *SIGNE*, est une approche *morphologique*, au sens d'une recherche sur la genèse et le développement de la forme temporelle, incarnée dans et par l'œuvre. Cette approche ne relève pas des lois physiques décrites par la science (même si elle s'en nourrit nécessairement) mais d'une poïesis, d'un "faire apparaître", qui advient ici dans la pratique artistique.

5.8 Conclusion. Sonification morphologique.

C'est cette approche *morphologique* que je poursuis dans ma pratique et que j'ai poursuivie durant toute l'écriture de ce texte, dans une volonté, bien entendu, d'énoncer les fondements

¹¹⁵ Daniel Arasse définit dès l'introduction de ce livre, à partir d'un texte de E. Benveniste, la définition du rythme tel qu'il peut être entendu dans l'œuvre de Léonard : « Pour le philosophe ionien, *ruthmos* signifie une modulation spécifique de la « forme » : alors que *schéma* désigne une forme « fixe, réalisée, posée en quelque sorte comme un objet », *ruthmos* désigne « la forme dans l'instant qu'elle est assumée par ce qui est mouvant, mobile, fluide²⁶ ». C'est cette forme qu'on retrouve partout chez Léonard. On la retrouve d'abord bien sûr dans ses dessins qui saisissent la parenté entre les tourbillons aquatiques, les spirales de plantes, les boucles des cheveux... » (Arasse, 1997, p.19) auxquels j'ajoute, sans être exhaustive, ses études de nuages, de ciel et de déluges. Arasse, Daniel, 1997, *Léonard de Vinci*, Ed. Hazan, Paris, 543pages.

d'une pratique de la sonification dans les arts plastiques et médiatiques. On peut retrouver cette approche morphologique de la sonification dans presque toutes les œuvres étudiées tant dans ce chapitre que dans le précédent, tout au moins dans l'*intention* de la plupart des artistes, au moment de la conception de leur œuvre. Exception faite de *Bondage* (2004) où Atau Tanaka envisage la photographie, dès l'origine de son projet, comme une partition. Quant à *L'origine des espèces* (Robert, 2006), bien que plus abstraite, elle interroge tout de même, me semble-t-il, la forme de la matrice numérique, la forme des fondements de l'image numérique même.¹¹⁶ Si l'intention de révéler la forme des phénomènes préside à la pratique de la sonification, sur le plan de la pratique et de la réalisation artistique on peut cependant esquisser deux méta-catégories.

5.8.1 Deux méta-catégories : sonification codée et audification

1) On a vu les pratiques de la sonification qui tentent de faire arrimer des paramètres de description formelle avec un système ou un vocabulaire musical (*La Harpe à nuages* (Reeves, 1997-2000), *Genesis* (Kac, 1999) et *Bondage* (Tanaka, 2004)) quittant durant le processus de sonification, la relation tactile et indicielle à leurs sources, pour les instrumentaliser, en vue de produire une œuvre s'inscrivant plutôt dans une histoire de la musique. Ces pratiques utilisent toujours de façon prédominante une *sonification par mise en correspondance* où la réduction¹¹⁷ quantitative du monde sert la construction d'une partition, un système de correspondances codées.

2) Tandis que dans les autres œuvres étudiées (*Le souffle de la Terre* (Abenavoli, 1999-2007), *GP4* (Brand, 2004), *Delay* (Sherman, 2012), *Sketches of moving equations* (Grond, 2012), *L'optophone* (Hausmann, 1922), *Save the Waves* (Aubé, 2008), *Electrical Walks* (Kubisch, 2006), *WACM*, *TSM*, *SIGNE* (Heimbecker, 2003-2008)) cette approche *morphologique* est mise en œuvre depuis la saisie des sources et conservée jusqu'à l'*espace auditif*. Ce qui unit techniquement l'ensemble de ces œuvres c'est la *relation tactile* avec leur source, qui est maintenue lors de la sonification, jusqu'au moment de la diffusion. J'insiste sur le fait que le lien entre ces œuvres est de nature technique et non conceptuelle, car comme on

¹¹⁶ Cette œuvre reste, décidément inclassable, dans ce corpus.

¹¹⁷ J'emploie ici ce terme dans le sens phénoménologique, une réduction qui devient une méthode de sélection des données en fonction d'un projet artistique.

l'a vu, les significations des *images auditives* produites dans une œuvre comme *GP4* (Brand, 2004) sont très éloignées de celles produites dans *SIGNE* (Heimbecker, 2008). Mais c'est bien la capacité de « faire image » de la sonification qui est convoquée ici, et plus particulièrement de *l'audification* comme pratique prédominante de ce corpus.

5.8.2 Audifications, haptiques et images auditives

Au sein de ces deux grandes tendances, *l'audification* est probablement le champ qui intéresse le plus cette thèse. On peut, en effet, identifier dans la pratique de *l'audification*, telle qu'elle est définie actuellement (Dombois et Eckel, 2011, p. 301-324), le procédé prédominant d'une approche plastique « objective »¹¹⁸. Mais *SIGNE* (Heimbecker, 2008) nous montre qu'une *sonification par mise en correspondance* peut aussi rendre compte d'une approche *morphologique*. À l'inverse, *La Harpe à nuages* (Reeves, 1999) qui utilise, entre autre, une *audification topographique*, en fait un usage abstrait, où la relation indicielle avec la courbe du nuage, n'est pas révélatrice sensoriellement de sa forme. Mais on peut quand même avancer que la relation indicielle permise par *l'audification*, prédomine largement dans des œuvres aussi variées que *Le souffle de la Terre* (Abenavoli, 1999-2007), *GP4* (Brand, 2004), *Delay* (Sherman, 2012), *Sketches of moving equations* (Grond, 2012), *L'optophone* (Hausmann, 1922), *Save the Waves* (Aubé, 2008), *Electrical Walks* (Kubisch, 2006), *WACM*, *TSM*, *SIGNE* (Heimbecker, 2003-2008). Ce qui fédère ces œuvres c'est la production d'*images auditives objectives*, quels que soient l'usage et la place faites par les artistes, à ces images auditives au sein de leurs œuvres. Pour mémoire, *GP4* (Brand, 2004), produit bien une image auditive du relief terrestre grâce à une *audification topographique*. Cependant le dialogue entre cette image auditive et les autres éléments plastiques de l'installation, en fait une œuvre conceptuelle. En revanche, des œuvres comme *Le souffle de la terre* (Abenavoli, 2000), *Electrical Walks* (Kubisch, 2006), *Save the Waves* (Aubé, 2005) sont plus littérales. Le façonnage de *l'espace auditif* devient ici capital car ces œuvres s'adressent d'abord aux sens. La relation tactile et indicielle aux phénomènes physiques, réalisée grâce aux divers capteurs, lorsqu'elle est maintenue durant tout le processus d'audification, produit une *image auditive*. Cette *image auditive* est rendue possible car elle conserve dans son processus une similarité

¹¹⁸ « Objectif » au sens, déjà mentionné dans cette thèse, des artistes de l'abstraction du début du siècle. Objectif s'opposant au « non objectif » c'est-à-dire sans référent à la forme externe des « objets » perçus.

avec notre expérience du toucher. Un *toucher élargi* dans le sens de l'*haptique* tel que Raoul Hausman le définit. Pour lui, tous nos sens actualisent un «toucher» à distance : l'odorat, la vue, l'ouïe sont une extension du toucher dans la mesure où il nous permettent de saisir le monde matériel à distance de notre corps. L'ouïe et la vue peuvent être envisagées comme des antennes qui déclinent autant de modalités de l'haptique.

Dans la première phase de l'audification, les différents capteurs utilisés entretiennent une relation tactile avec les sources enregistrées : ondes électromagnétiques, ondes mécaniques, relief de surface. On l'a vu dans *Le souffle de la Terre* (Abenavoli, 1999-2007), *GP4* (Brand, 2004), *Delay* (Sherman, 2012), *Sketches of moving equations* (Grond, 2012), *L'optophone* (Hausmann, 1922), *Save the Waves* (Aubé, 2008), *Electrical Walks* (Kubisch, 2006). Cette empreinte temporelle originaire de toutes ces ondes est conservée dans la forme de l'onde sonore résultant des processus d'audification. Cette transposition qui opère un changement d'échelle des informations ondulatoires, rend sensibles et ainsi accessibles à notre système cognitif des données de nature tactile. C'est ce qui nous permet de les interpréter comme des images et de les qualifier d'*images auditives*. C'est cette faculté du son, qu'il soit façonné par transduction (*L'optophone* (Hausmann, 1922), *Le souffle de la Terre* (Abenavoli, 1999-2007), *VERTICALE* (Abenavoli, 2014), *SIGNE* (Steve Heimbecker, 2008)), par induction (*Save the Waves* (Aubé, 2008), *Electrical Walks* (Kubisch, 2006)), par transposition topographique (*GP4* (Brand, 2004), *Delay* (Sherman, 2012)), par transposition numérique (*L'Origine des espèces* (Robert, 2006)) qui en fait un médium spécifique pour les plasticiens, capable d'explorer puis de figurer la morphologie poétique du monde.

Le tableau ci-dessous réunit l'ensemble des œuvres analysées aux chapitres 4 et 5 et intègre aussi *VERTICALE* (2014) qui fait l'objet du prochain chapitre et propose une synthèse de ces différentes approches.

5.1 - Tableau de synthèse et proposition de typologies de sonification explorées par les artistes dans le corpus des œuvres analysées.

Artistes (par ordre alphabétique)	Œuvres	Sources : ce que les artistes désirent révéler, construire, donner à entendre	Données : sources décrites en terme techno-scientifiques	Catégories génériques des sources	Nature des captations	Capteurs	Sonification
Abenavoli, Lorella	<i>Le Souffle de la terre</i> (1997-2007)	L'énergie de la Terre	Ondes sismiques	Ondes mécaniques	Par auscultation (Le sismomètre est posé à la surface de la Terre)	Sismomètres	Audification auscultatoire
Abenavoli, Lorella	<i>VERTICALE, L. son d. la m..té. d. a sève d..s un a.bre au pr..temps</i> (2006-2015)	L'énergie des arbres	Ondes sonores et ultrasonores	Ondes mécaniques	Par auscultation (Le capteur ultrasonique est posé à la surface de l'aubier)	Capteur ultrasonique	Audification auscultatoire
Aubé, Jean-Pierre	<i>VLF</i> (2000-2004)	Paysage électromagnétique naturel	Ondes radio naturelles très basses fréquences	Ondes électromagnétiques	Par induction	Capteur VLF	Audification par induction
Aubé, Jean-Pierre	<i>Save the Waves</i> (2004)	Paysage électromagnétique Nord Américain artificiel	Ondes radio artificielles 50Hz	Ondes électromagnétiques	Par induction	Capteur VLF	Audification par induction
Brand, Jens	<i>GP4, The Earth is a Disc</i> (2004)	L'érosion du relief terrestre	Données topographiques terrestres	Relief topographiques	Par scanne linéaire	Dispositif de géolocalisation satellitaire	Audification topographique
Grond, Florian	<i>Sketches of moving équations</i> (2012)	La géométrie temporelle d'une fonction mathématique de Lorenz	La part d'audification dans cette œuvre concerne le timbre : enregistrement du tracé d'un crayon sur une feuille.	Ondes mécaniques et fonction mathématique	Construction géométrique des dimension spatio-temporelles que décrit la fonction de Lorenz	microphone	Audification sonore et sonification par mise en correspondance
Hausmann, Raoul	<i>L'Optophone</i> (1922-1934)	Lumière visible	Ondes lumineuses	Ondes électromagnétiques	Par transduction des fréquences lumineuses	Cellule de sélénium	Audification par transduction
Heimbecker, Steve	<i>Wind Array Cascade Machine</i> (2003), <i>Turbulence Sound Matrix</i> (2008) et <i>SIGNE</i>	Le vent	La sonification de SIGNE réside dans la transposition de la direction et de la vitesse du vent en amplitude sonore à 64	Courants éoliens	Par transduction des vitesses des courants éoliens	Un méta-capteur fait de 64 accéléromètres	Sonification par mise en correspondance

	(2008)		canaux.				
Kac, Eduardo et Gena, Peter (collab.)	<i>Genesis</i> (1999)	Le génome humain	Processus biologique de la synthèse protéique	Morphogénèse de l'ADN	Par construction et non par captation	Microscope électronique	Sonification par mise en correspondance
Kubisch, Christina	<i>Electrical Walks</i> (2004-2013)	Les paysages imperceptibles électromagnétiques urbains	Ondes électromagnétiques produites par les dispositifs technologiques électriques et électroniques.	Ondes électromagnétiques	Par induction	Capteur d'onde électromagnétique dont la bande de fréquence n'est pas précisée.	Audification par induction
Reeves, Nicolas	<i>La Harpe à nuages</i> (1997-2000)	Les nuages	La forme des nuages décrites géométriquement par la théorie du chaos.	Morphogénèse des nuages	Par construction issue d'une captation par rayon laser	Rayon laser	Sonification par mise en correspondance et audification abstraite
Robert, Jocelyn	<i>L'origine des espèces</i> (2006)	Le code	Données numériques du code source	Code numérique	Récupération du fichier source	Récupération du code source	?
Sherman, Mary et Grond Florian	<i>Delay</i> (2012)	Le regard balayant le relief d'une peinture	Données topographiques d'une peinture.	Relief topographiques	Par scanne linéaire	Scanner tomographique	Audification topographique
Tanaka, Atau	<i>Bondage</i> (2004)	L'interprétation subjective musicale d'une photographie érotique	Données topographiques d'une photographie	Les valeurs d'une photographie	Par extraction de données graphiques	Pas de capteur	Sonification par mise en correspondance

Tableau 5.1 : Ce tableau réunit l'ensemble des œuvres analysées au chapitre 4, 5 et 6. Il décrit les sources, les données, le type de captation et/ou de construction de sonification pour chacune des œuvres.

CHAPITRE VI

VERTICALE, L. son d. la m..té. d. .a sève d..s un a.bre au pr..temps

(Abenavoli, 2006-2014)

Ce dernier chapitre est un retour sur ma pratique. Il témoigne et complète, par le récit d'une œuvre réalisée durant la période doctorale, de la mise en œuvre d'une audification qui introduit un nouveau type de source au regard des œuvres évoquées jusqu'à présent.

6.1 Audification auscultatoire

*VERTICALE*¹ est un projet d'installation sonore. Il s'inscrit dans la famille des *éoelectrosoniques*, dont l'*audification* est élaborée *par auscultation*, à l'instar du *Souffle de la Terre* (Abenavoli, 1999-2007). L'auscultation s'inscrit dans l'histoire de la sonification (Dombois et Eckel, 2011, p.304) comme l'une de ses pratiques les plus anciennes. En effet, on peut présumer que poser son oreille sur le corps d'un compagnon pour en écouter les battements et les borborygmes est l'une des pratiques auscultatoires les plus anciennes. Transformer cette écoute en une connaissance s'inscrit dans l'histoire de la médecine où l'auscultation est précisément définie comme « l'action d'écouter les bruits qui se produisent à l'intérieur de l'organisme pour faire un diagnostic » (Robert, Rey-Dehove et Rey 2000, p. 177). Cette définition médicale exclut toutes les autres pratiques d'auscultation exercées par les bûcherons, les maçons ou les réparateurs automobiles, mais on comprend de quoi il retourne. L'écoute attentive et informée de l'intérieur d'un corps, qu'il s'agisse d'un corps humain, d'un arbre, de la Terre, d'une voiture... est une approche tactile, qui procède soit par percussion, soit par contact, dont les sons produisent des images auditives de l'invisible intériorité des corps. La médecine identifie deux types d'auscultation : l'immédiate et la médiata. La deuxième est attribuée à René Laënnec (1819) médecin français qui révolutionna la pratique médicale grâce à la mise au

¹ *VERTICALE, L. son d. la m..té. d. .a sève d..s un a.bre au pr..temps* sera simplement nommée *VERTICALE* dans la suite du texte.

point du premier stéthoscope (Peyraud, 1840; Herman, 2008; Dombois et Eckel, 2011, p. 304). L'auscultation qualifie probablement bien ma pratique. Il s'agit d'une action non intrusive où tout se joue dans la pertinence et la qualité d'une captation par orthèse tactile où le capteur posé à la surface d'un corps en saisit les vibrations. Pour appréhender les procédés mis en œuvre dans *VERTICALE*, on se servira à nouveau du *Schéma du dispositif auditif de la sonification* pour décrire les trois phases de sa sonification.

6.2 Projet – Entendre le flux de la sève

Mon premier séjour au Québec remonte au printemps 2004. Je venais présenter *Le Souffle de la Terre* dans une conférence organisée par Louise Provencher et Charles Halary² à Oboro. Ma communication s'intitulait : *L'énergie : une vision du monde* (Abenavoli, 2004). C'est lors de la visite d'une érablière à cette occasion que la possibilité d'entreprendre ce projet s'est cristallisée : en découvrant la récolte de l'eau d'érable, substance transparente et dense, entre huile et eau, plus aqueuse que la sève estivale, j'ai imaginé rendre perceptibles les vibrations de l'érable sous l'effet de la circulation de ces flux lymphatiques. Cela s'inscrivait dans un projet global, initié avec le *Souffle de la Terre*, celui d'entendre l'énergie des entités qui forment le monde.

6.2.1 Faisabilité

Grâce à la lecture d'un article³ de deux biologistes, l'un français, Pierre Cruiziat et l'autre états-uniens, Melvin Tyree, il a vite été confirmé qu'il était possible d'entendre l'intériorité des arbres. Ils avaient mis au point, en 1990, un système d'audification pour étudier la « cavitation », c'est-à-dire la formation puis l'éclatement de bulles de vapeur d'eau et d'air, au sein de la sève qui monte dans les arbres (Cruiziat, 2001, p.289). Accompagnée de Marie Aboumrad, alors jeune biologiste montréalaise rencontrée à la genèse du projet, je suis allée rendre visite à Melvin Tyree dans le Vermont, lequel m'a prêté son matériel pour faire les

² *Electre et Magnete* 2004, *Art spatial, gravitation et magnétisme*, événement, le 24 avril, Oboro <http://archive.oboro.net/archive/exhib0304/electric/fr.html>

³ C'est la lecture d'un de leurs articles intitulé *La montée de la sève dans les arbres* où ils disaient qu'ils avaient audifié la cavitation de la sève que je voyais qu'il existait déjà au moins une technique pour écouter les arbres. *La montée de la sève dans les arbres*. Article : Pierre Cruiziat et Melvin T. Tyree, *La recherche* n° 220, avril 1990, p.406 à 414

premiers tests. Le matériel était obsolète mais le plus important avait été transmis : la cavitation se situait dans un domaine de fréquences ultrasonores. Il fallait donc mettre en place un dispositif de captation en conséquence.

6.2.2 Captation

J'ai alors bénéficié, durant cette phase de captation, de l'aide technique décisive de Nicolas Reeves et de son laboratoire Nxi Gestatio (UQAM). Grâce à la structure d'Hexagram, où j'étais artiste invitée, nous sommes rentrés en contact avec l'Institut des Matériaux Industriels de Montréal (IMI) qui possédait des capteurs ultrasonores et le dispositif informatique permettant de traiter des données dont la fréquence d'échantillonnage allait à l'époque jusqu'à 1MHz (1 millions de points par secondes)⁴. L'IMI utilisait habituellement ce matériel pour identifier des défauts de structure au sein de bâtiments. Selon le principe de l'échographie, des ondes ultrasonores étaient alors envoyées dans la structure et la récupération des données, sous forme graphique, localisaient et indiquaient les défauts. Pour mon projet je n'ai conservé que le capteur afin de saisir les ondes ultrasonores par contact.

Nous⁵ avons fait des premiers tests dans une érablière avec le matériel approprié - capteurs pour ultrasons, numériseur, ordinateur portable et disque de stockage – et nous avons enregistré la montée de la sève dans un érable (Fig. 6.1). Nous avons exploité les perforations faites pour la récolte afin d'accéder à l'aubier se situant en-deçà de l'écorce. À l'aide du gel utilisé pour les échographies, on a colmaté le pourtour du capteur d'un diamètre de 3mm, afin d'éliminer l'air entre l'embout du capteur et l'aubier puis avons enregistré quelques minutes de signal à raison de 1 million de points par seconde. Par la suite, grâce au travail de Christophe Viau⁶, les signaux enregistrés à 1MHz ont pu être transformés en fichiers son lus à une

⁴ Capteur AE : 20 KHZ – 1000KHZ PAC et carte qui reçoit directement le signal analogique et le numérise – PCI 2 AE data acquisition board – PAC. PAC = Physical Acoustique Corporation : 195 Clarksville Road Princeton Jct, NJ 08550 USA

⁵ Nicolas Reeves et Harold Hébert, alors agent technique à l'IMI.

⁶ J'ai rencontré Christophe Viau lors d'une résidence à La Chambre Blanche en 2005 où il m'accompagnait sur une des études du *Souffle de la Terre*. Ingénieur, doté d'une grande capacité à explorer des systèmes de programmation informatique dans un contexte artistique, nous avons poursuivi notre collaboration sur la première phase de ce projet. Son travail de chercheur, essentiellement axé sur la visualisation, a pris beaucoup d'ampleur. Ses recherches sont visibles sur son site : <http://www.biovisualize.com/> - consulté le 26 mai 2016.

fréquence d'échantillonnage de 96Khz. Ainsi en amplifiant le signal et en ralentissant les fréquences, on procédait à une simple *audification* lors de laquelle nous avons entendu les premiers sons issus de ces enregistrements. Ces sons ressemblaient à des flux torrentiels, épais et magmatiques (◄ Fig. 6.2)⁷. Ce sont ces caractéristiques sonores qui m'ont convaincue de poursuivre le projet, bien que par la suite, je n'aie jamais retrouvé ces sonorités singulières.



Fig. 6.1 : Photographie durant la captation de la sève. En haut, de gauche à droite : le câble dans le prolongement du capteur fixé dans un orifice fait dans l'arbre pour la récolte; Harold Hébert et Lorella Abenavoli (2005) avec l'ensemble du dispositif de saisie. En bas (2006), de gauche à droite : l'érable; vue rapprochée du capteur dans l'arbre; Christophe Viau au travail.

Au printemps suivant, en mars 2006, j'ai fait une autre résidence d'une dizaine de jours dans l'érable artisanale des Éthier (Mirabel, Qc). J'ai à nouveau bénéficié du support de Nicolas Reeves et du Laboratoire Nxi Gestatio pour la préparation de la résidence. J'y ai résidé lors de la récolte de l'eau d'érable, assistée de Christophe Viau. Munis des capteurs et des interfaces de l'IMI, de l'ordinateur du laboratoire NXI Gestatio (et de sa protection contre la

⁷ ◄ Fig. 6.2 : *VERTICALE* (2006-2014) Lorella Abenavoli. Fichier brut. Premières captations de la sève dans un érable à sucre en 2006. Échantillons à 1MHz ralentis à 96KHz.

neige, la boue et le froid...) et de disques externes de stockage, nous avons fait des enregistrements nocturnes et diurnes durant plusieurs jours, expérimentant diverses fréquences d'échantillonnage entre 1MHz et 5MHz. Les signaux ont été mis au format .wav dès leur captation, grâce à un programme écrit à cet effet par Eric Poncet (Nunasoft)⁸.

6.2.3 Audification et recherche : premiers pas

J'avais ainsi mon matériau prêt à être écouté et travaillé durant ma résidence à Oboro au mois d'avril suivant. Nous avons décidé de travailler avec Audacity, logiciel libre de traitement du son capable, par une manipulation aisée, de transformer les fréquences d'échantillonnage ultrasonore en fréquences sonores. En réalité, une partie des données étaient déjà audibles par la simple amplification du signal. Cela produisait un bruit blanc, très aigu, que je ne souhaitais pas conserver en l'état. Je souhaitais rentrer dans la matière sonore grâce au ralentissement du signal, à la recherche des premiers sons entendus l'année précédente. J'inversai alors le procédé utilisé lors du *Souffle de la Terre* qui avait consisté à accélérer les ondes infra-sonores. La résidence à Oboro a, de ce point de vue, été déconcertante. J'ai travaillé de longues heures avec Audacity mais je n'arrivais pas à reproduire systématiquement les manipulations que je faisais. J'ai pensé à l'époque que ce logiciel était alors instable, ce qui ne me permettait pas de comprendre ni de me fier à ce que j'entendais. Pour clore ma résidence à Oboro, malgré mes incertitudes, j'ai fait une présentation du travail où furent invités tous les partenaires du projet; j'y ai donné à entendre certains enregistrements et j'ai esquissé une *spatialisation verticale* du son, réalisée sur une colonne de 5 haut-parleurs, au studio son d'Oboro avec l'assistance de Stéphane Claude⁹. Malgré mes propres doutes, cette expérience me permit de comprendre qu'il était possible de spatialiser verticalement le son ainsi que je l'avais imaginé au tout début du projet (Fig. 6.3). Je repartais avec une très grande quantité d'enregistrements dont je n'avais exploré qu'une infime partie.

⁸ Eric Poncet, Chief Technology Officer, Founder & President Nunasoft Inc.

⁹ Stéphane Claude est chercheur et responsable du secteur audio d'Oboro.
<http://www.oboro.net/fr/individus/st%C3%A9phane-claude>

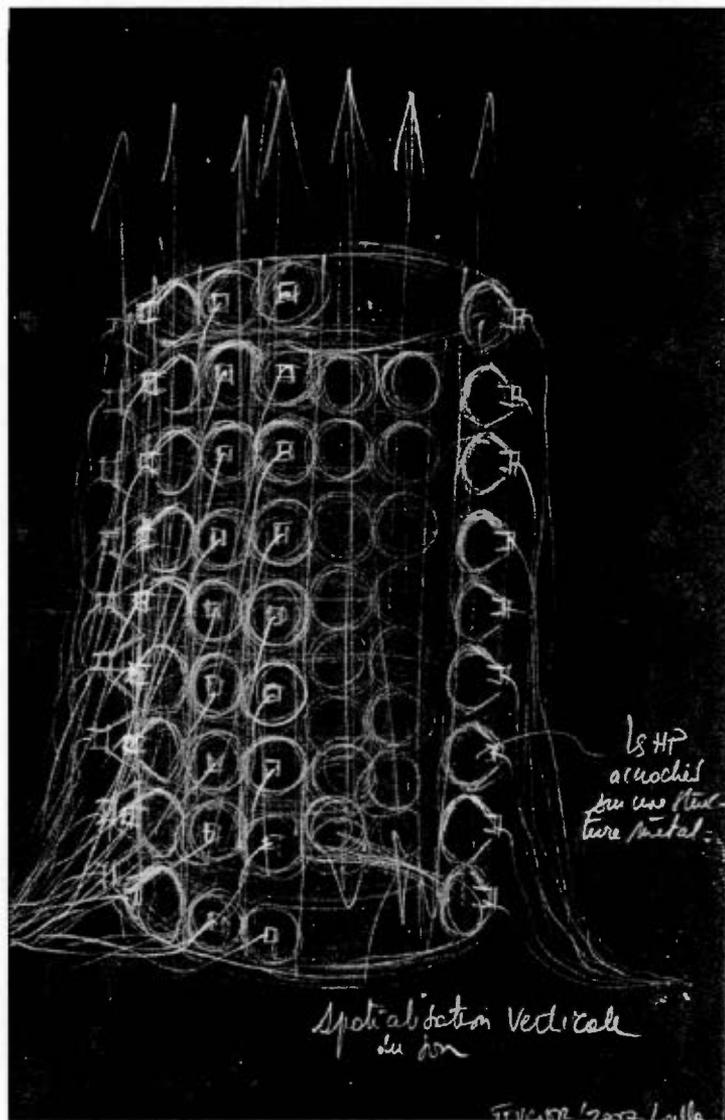


Fig. 6.3 : *VERTICALE*, Première esquisse (2007) Lorella Abenavoli

6.2.4 Réflexions 1 : la recherche et ses moyens

Cette première phase de recherche de *VERTICALE*¹⁰ était bien plus incertaine que celle réalisée lors du *Souffle de la Terre*. Cette incertitude était d'abord due aux périodes très brèves durant lesquelles il était possible de travailler et ensuite à la distance qui séparait mon lieu de vie, en

¹⁰ À l'époque le projet s'intitulait *Le son de la montée de la sève dans un arbre au printemps, d'un érable*.

France, du lieu des partenariats et de l'expérimentation au Québec. Cette première phase de recherche, et l'apprentissage qui l'accompagne, incluaient de très nombreuses inconnues et il est difficile d'aspirer à mener une recherche de cette nature sans une certaine constance et stabilité dans les moyens mis en œuvre. Une telle structure de travail ne peut être menée que dans un contexte de recherche universitaire ou à tout le moins dans une institution qui permet d'accueillir les aléas de la recherche spécifique à ce type de pratique. Je parle ici de la recherche technologique. Comme artiste indépendante j'avais épuisé mes ressources avec le *Souffle de la Terre* et je pensais que les arbres me permettraient de travailler avec moins de contraintes. C'était une erreur. La contrainte n'était pas en lien avec la nature de « l'objet » travaillé mais bien avec les technologies nécessaires à son élaboration, ce qui requiert un apprentissage et des expérimentations technologiques avec essais et erreurs. Pourtant je repris la totalité de ce matériel brut quelques années plus tard en 2012, en l'explorant de façon systématique. Découvrant alors ce qu'il recélait, je décidai de réaliser *Verticale* et de l'inclure dans cette recherche car il apportait un nouvel éclairage sur le plan de la sonification et de l'audification tant dans ma pratique qu'au sein de cette thèse.

Sur le plan de l'audification ce travail traite de données qui n'ont pas encore été abordées : ce sont des ondes mécanique ultrasonores dont les sources sont des flux organiques. Sur le plan de ma pratique j'abordais ici le domaine des ultrasons dont une des problématiques techniques était inversée au regard du *Souffle de la Terre* puisqu'il fallait ralentir le signal temporel pour commencer à faire surgir des formes auditives¹¹. Outre ces aspects rationnels, qui sont plutôt la résultante de la construction de cette thèse, le désir profond qui m'a dicté ce travail a été motivé depuis l'origine par un ensemble de causes : une *Einführung* expérimentée d'innombrables fois avec les arbres, la puissance de la figure archétypale de l'arbre et l'immensité du champ ouvert avec ce projet. Une des premières révélations émouvantes et inspirantes des tout premiers enregistrements fut la découverte de variations importantes sur le plan auditif entre deux essences d'arbres : l'érable de Norvège et l'érable à sucre. On pouvait donc, à partir de là, imaginer des rythmes et des formes temporelles singulières pour

¹¹ Cette méthode est discutable car on peut aussi décider de retirer de l'information en s'aidant de la Transformée de Fourier et ne garder que ce qui serait statistiquement saillant. Cette méthode n'a pas été retenue mais elle pourrait être expérimentée.

chaque essence, elles-mêmes variant selon la saison, les cycles diurnes et nocturnes, la température..., et rendre ainsi audible leur murmure.

Quelques artistes ont déjà travaillé à audifier d'autres essences. Je pense en particulier à une recherche similaire, à certains égards, qui rend perceptible la montée de la sève dans un pin (*Pinus Sylvestris*). Sur le plan de la recherche préliminaire ce travail est exemplaire. Dirigé par l'artiste Marcus Maeder¹², *TREES* (2009) est le fruit d'une collaboration entre scientifiques et artistes (Maeder, sous presse). L'expérimentation de divers capteurs, le soin de leur mise en place, le travail d'écoute et le temps consacré à cette phase capitale en font un modèle de recherche collaborative interdisciplinaire. Le dispositif de captation mis en place sur le pin est pérenne et permet ainsi de l'écouter en continu. Les flux sonores issus d'une amplification du signal sont denses et riches. En complément de ce travail d'audification de la sève, certaines mesures sont quant à elles sonifiées, mettant en contraste des paramètres climatiques divers et le flux de la sève, offrant aux chercheurs une représentation acoustique mêlant images auditives indicelles et images auditives métriques. La documentation mise à disposition quant aux installations artistiques est moins aboutie mais reste prometteuse.

6.3 VERTICALE, *L. son d. la m..té. d. .a sève d..s un a.bre au pr..temps*, *Étude n°1* (2014)

6.3.1 L'écoute

Je repris donc en 2012 la cinquantaine de DVD de données que nous avons faits. Je constatai après quelques semaines qu'il y avait eu une défaillance quant à la captation d'à peu près 85% des enregistrements, ce qui expliquait les difficultés rencontrées lors de ma résidence à Oboro. Les 15% restant avaient été faits sur deux essences d'arbres : un érable de norvège et un érable à sucre. J'avais de nombreuses données concernant la deuxième espèce, ce qui me permit de comparer les courbes, tout d'abord visuellement puis auditivement, qui révélaient clairement l'activité cavitationnelle de la sève (Fig. 6.4). C'est donc à partir de ce matériau brut que je décidai de travailler et de réaliser ma première installation, exposée à la Galerie

¹² Un site et un blog dédiés à l'ensemble de la recherche est accessible ici : <https://blog.zhdk.ch/marcusmaeder/about/> consulté le 2 juin 2016. Ce projet mis en œuvre en 2009 fait l'objet d'une collaboration dans le cadre de « Institute for Computer Music and Sound Technology » et (ICST) du « Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research » (WSL). Les collaborateurs de Marcus Maeder à l'ICST sont Philippe Kocher et Jonas Meyer.

R3 à l'automne 2014¹³. Les signaux sonores ralentis à différentes fréquences d'échantillonnage étaient, tout comme leur représentation graphique (Fig. 6.6 ♣), assez pauvres. Cependant mon travail plastique a toujours eu pour principe d'accueillir les formes inhérentes à mes matières quel qu'en soit leur aspect et de les explorer plastiquement jusqu'à en extraire une forme sensible capable de donner corps à une œuvre. Je décidai donc d'explorer plastiquement ces données avec toujours cette double tension : mettre en exergue les saillances tout en conservant les caractéristiques du signal acoustique. Les saillances de ce signal consistaient en d'innombrables impulsions percussives non périodiques dont le timbre était à peu près identique pour chaque éclat de bulle de gaz. Leur représentation graphique correspond aux pics de la figure 6.4. J'ai procédé, avec l'aide de Florian Grond, à une normalisation du signal. Il lui appliqua une dérivée afin que ce dernier se place de part et d'autre de l'axe des « 0 » du schéma cartésien (Fig. 6.4). Il y avait une deuxième qualité de signal, qui se trouvait entre les pics de la cavitation. (Fig. 6.4). J'ai décidé de procéder

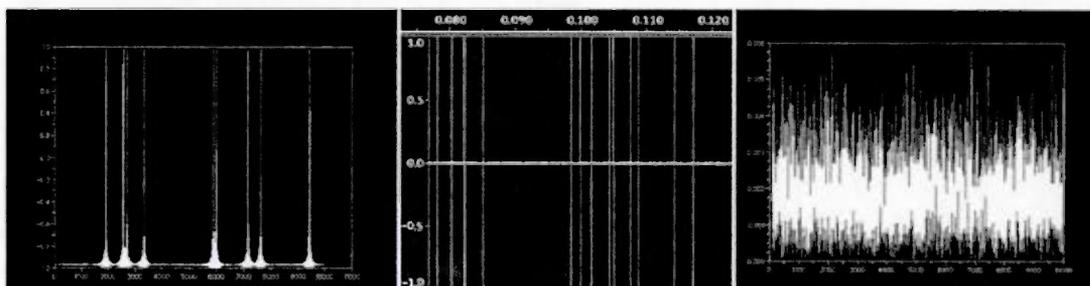


Fig. 6.4 : De gauche à droite. 1 - Courbe montrant grâce aux pics les « explosions » des bulles de cavitation. L'ensemble du signal est arrimé au bas du graphe. 2 - Le même signal « normalisé ». 3 – Agrandissement de la courbe se situant entre les pics de cavitation.

comme je l'avais fait avec le *Souffle de la Terre*. Pour pouvoir y accéder, j'excluais les pics dont l'amplitude avait pour effet d'écraser le reste du signal. Il apparut alors une nappe sonore avec de très légères variations dont la forme auditive évoquait une sorte de flux éolien continu traversant un milieu pourtant solide.

¹³ Exposition, *VERTICALE, L. son d. la m..té. d. .a sève d..s un a.bre au pr..temps*, Lorella Abenavoli, du 9 au 24 octobre 2014, Galerie R3, Trois-Rivières, Québec.

6.3.2 Réflexions 2 : le bruit et l'informe

Lorsque Florian Grond m'envoya les signaux sur lesquels il avait appliqué la dérivée, il évoqua ses doutes quant à l'intérêt d'une telle matière. Ses remarques firent alors écho à celles faites des années plus tôt par Jean-Paul Montagner au début de mon travail à partir des ondes sismiques : « Mais tu n'obtiendras que du bruit! m'avait-il dit »¹⁴. Je compris dès lors que ce qui m'intéressait dans ces matériaux c'était justement le « bruit ». Jean-Paul Montagner parlait alors du point de vue des sciences et de la musique. En science le bruit désigne des données parasites qui ne correspondent à rien de connu, d'identifiable, à aucune forme qui ne s'inscrive dans un savoir circonscrit. En art, et en musique en particulier, le bruit a désormais une longue histoire dont *L'art des bruits* (1913) de Luigi Russolo (2006) marque une nouvelle ère. Dans son manifeste futuriste Russolo faisait alors référence au bruit de la cité, des machines, en somme aux sons « triviaux » de la société industrielle de l'époque. La position artistico-politique qu'il revendiquait, contrairement à l'écologie sonore inaugurée avec Murray Schaeffer, incluait l'activité technologique humaine dans le domaine esthétique et lui accordait une valeur. Position que l'on peut d'ailleurs rapprocher de celle de Jean-Pierre Aubé. Quant à moi, dans les bruits tout d'abord découverts lors du *Souffle de la Terre* résonnait l'écho du monde. Le bruit donne à entendre les zones d'interconnexion, de relation, d'échanges où le frottement des énergies produit en effet des contrées indifférenciées, jusqu'à ce qu'elles deviennent des formes qui à leur tour se diluent à nouveau en agitation informelle et illisible. Ce bruit c'est la promesse du monde et ses sonorités en art construisent une connaissance sensible, la connaissance de tout ce que nous méconnaissons. Il est impossible de dire quelle est l'origine des nappes sonores qui constituent le signal de *Verticale*; ondes électromagnétiques de l'ordinateur, ondes électromagnétiques induites par le capteur, flux de la sève, ou d'autres encore. Mais elles sont bien présentes. Dans ce travail, tout comme dans *Save the Waves*, *Electricals walks*, *SIGNE*, mais aussi dans de nombreuses œuvres audio issues d'une audification que nous n'avons pu aborder dans ce texte - je pense ici à *Bruits répandus – Moment donné* (2005) de Caroline Gagné qui rend audibles les ronflements des courants d'air qui s'infiltrèrent dans les interstices des portes des maisons des Îles de la

¹⁴ Malgré cette remarque initiale sa curiosité et son intérêt l'engagèrent totalement dans le projet durant plusieurs années.

Madeleine, à *Crystalline domain* (2014) de Erin Sexton¹⁵ qui audifie les transformations chimiques de cristaux qu'elle cultive, à l'œuvre de toute une vie de l'artiste danois Knud Viktor (1924-2013) qui nous donna à entendre les sons de l'araignée qui tisse, de l'escargot qui rampe, du lapin qui dort dans son terrier...¹⁶, à *Blue Morph* (2007) de Victoria Vesna¹⁷ installation interactive qui audifie la phase de la métamorphose d'une chenille en papillon... Pour ces œuvres, le bruit, dont les qualités sont singulières, révèlent des états instables et temporels de la matière qui résonnent dans toute chose. L'art donne corps à ce bruit.

6.3.3 VERTICALE Étude n°1 : modelage sonore et construction de l'espace auditif

Je décidai d'exploiter le potentiel du matériel enregistré en l'envisageant comme une première phase d'exploration, en vue de construire, quand les conditions matérielles seraient réunies, une œuvre en temps réel. L'essentiel de l'intervention sur le signal sonore consista dans le ralentissement à différentes fréquences d'échantillonnage. Pour cette partie de la recherche, je repris le logiciel Audacity qui rendait effectivement possible ce travail. Je sélectionnai un seul échantillon d'une durée d'1 minute (1 millions de point/secondes = 60MHz). Si j'écoutais ce signal au format conventionnel de 44 100Hz j'obtenais un signal d'une durée approximative de 27 minutes. J'ai ainsi produit différents échantillons de différentes longueurs en faisant subir un simple ralentissement au signal afin de le rendre perceptible à diverses échelles temporelles. Je transférai ces échantillons sur Pro-Tools dont l'ergonomie facilitait le travail multicanal tout en rajoutant une réverbération afin de donner un peu d'épaisseur aux sonorités percussives un peu sèches.

¹⁵ <http://erinsexton.com/crystallinedomain/> consulté le 3 juin 2016. Ce travail a fait l'objet d'une conférence de la part d'Erin Sexton lors de ses premières recherches au StudioXX de Montréal le 10 septembre 2012.

¹⁶ Dans une entrevue télévisuelle de 12mn (1979, France 3 tv française) Knud Viktor exprime avec la simplicité et la clarté qui caractérisent son cheminement les trois motivations qui le poussent à la recherche des infimes sonorités du monde. En réponse au journaliste qui l'interroge sur ce qui l'intéresse dans ce travail d'enregistrement il répond : «Il y a d'abord l'aspect un peu scientifique... la curiosité, il y a aussi un côté sentimental et il y a l'objet sonore et la poésie sonore» Archive INA, 12mn6, <http://www.ina.fr/recherche/search?search=knud+Viktor> consulté le 3 juin 2016

¹⁷ Cette œuvre a fait l'objet d'un article de la part de son auteur dans *AI&Society* Vesna, V. 2012, Vibration matters : collective blue morph effect, in *AI&Society* (2012) 27:319-323 DOI 10.1007/s00146-011-0359-x

6.3.4 Composition spatiale verticale

La poursuite du travail sonore devait attendre la construction du dispositif auditif conçu en vue de produire un environnement immersif dans lequel la spatialisation verticale constituait l'autre part expérimentale de ce projet, verticalité expérimentée en 2006 à Oboro sur une colonne de 5 haut-parleurs et qui avait été concluante. L'idée était simple : organiser les haut-parleurs selon une structure cylindrique, suspendue, faite de 42 haut-parleurs (6 « colonnes » de 7 haut-parleurs chacune) allant du sol au plafond et d'un diamètre approximatif de 2,50 m (Fig. 6.7), dans lequel on pénétrerait pour se laisser transporter dans cette ascension sonore évoquant le mouvement de la sève dans l'arbre. Chaque niveau horizontal de haut-parleur correspondait à un canal audio. On avait ainsi un dispositif à 7 canaux. Le nombre de haut-parleurs a été déterminé au regard de la hauteur sous-plafond d'approximativement 4,80 m du lieu d'exposition de la Galerie R3. Mais la structure étant modulaire, il était possible d'élargir le diamètre et le nombre de haut-parleurs sur la hauteur.

Une fois le dispositif réalisé¹⁸, c'est-à-dire, une fois Pro-tools connecté à la carte son dans laquelle étaient branchés 4 mini-amplificateurs stéréo, raccordés aux sept canaux des sept niveaux de haut-parleurs, le travail de façonnage sonore a commencé (Fig. 6.8). Le travail de spatialisation n'a pas été automatisé mais il a été composé pour ce dispositif. Cet aspect du travail est probablement l'une des prises de conscience les plus importantes que j'aie eues avec cette pièce. La spatialisation verticale est sur le plan psycho-acoustique assez difficile à percevoir au regard de notre appareillage auditif qui perçoit plutôt les mouvements sonores horizontaux et latéraux. Il fallu donc mettre en place des stratégies acoustiques qui demandaient un ajustement méticuleux du déplacement vertical du son¹⁹.

¹⁸ Liste complète du matériel du dispositif audio: 42 haut-parleurs, 110m de câble audio, système de suspension en câble d'acier avec structure métal en haut, 84 sert-câbles cylindriques amovibles. Système audio + électronique : suspension en câble acier, sert-câbles cylindriques amovibles et bois, Système d'attache suspension bois et câbles d'acier, 4 amplificateurs Amphony + 4 transformateurs, 4 câbles audio double, prise RCA avec 7 adaptateur jack ¼, 1 carte son M-Audio Fire Wire 410 + câble FireWire 400 et 800, un Macmini et système d'exploitation 10.6.8 + transformateur, logiciel Pro-tools et grm tools, 2 prises multiples dont une avec protection foudre pour ordinateur. Boutons On-off aux deux, un écran Samsung, un clavier MacIntoch, une souris.

¹⁹ Si les données de la sève avaient été traitées en temps réel la question de l'automatisation de la spatialisation se serait nécessairement posée. Elle aurait néanmoins exigé cette première étape expérimentale à même le dispositif pour en déterminer les paramètres d'automatisation.

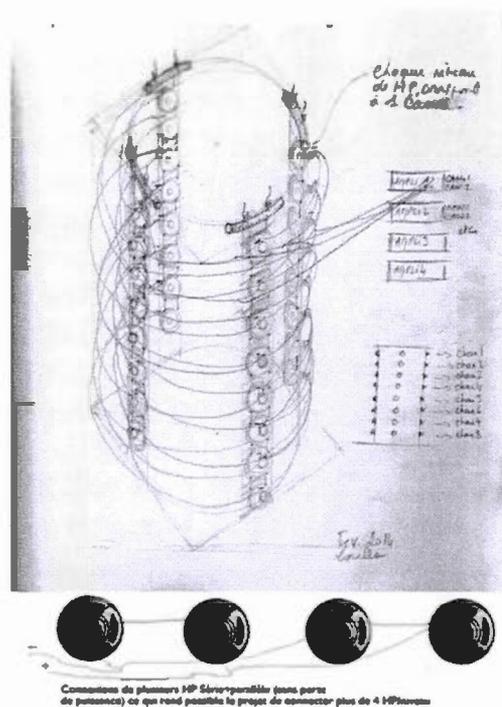
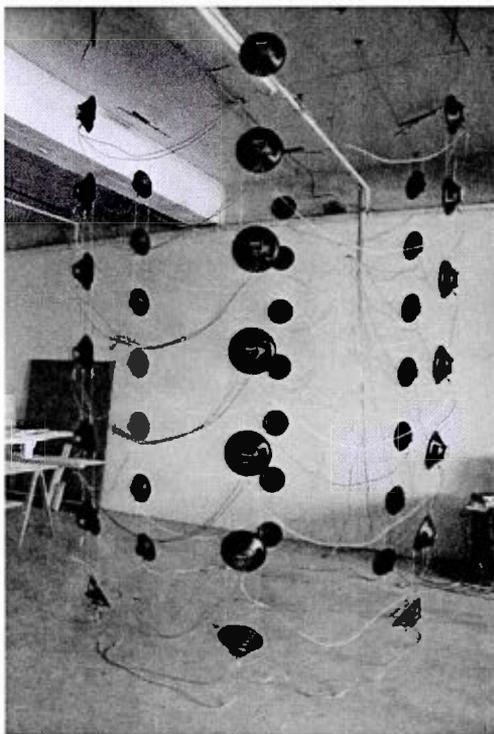


Fig. 6.5 : *VERTICALE* (2014) Lorella Abenavoli. En cours de réalisation à l'atelier, en juillet 2014.

Fig. 6.6 : *VERTICALE* (2014) Lorella Abenavoli. Esquisse technique montrant le raccord de chaque niveau aux amplis ainsi que la connexion en parallèle des haut-parleurs afin qu'il n'y ait pas de déperdition de puissance à la sortie. C'est la connexion en parallèle qui a permis d'envisager 6 haut-parleurs par niveau.

J'avais, à ce stade du travail, une quinzaine d'échantillons sonores dont la bande de fréquence et la durée variaient en fonction du ralentissement que j'avais fait subir au signal d'origine. Le premier signal avait une fréquence de 500KHz. Il produisait un signal très aigu, un bruit blanc « électrique » lequel annonçait pourtant déjà de multiples objets sonores percussifs. Quant au quinzième signal, le plus dilaté, il n'avait auditivement plus rien à voir. La cavitation ressemblait à des gongs ou des coups de tonnerre très espacés entre lesquels des nappes graves laissaient entendre les flux éoliens évoqués précédemment. Cette description est nécessaire pour comprendre la nature du travail de spatialisation réalisé par la suite. L'ensemble de mes 15 échantillons couvrait la bande de fréquences audibles (20-22KHz)

voire au-delà, bien que limité par la bande passante de haut-parleurs (100-10KHz)²⁰. Cette amplitude spectrale allait complexifier la perception de la spatialisation verticale, principalement en raison de la difficulté à localiser auditivement les moyennes-basses et les basses fréquences.

Mon dispositif de spatialisation était donc organisé de la façon suivante : j'avais mes 7 canaux correspondant chacun aux 7 niveaux de haut-parleurs, (Fig. 6.8) le son se déplaçant ainsi du bas vers le haut. Le principe étant que lorsque le son passe du niveau 1 au niveau 2, le niveau 1 s'estompe et le volume du niveau 2 augmente puis décroît en passant au niveau 3 et ainsi de suite. Ce travail se faisait bien entendu à même le dispositif et la gestion des fonds audio se faisait en fonction des effets perceptifs produits. La perception d'un parcours acoustique vertical requiert cependant d'intervenir aussi sur la hauteur du signal pour donner à percevoir cette orientation vers le ciel²¹. La principale intervention a consisté à filtrer légèrement le signal en fonction de la hauteur métrique à laquelle se trouvaient les haut-parleurs, en laissant passer plus de graves dans la partie basse de l'installation et en les filtrant pour les parties supérieures surtout aux 6e et 7e niveaux proches du plafond. En laissant passer plus d'aigues dans les hauteurs auxquelles l'oreille est plus sensible cela permettait de mieux localiser les sources. J'accentuais ce phénomène en ajoutant un peu plus de réverbération pour l'allonger dans la durée et obtenir la sensation d'une disparition du signal vers le ciel.

La spatialisation verticale telle qu'elle vient d'être expliquée n'a pas été systématique. Pour mettre en valeur ce cheminement vertical, il n'était pas toujours nécessaire de spatialiser ainsi le son. Cela dépendait des qualités sonores des échantillons et de la signification plastique que je souhaitais transmettre. Par exemple les nappes sonores de fréquences basses, lorsqu'elles apparaissaient, étaient la plupart du temps uniquement diffusées sur les haut-parleurs du bas car la spatialisation des graves est presque impossible; il n'était donc pas nécessaire d'exploiter les 7 niveaux de haut-parleurs pour leur diffusion. Par ailleurs, en les

²⁰ Les haut-parleurs utilisés avaient une bande de fréquence de 100-10KHz. Diamètre : 5", puissance : 20 W RMS, Impédance : 8 Ohms. Tous ces paramètres ont été choisis en fonction de la compatibilité avec les mini-amplificateurs.

²¹ J'ai bénéficié ici de quelques conseils rapides mais tellement pertinents de Patrice Coulombe, artiste et compositeur.

diffusant uniquement dans le bas cela ancrerait ces sons dans la terre, laissant véhiculer les tonalités passagères plus aiguës vers les hauteurs, accentuant ainsi la perception de leur mouvement ascendant.

Le schéma ci-dessous (fig. 6.9) présente l'interface Pro-tools sur laquelle on peut observer sept pistes, correspondant au sept niveaux de haut-parleurs. La piste du bas correspond aux haut-parleurs du bas et chaque piste successive correspond au niveau des haut-parleurs



Fig. 6.7 : *VERTICALE* (2014) Lorella Abenavoli. Interface Pro-tools montrant les sept pistes du bas vers le haut correspondant aux sept canaux audio des sept niveaux de haut-parleurs.

suivants. On constate la ressemblance entre chacune d'entre elles et le léger décalage temporel des échantillons qui correspond à ce cheminement vertical du son. La ligne noire sur chaque piste met en exergue le travail sur les volumes. Là encore similarité, décalage mais aussi écart entre chaque piste sont observables. En revanche on ne peut voir les effets mis en œuvre tels que les filtrages et la réverbération et quelques autres micro-interventions.

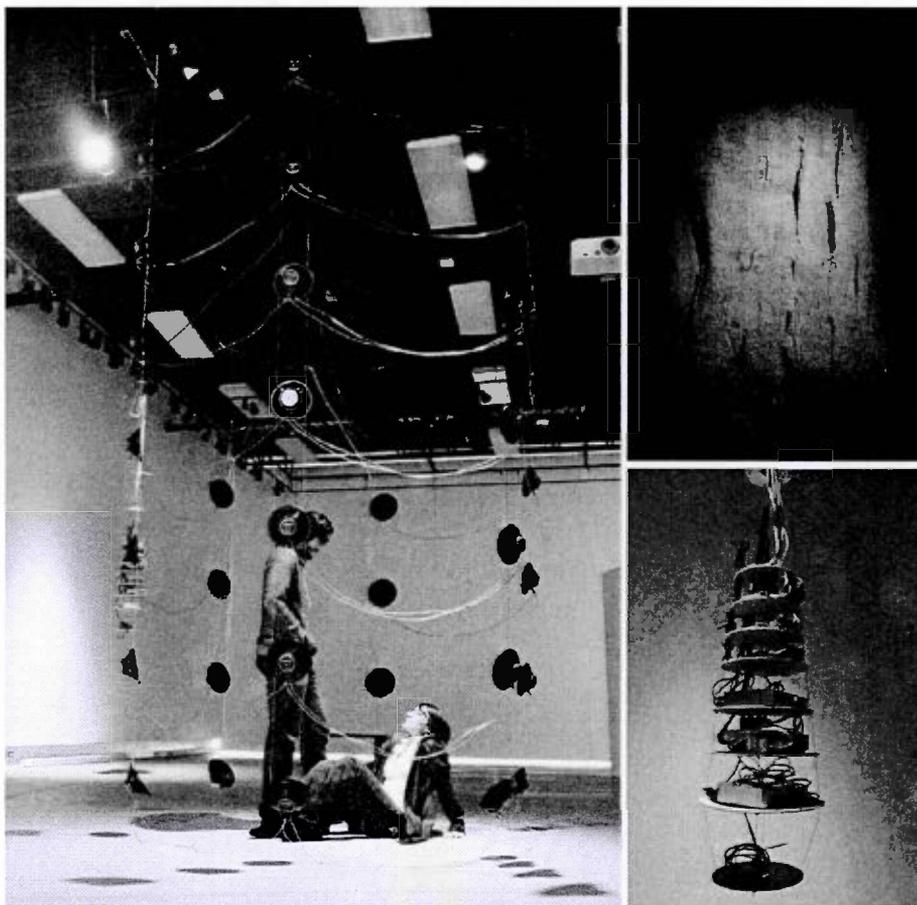


Fig. 6.8 : *VERTICALE, Étude n°1*, (2014) Lorella Abenavoli. Octobre 2014, Galerie R3, Trois-Rivières. En haut à droite : le bas-relief de l'empreinte d'un érable en plâtre (1,80 x 1,60m.). En bas à droite : suspension contenant toute l'électronique et l'informatique de l'installation. (Long. approx. 1m.)

6.3.5 *VERTICALE, étude n°1* à la Galerie R3

La vidéo (📺 Fig. 6.9)²² permet de voir le dispositif et d'entendre les sonorités déployées à défaut de rendre compte de la spatialisation verticale. L'ensemble de l'installation a été réalisé en mettant en tension trois éléments composant l'espace : le cylindre de haut-parleurs suspendus, la suspension de l'ensemble de l'électronique, le bas-relief en plâtre de l'empreinte d'un érable (approx. 1,80 x 1,60m). (Fig. 6.8). La structure ouverte du cylindre

²² 📺 Fig. 6.9 *VERTICALE* (2014) Lorella Abenavoli. Exposition à la Galerie R3. Exposition du 9 au 24 octobre 2014. Trois-Rivières. Québec. <https://www.youtube.com/watch?v=8oBzqFYz6GA>

laisse les sonorités se répandre dans l'ensemble de la galerie. Cependant ce n'est qu'en pénétrant à l'intérieur, là où sont orientées les membranes des haut-parleurs, que l'on perçoit à la fois les nuances sonores mais aussi la spatialisation. La spatialisation ne relève pas seulement du travail acoustique mais elle tient aussi à la proximité réelle de notre corps avec cette structure. Notre tête arrive approximativement à mi-hauteur du dispositif (Fig. 6.8), ainsi lorsque les sons parcourent la verticalité, de fait, notre appareil auditif éprouve physiquement la distance et la proximité avec ces sonorités qui se rapprochent et s'éloignent de notre corps sentant. Le choix de suspendre tout le dispositif de diffusion audio fut fait au regard de trois contraintes majeures : pouvoir ajuster le diamètre du cylindre - car chaque «colonne» suspendue est indépendante - , pouvoir modifier sa hauteur en fonction du lieu et enfin éviter que les vibrations acoustiques ne soient transmises aux visiteurs par le sol. La transparence du dispositif avait pour vocation de laisser le son occuper tout l'espace. Quant au système électronique alimentant *Verticale*, il m'apparaissait fondamental de le rendre visible en l'exposant dans une structure elle aussi en suspension, une sorte de fruit suspendu conçu comme un mobile dont les dizaines de câbles audio de cuivre rejoignaient la structure cylindrique (Fig.6.8).

6.3.6 Réflexions 3 : espace auditif, so(g)nification, fiction

J'ai compris grâce à ce travail de spatialisation, bien plus structuré et élaboré que celui du *Souffle de la terre*, que le façonnage du son dans l'espace constitue une dimension en soi, autonome et puissante. Cette compréhension a été aussi formulée sous la forme d'un discours réflexif grâce à l'analyse des œuvres de cette thèse, et en particulier à *SIGNE* de Steve Heimbecker, dont je me sens proche à de nombreux égards. Mais contrairement à son projet, dans lequel la spatialisation des mouvements éoliens est mise en correspondance avec les mouvements réels des accéléromètres, la spatialisation de *VERTICALE* n'est pas une transposition de la vitesse de l'ascension de la sève dans l'arbre. L'immersion et la verticalité sont mises en œuvre pour évoquer ce mouvement, pour le donner à sentir, mais je ne me situe plus, lors de ce travail de façonnage spatial dans une pratique de sonification. Seules les données, quoique là aussi librement composées dans la durée, appartiennent à l'audification. Cette liberté que je me suis octroyée dans cette phase de réalisation de l'espace auditif est originellement dûe au fait que je n'avais pas réuni les conditions pour traiter en temps réel les

flux de la sève avec les mesures de leurs vitesses. Cependant l'étude n°3 de *VERTICALE* mise en œuvre avec le dispositif *TSM* de Steve Heimbecker²³ m'indique que j'ai touché une dimension plastique cruciale du sonore. En effet, en explorant la spatialisation verticale à partir de données enregistrées comme une phase de recherche spécifique, j'ai ouvert au sein de ma pratique une perspective exaltante, probablement l'une des plus précieuses depuis que j'ai commencé à travailler le son. Elle concerne *l'espace-temps* - concept plastique déjà rencontré avec Raoul Hausman et Heimbecker et qui habite de très nombreux artistes depuis le début du XXe siècle. Je la reformulerai ainsi : plastiquement la notion d'espace-temps désigne le fait de donner corps à une forme faisant coexister indissociablement *l'espace* et *le temps*. Et le son est le médium qui possède cette faculté de faire coexister, ou plus exactement de donner corps et de rendre sensible la coexistence *de facto* de ces deux dimensions que la langue sépare. On retrouve cette dimension du sonore explorée et magistralement mise en œuvre dans les installations sonores de l'architecte Bernhard Leitner. Cependant la spatialisation dans *VERTICALE* introduit une part de fiction, en mêlant des sonorités renvoyant à un « réel » audifié au sein d'une diffusion acoustique immersive et ascensionnelle. On pourrait alors parler d'une so(g)nification comme d'un songe sonore, à propos de ces images auditives qui prennent racine dans une relation tactile au réel mais dont la mise en espace est une fiction. Si le rapport à la « vérité » et à l' « exactitude » soutendue dans la définition de la sonification scientifique est malmenée dans *VERTICALE*, il me semble pourtant que cette phase de recherche renoue avec l'art, c'est-à-dire avec une intuition formelle qui, même si elle n'est pas scientifiquement exacte, propose pourtant une image du monde signifiante. Mais je ne souhaite pas non plus opposer deux approches en affirmant que l'arbitraire artistique justifie le fait de ne pas traiter les données en temps réel. Le traitement des mesures de la vitesse de la sève propose certainement des schémas morphologiques insoupçonnés que j'espère avoir l'occasion d'explorer dans les prochaines années.

Précisons que ce travail n'introduit pas d'innovation technique en terme de composants. Tous existent mais c'est leur détournement (capteurs) et leur agencement et bricolage sur mesure (ampli, hp, logiciel) qui sont singuliers et originaux. En revanche c'est en envisageant l'*audification* dans sa dimension tout à la fois sonore ET spatiale que réside une voie à

²³ Voir paragraphe 6.4

explorer dont la communauté de chercheurs²⁴ en sonification a pris conscience depuis peu (Neuhoff, 2011, p.73). La difficulté de cet aspect de la recherche réside dans la reproductibilité des dispositifs audio de spatialisation.

6.4 *VERTICALE, étude n°3 (2015)*

6.4.1 *VERTICALE et Turbulence Sound Matrix (TSM)*

J'ai pu explorer de façon déterminante ce travail de spatialisation sonore dans le cadre d'une collaboration avec Steve Heimbecker. Il était alors invité par l'École des médias de l'UQAM pour une résidence d'une année en 2014-2015. Il a présenté lors d'une soirée-performance (UQAM, décembre 2014)²⁵ son dispositif *TSM* dans un contexte de concert où une dizaine de compositions avaient été réalisées par des musiciens enseignant à l'UQAM²⁶. J'entendis là un potentiel technique parfait pour y diffuser *VERTICALE*. Outre la configuration immersive des haut-parleurs, ce qui me tentait c'était la puissance acoustique et la bande fréquence couverte²⁷, bien plus large que celle de mon premier dispositif. Ce projet a pu voir le jour lors de l'évènement *Sonic Jello* qui s'est tenu en septembre 2015 à l'Agora Hydro-Québec²⁸ rassemblant de nombreux compositeurs et artistes enseignant à l'UQAM. Heimbecker proposa non seulement de mettre à disposition *TSM* mais aussi de créer des patches Max sur mesure pour chacun des intervenants. Etienne Grenier artiste, compositeur et programmeur, participa activement à la programmation de ces interfaces. Je lui demandai de mettre en place une spatialisation « identique » à celle de *l'étude n°1* en procédant par niveau. Puis Steve me proposa une formation d'une demi-journée pour sa manipulation. Le dispositif de 64 haut-parleurs de *TSM* (8 colonnes indépendantes sur roulettes, de 8 haut-parleurs organisés sur

²⁴ Lorsque je parle de la communauté des chercheurs je nomme ceux qui produisent des textes de référence dans un contexte universitaire puisque c'est là qu'une pensée réflexive s'inscrit et est partagée. Cependant cette communauté ne cherche pas forcément la même chose que les artistes qui pratiquent la sonification, la plupart du temps non-conscients d'appartenir à ce domaine de recherche. Par contre on peut constater dans une œuvre comme *SIGNE* (2008, Heimbecker) que la spatialisation s'inscrit comme dimension à part entière de la 3^e phase de la sonification : l'espace auditif.

²⁵ <http://www.evenements.uqam.ca/detail/548771> - consulté le 5 juin 2016

²⁶ Steve Heimbecker, André Éric Létourneau, Jean Décarie/Neam Cathod, Simon-Pierre Gourd, Patrice Coulombe, Étienne Grenier et Robert Chrétien.

²⁷ 40Hz -20KHz, 50 watts RSM 3200 watts au total.

²⁸ *Sonic Jello*, 2,3,4 et 5 septembre 2015, Agora Hydro-Québec, Pavillon du Cœur des sciences 175, avenue du Président-Kennedy Montréal.

diamètre approximatif de 8m) était installé dans les locaux d'Hexagram-UQAM qui devint un studio de recherche sonore durant l'été 2015.

Installée au centre du cercle dessiné par les 8 colonnes (Fig. 6.10), je commençai le travail d'écoute et d'ajustement. Quel ne fut pas le bonheur de découvrir mes sons prendre tout l'espace, habiter chaque molécule d'air, où les moindres détails étaient rendus audibles. Je retravaillai la composition en fonction de cette qualité acoustique, ajustant les volumes, les filtres, la réverbération et le passage entre les différents canaux horizontaux. La rencontre de mes sonorités et de ce dispositif fut particulièrement heureuse.



Fig. 6.10 : *VERTICALE, Étude n°3* (2015) Lorella Abenavoli. Organisation du studio à Hexagram-UQAM (août 2014) durant le travail de production pour l'évènement *Sonic Jello*.

Fig. 6.11 : *TSM* (2008) Steve Heimbecker. Profil d'une des colonnes de haut-parleur montrant l'angle formé par la structure en aluminium.

6.4.2 Expérimentation du point d'ouïe

Cependant deux évènements concomittants inattendus firent surface. Le premier concerne la spatialisation verticale et le deuxième la découverte du *point d'ouïe*. En effet, je ne parvenais pas à spatialiser verticalement mes sons malgré la mise en place de stratégies semblables à celles utilisées lors de *l'étude n°1*. J'identifiai alors les causes qui empêchaient ce mouvement. Lorsque l'on regarde chacune des colonnes du dispositif *TSM*, elles forment un angle à mi-hauteur orientant tous les haut-parleurs vers un centre unique (Fig. 6.11). Ainsi lorsqu'on se trouve au centre, tous les sons sont projetés vers notre tête et viennent frapper approximativement le même endroit du pavillon de nos oreilles, si bien qu'il est presque

impossible d'éprouver l'arrivée des sons en provenance du sol et leur ascension vers le ciel. Par ailleurs notre corps étant bien plus éloigné des colonnes de haut-parleurs que dans *l'étude n°1* on ne pouvait éprouver physiquement l'ascension des objets sonores. Pour ces mêmes raisons, en revanche, j'ai découvert auditivement et sensoriellement le *sweet spot* ou le *point d'ouïe* mentionné au chapitre 5 à propos de *TSM*. C'est en réalité lors de cette expérience que j'ai découvert la puissance immersive de ce dispositif en ce point précis, lorsque l'on se tient dans l'exact milieu du cercle de *TSM* et une part de ma matière sonore y était particulièrement réactive. Je décidai alors d'accueillir ce *point d'ouïe*, qui transporte le corps dans une dimension que je n'avais, pour ma part, jamais expérimentée et de l'explorer plastiquement.

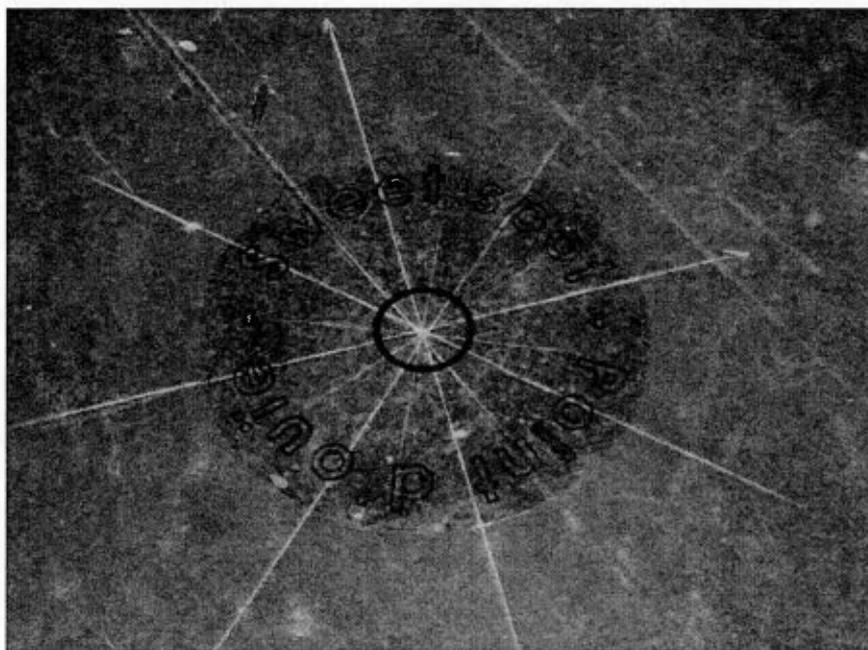


Fig. 6.12 : *VERTICALE, Étude n°3* (2015) Lorella Abenavoli. Détail. Indication du point d'ouïe au sol, au centre du dispositif de diffusion.

Depuis ce point d'ouïe, ce dispositif sonore construit un environnement immersif qui n'aspire cependant pas du tout à simuler un espace réel. On pourrait comparer son usage aux œuvres abstraites visuelles et spatiales de Jesús Soto (1923-2005) qui explore le jeu perspectiviste non pas dans le but de simuler un référent visuel mais dans celui de donner à percevoir des dimensions spatio-temporelles multiples, en somme d'exploiter le potentiel de la perspective en soi et non en vue de reproduire un monde connu. Ainsi les sonorités particulières de

VERTICALE, issues de l'audification de la sève, travaillées pour *TSM* (◀ Fig. 6.13)²⁹, produisent un espace singulier où l'ouïe devient un sens exacerbé qui donne à éprouver de tout nouveaux percepts. Lors de la mise en place à l'Agora, j'indiquai le *point d'ouïe* au sol (Fig. 6.12) et là, en effet, je ne pouvais m'empêcher de penser à la perspective centrale mise en place par Brunelleschi (Manetti, 1979, p.68-74) grâce à la construction d'un dispositif visuel monoculaire, plaçant physiquement et sympoliquement la perception humaine au coeur de l'œuvre. Mais si la construction de cette position idéale rappelle celle de la perspective centrale, la comparaison s'arrête là. Car l'ensemble de l'installation requiert quant à elle une participation mobile et active du visiteur (Fig. 6.14). Debout sur le *point d'ouïe* même, le public tournait spontanément sur lui-même pour apprécier cette immersion auditive³⁰ très



Fig. 6.14 : *VERTICALE, Étude n°3* (2015) Lorella Abenavoli Évènement Sonic Jello, Montréal. Photo : Laurie Dezainde-Dubuc.

²⁹ ◀ Fig. 6.13 : *VERTICALE, Étude n°3* (2015) Lorella Abenavoli. Évènement Sonic Jello. Enregistrement stéréo. Enregistrement : Steve Heimbecker.

³⁰ Une partie du public que j'ai vu dans l'installation procédait ainsi sans avoir reçu aucune instruction.

singulière. Enfin, ce point ne constitue pas en soi le seul emplacement qui permette l'expérience esthétique de *VERTICALE*. J'avais conservé une construction de spatialisation sonore verticale bien qu'on ne put la percevoir lorsqu'on se tenait au centre. En revanche en s'approchant des colonnes on retrouvait la même configuration physique qu'avec *l'Étude n°1*, et l'on percevait à nouveau le déplacement ascensionnel du son dans les colonnes. Outre cette question spécifique de la spatialisation dynamique, c'est bien la rencontre de ma matière sonore avec le dispositif de diffusion de *TSM* qui fut particulièrement heureuse. Ainsi que me le rapportait une amie, il était aussi tout simplement possible de s'allonger au sol et d'écouter. Enfin un travail sur la lumière, mené avec l'aide technique de Carl Aksynczak, complétait ce travail épuré. L'installation baignait dans un halo cuivré de très faible puissance qui par ses effets optiques accentuait visuellement la sensation de vibration acoustique de la cavitation. Le halo orangé s'estompait à la périphérie du cercle dans l'obscurité. Lorsque l'on rentrait dans l'espace, le mur du fond, distant d'une vingtaine de mètres, réfléchissait une lumière bleue, elle aussi de basse intensité. Ainsi dès l'entrée la complémentarité des couleurs et le faible niveau de lumière imposaient une vibration optique qui allait introduire la qualité vibratoire du travail sonore.

6.5 Réflexions 4 : de la fin de l'écriture de la thèse à poursuite de la pratique

Cette expérience sonore, menée avec *VERTICALE*, *L. son d. la m..té. d. .a sève d..s un a.bre au pr..temps*, *Étude n°1* et *Étude n°3*, a ouvert de nombreux possibles quant au travail du son dans l'espace concernant la phase 3 du *Schéma du dispositif de sonification* (Fig. 3.3). Tout en étant moins aboutie que *Le Souffle de la Terre* sur le plan des procédures initiales d'audification, en revanche *l'Étude n°3* a été probablement l'une des plus accomplies plastiquement parlant. Je parle ici de la plasticité sonore. Le son a pris ici une autonomie grâce à la maîtrise de mon matériau sonore et grâce à *TSM*, dispositif idéalement approprié pour ce travail. Et même si, là encore, la spatialisation ne sert pas directement une pratique de la sonification comme dans *SIGNE*, puisque la spatialisation verticale est issue d'un choix finalement assez arbitraire de ma part, l'importance de cette découverte par la pratique est suffisante pour intégrer cette dimension dans mes œuvres à venir dès le moment de la captation.

6.6 Réflexions 5 : conditions politique pour une recherche en art

L'*Étude n°1* quant à elle, dans la phase de recherche et de mise en œuvre du dispositif audio cylindrique, m'a alors fait découvrir que je pouvais acquérir et mettre en application, de façon autonome, des compétences dans le domaine audio-électronique en y prenant beaucoup de plaisir. Jusque là je m'étais entourée d'habiles techniciens qui prenaient en charge les aspects électroniques et programmatiques de mes installations. Mais si j'ai pu construire « seule » *VERTICALE, Étude n°1*, c'est grâce à la présence d'une communauté artistique informée et généreuse qui m'entoure depuis quelques années³¹. La présence active de cette communauté doit être évaluée à sa juste mesure dans un tel travail de recherche et il me semble nécessaire, de souligner au sein de cette thèse l'importance de cette contribution informelle³². Elle constitue une condition nécessaire et une raison d'être de ce travail. Je suis venue à Montréal pour accomplir cette recherche doctorale car j'y ai rencontré une communauté audio très développée qui me faisait défaut en France. Je parle ici d'une communauté de fait où les idées, les conseils, les références matérielles, le support technologique sont partagés. D'ailleurs *VERTICALE, étude n°3*, a aussi été le fruit d'un partage des connaissances et des moyens techniques avec Steve Heimbecker. Cette opportunité a pu arriver grâce à la recherche universitaire incarnée ici par l'École des médias de l'UQAM et le laboratoire Hexagram-UQAM.

6.7 Conclusion et prospective

Finalement le *Souffle de la Terre*, qui a été à l'origine de cette thèse et qui l'introduit, a été exemplaire quant aux procédures collaboratives pour une audification rigoureuse et riche mais je n'ai jamais atteint la qualité du travail sonore effectué avec *VERTICALE n°1 et n°3*. *VERTICALE* qui vient clore ce texte doctoral, si elle ne me semble pas exemplaire quant aux protocoles de la sonification, marque l'accomplissement plastique d'une spatialisation dynamique quant à des modalités de travail inspirantes où ma pratique s'est vue enrichie

³¹ J'ai bénéficié des conseils avisés de Alexis O'hara, Marc Fournel, Florian Grond, Stéphanie Castonguay, Patrice Coulombe, Stéphane Claude, artistes rencontrés à Montréal.

³² Si la contribution est informelle et les individus généreux, les choix politiques du Canada et du Québec en matière culturelle des trente dernières années ont permis de faire exister ce réseau artistique d'une vitalité extraordinaire.

d'une relation technique sensible aux composants électroniques et électriques. Ce dernier aspect est celui qui ouvre l'avenir de ma pratique.

CONCLUSION

« Comment le *médium son* électronique, avec sa faculté d'empreindre les formes temporelles, remédiate-t-il, dans une perspective plastique, le dessin, la peinture, la sculpture, dans ma pratique et celle de nombreux artistes? Et comment, plus spécifiquement dans les pratiques installatives sonores, renouvelle-t-il ainsi les représentations du monde? »

Cette double question, posée il y a désormais quelques années, problématisait le contenu de ma thèse à venir. Ni la notion de sonification ni celle d'audification ne faisaient alors partie de la question. C'est pourtant la découverte de ce jeune domaine en 2010 qui a finalement constitué l'axe de recherche de cette thèse au sein de laquelle pratique et théorie sont inextricablement liées. L'immensité du champ de recherche, tant dans la théorie que dans la pratique, reste vertigineuse et cette dimension confirme la pertinence mais explique aussi l'incomplétude de ce travail.

Introduire la sonification au sein du discours artistique a rejoint deux objectifs : 1 – conceptualiser et décrire l'émergence, au sein des pratiques et des œuvres, d'un système de représentation ayant le son pour médium 2 - situer mon travail artistique dans une perspective médiologique dans le domaine des arts audio.

7.1 Les deux orientations de la sonification en art

En m'appuyant sur la recherche foisonnante en sonification, j'ai saisi deux grandes orientations qui permettent de penser cette pratique au sein des arts plastiques et médiatiques. On peut résumer ainsi ces deux grandes tendances. D'une part, il y a les pratiques artistiques qui utilisent de façon prédominante une *sonification par mise en correspondance* qui elle-même arrime des paramètres quantitatifs à des paramètres sonores construisant des systèmes de correspondances codées, qu'ils soient de nature musicale ou non. On retrouve ce procédé

dans certaines des œuvres étudiées (*La Harpe à nuages* (Reeves, 1997-2000), *Genesis* (Kac, 1999) et *Bondage* (Tanaka, 2004),) qui dialoguent avec un pan de l'histoire de la musique. D'autre part *l'audification*, dans laquelle s'inscrit ma pratique, qui met en relation « directe »¹ des données exprimées sous forme d'ondes, qu'elles soient physiques ou abstraites, avec un système de diffusion audio (*L'optophone* (Hausmann, 1922), *GP4* (Brand, 2004), *Save the Waves* (Aubé, 2008), *Electrical Walks* (Kubisch, 2006), *Le souffle de la Terre* (Abenavoli, 1999-2007), *VERTICALE* (Abenavoli, 2014-2015), *Delay* (Sherman, 2012-2016)). C'est la *relation tactile et indicielle* avec les sources qui fonde ce corpus, les procédés de captation instaurant une relation homothétique entre les phénomènes captés et les sons produits. Cette deuxième orientation, l'audification, a finalement fait l'objet d'une présentation plus approfondie dans le cinquième chapitre mais ce n'est que dans cette conclusion qu'il est finalement possible de formuler ce qui unit l'audification aux pratiques plastiques plus anciennes.

7.2 Images auditives : l'audification, une remédiation de l'empreinte

L'audification répond en effet à la première partie de la question de thèse qu'il est maintenant possible de reformuler ainsi : « Comment *l'audification* en saisissant l'empreinte des formes temporelles, remédiate-t-elle, dans une perspective plastique, le dessin, la peinture, la sculpture dans ma pratique et celle de nombreux artistes? ». L'approche tactile et indicielle de l'audification, identifiée lors de l'analyse des œuvres, l'inscrit dans une pratique de l'empreinte. C'est la lecture de *La Ressemblance par contact* (Didi Huberman, 2008)² qui est soudain venue éclairer cette partie de la recherche³. Ce texte entreprend une archéologie de

¹ On ne peut réellement parler de relation directe que dans les œuvres spécifiques où l'induction rend immédiatement audibles des flux électromagnétiques comme dans *Electrical Walks* ou *Save the Waves*, bien que déjà là il y ait amplification. Ce que le terme imparfait de « direct » désigne pourtant c'est la transposition d'une courbe en onde sonore rendue audible grâce à la vibration homothétique de la membrane des haut-parleurs. Le terme « direct » est insatisfaisant dans la mesure où toutes les autres œuvres utilisent de nombreuses technologies intermédiaires, incluant le numérique, pour rendre sensibles les phénomènes physiques temporels que l'audification aspire à révéler.

² Didi-Huberman, Georges (2008) *La ressemblance par contact Archéologie, anachronisme et modernité de l'empreinte* Les Éditions de minuit Coll. Paradoxe Paris

³ Voir Abenavoli, Lorella, *La Sonification, une remédiation de l'empreinte*, Spirale : arts • lettres • sciences humaines, n° 236, 2011, p. 47-49.

l'empreinte comme geste fondateur de l'image. Le titre de cet ouvrage contient tout entier son objet. *La ressemblance* d'abord, qui oscille entre les notions de représentation et de figuration, évoquant l'une et l'autre, mais les évacuant simultanément pour laisser place à une notion plus informelle. *Le contact* ensuite, geste fondateur de l'empreinte, ou encore le tact, le toucher donc, que l'on retrouve dès la main négative de l'art pariétal, l'une des premières images issues du double mouvement du toucher de la main contre la paroi et de son retrait après avoir été empreinte sur la roche; on retrouve aussi cette approche tactile dans les masques funéraires (Didi-Huberman, 2008, p. 44 et 59) notamment le moulage réalisé à partir de l'empreinte du visage du défunt est considéré comme l'une des premières manifestations symboliques de l'image dont la fonction est de re-présenter, c'est-à-dire de *rendre à nouveau présent*, le disparu. Si ce livre concentre et ouvre de nombreuses questions fondamentales quant à la sculpture, c'est la force du modèle paradigmatique de l'empreinte qui est repris ici pour définir un des aspects essentiels de l'audification.

Dès la fin de son premier chapitre, Didi-Huberman introduit l'enregistrement comme synonyme de l'empreinte : "...au-delà du stricte domaine anatomique, c'est, je crois, toute la "signature du monde", toute l'"écriture des choses" – pour reprendre deux expressions chères à Michel Foucault – que l'empreinte aura investies de sa capacité d'enregistrement matériel du direct." (Didi-Huberman, 2008, p. 111) C'est ce continuum, entre le moulage comme empreinte d'une forme fixe et l'enregistrement comme empreinte d'une forme temporelle, qui offre une continuité conceptuelle pour penser la plasticité du son et sa faculté à engendrer des images dans la pratique de l'audification.

L'analyse des techniques de captation et d'enregistrement dans les chapitres 2, 4, 5 et 6 de cette thèse révèlent ce qui survit, dans l'audification, de cette pratique archaïque de l'empreinte, et pose de façon décisive les bases d'une pratique du *sonore électronique comme un art de l'image*. C'est, en effet, l'approche simultanément tactile et indicielle que l'on a observée dans *l'audification topographique* (GP4 et Delay), dans *l'audification auscultatoire* (*Music For Solo Performer* et *VERTICALE*), dans *l'audification par induction* (*Save the Waves* et *Electrical Walks*), dans *l'audification par enregistrement sonore* (l'ensemble de l'œuvre Knud, Gagné, *Bruits répandus – Moment donné* de Caroline Gagné), qui opère un continuum

entre les techniques de moulage comme premier enregistrement analogique de la forme tangible et fixe et les techniques d'audification comme enregistrement analogique de la forme temporelle des flux. Entre ces deux pratiques, que séparent plusieurs millénaires, on peut reconnaître dans la mise au point en sculpture, dans la perspective conique, dans les techniques mécaniques et chimiques de la photographie et du cinéma, dans la phonographie des premiers enregistrements sonores... autant de systèmes d'enregistrement de la forme privilégiant des systèmes de correspondances basés sur une approche morphologique où l'art élabore une connaissance sensible par la production d'images. Dans le contexte de l'audification on a parlé d'images auditives mais on pourrait en cette fin de thèse parler simplement d'images.

7.3 Audification, électrosonique, arts énergétiques

La deuxième partie de la question interrogeait la nature des œuvres issues de cette pratique. On reformulera ici aussi la question : « Comment, plus spécifiquement dans les pratiques installatives sonores, l'*audification* renouvelle-t-elle les représentations du monde? ».

Si l'audification trouve dans l'empreinte un modèle qui la relie au passé, elle est une pratique éminemment contemporaine dont les conditions médiologiques apparaissent avec la maîtrise et le déploiement de l'électricité dans le courant du 19^e siècle, puis au 20^e et 21^e siècles, avec le développement de l'électronique et enfin avec le numérique qui permet de contrôler à partir d'une unité centrale, l'ensemble des données entrantes et sortantes issues des divers dispositifs de transduction. Pourtant, ainsi qu'on l'a vu avec *Electrical Walks* (Kubich, 2006) l'induction électrique peut être suffisante pour entendre les ondes électromagnétiques naturelles ou artificielles sans faire appel à des dispositifs numériques⁴. Il n'en reste pas moins que les paysages qu'elle révèle, tout comme *Saves the Waves* (Aubé, 2004) appartiennent à l'*électromagnétosphère*⁵ technologique contemporaine. On ne peut ainsi minimiser le rôle

⁴ Cela constitue aussi l'une de mes découvertes dans le contexte de cette thèse. L'analyse des œuvres m'a conduit à différencier et identifier ce qui relève de l'électrique, de l'électronique et du numérique, ouvrant pour ma pratique une compréhension et un usage beaucoup plus efficaces des divers composants au regard d'un projet.

⁵ J'invente ce mot dans le fil des médiasphères énoncées par la médiologie de Régis Debray. Cette thèse met en évidence que les phénomènes les plus explorés par l'audification en art appartiennent à l'électromagnétisme.

déterminant du numérique et des ordinateurs dans la naissance et l'expansion de la sonification et de l'audification comme pratiques et domaines de recherche, car ils rendent possible le dialogue entre les différents composants de transduction grâce à la programmation ainsi qu'aux traitements simultanés de données multiples et complexes. Cette dernière décennie a vu croître de nombreux systèmes électroniques combinés à des langages de programmation relativement accessibles, conçus initialement pour les artistes médiatiques et les designers (Arduino, RaspberryPi). Le paysage médiologique s'est éminemment enrichi depuis le début de cette thèse, Internet constituant une plateforme de partage des connaissances particulièrement adaptée aux arts du son, démultipliant les sites portail⁶, les sites d'artistes, les forums techniques, les revues en lignes, les sites d'archivage.

L'audification est aussi bien sûr l'héritière de l'audiosphère moderne et contemporaine dont les sources remontent à l'invention du téléphone par Bell en 1876, du phonographe par Edison en 1877 et de la radiotélégraphie développée par Marconi en 1895 (Dombois et Eckel, 2011, p. 303). À partir du moment où les ondes sonores ont pu être transformées en signal électrique et les signaux électriques en son, en y associant l'invention du haut-parleur corrélatif à l'invention du téléphone, toute forme de captation de mouvements devenait potentiellement *audifiable*. (Dombois et Eckel 2011, p.303) Ce sont d'ailleurs les technologies qu'exploite Raoul Hausmann dans l'*Optophone* (1922-1936). L'espace-temps, qu'il évoque dans ses textes post-dada, est un concept qui surgit simultanément dans les sciences et dans les arts. La *Théorie de la relativité générale* d'Einstein formalise et réforme à la même époque la notion d'espace-temps dans les sciences proposant une description du monde qui nourrit et habite les artistes et leurs œuvres durant tout le 20e et le 21e siècle. Il faut néanmoins attendre les années 1950 et 1960 (Kahn, 2013) pour que les technologies de captation, de transduction et de production sonores soient à même de donner corps à un imaginaire des flux, qu'ils soient de nature organique, électromagnétique, mécanique, météorologique... Douglas Kahn propose de réunir les arts qui explorent ces dimensions

⁶ <http://120years.net/>, <http://www.sonore-visuel.fr/>, <http://ubu.com/>, <https://desartsonnants.wordpress.com>, <http://sonmarchive.es/>, <http://www.icad.org/>, <http://citiesandmemory.com/projects/#>, <http://www.soundartarchive.net/>, <http://joy.nujus.net/SAET/index.php?page=About>, ...

spatio-temporelles intangibles sous le terme d'*arts énergétiques*, et les œuvres qui utilisent le *médium son* pour en révéler les formes : les *électrosoniques*. Dans le contexte de cette thèse ces deux néologismes semblent non seulement pertinents mais nécessaires. Les arts énergétiques, tout en englobant des œuvres appartenant aux arts visuels, proposent une famille où les *installations électrosoniques* désignent exactement les œuvres qui exploitent l'audification, bien que Kahn ne l'incorpore jamais à son vocabulaire. Je reprends donc à mon compte ces deux termes et je propose cette triade, *audification, électrosoniques et arts énergétiques*, pour désigner respectivement *un système, une typologie d'œuvres et une catégorie artistique*, dans lesquels s'inscrivent tour à tour ma pratique, celle des nombreux artistes étudiés ou simplement cités dans cette thèse.

7.4 Le sublime auditif⁷ de la so(g)nification

Répondant ainsi à la deuxième partie de la question de thèse, l'audification en tant que système renouvelle, dans les pratiques installatives, les représentations du monde, par la mise en place de dispositifs auditifs qui rendent perceptibles des phénomènes éphémères et évanescents, dont les dimensions physiques traversent les échelles de la matière, du bozon de Higgs aux ondes radio fossiles. Ces dimensions extrêmes, que le son nous donne à percevoir, constituent probablement l'autre grande spécificité de l'audification. Les forces cosmiques, qui s'expriment à travers les séismes, les orages, les aurores polaires, les paysages célestes, la course d'un papillon dans le ciel, la lumière d'une écorce, l'esquisse d'un sourire sont autant de manifestations d'un monde instable que les artistes ont toujours tenté de saisir avec les moyens de leur époque. Ainsi l'audification construit, avec une instrumentation et une connaissance actuelles, des vanités qui tout à la fois exhibent et transcendent notre finitude par la production d'un art éphémère et inquiet. Mais l'audification donne aussi à éprouver, outre cette fugacité des choses, des échelles et des formes de la réalité dont la nature est vertigineuse. Alexandra Supper (2014) nomme cette expérience singulière que produit la sonification – et plus spécifiquement l'audification⁸ –, *le sublime auditif*. Cette notion de sublime auditif qu'explore ce brillant article (Supper, 2014), exprime assez bien la puissance esthétique qui surgit de cette pratique, avec laquelle la science « fondamentale » éprouve elle-

⁷ Expression empruntée à Alexandra Supper (2014)

⁸ C'est moi qui précise.

même, à l'aune de son paradigme idéaliste, la menace du sensible. Entre fascination et effroi, l'audification donne voix et vie à des entités muettes et abstraites, qui soudain se manifestent auditivement passant du registre de l'idée à celui du presque-vivant comme un chant des sirènes surgissant des abîmes. C'est ici que la sonification des sciences se métamorphose en *so(g)nification* des arts.

7.5 So(g)nification

Le terme de *so(g)nification* a été peu exploité et exploré durant la thèse car il fallait en passer par ce premier travail : comprendre, analyser, vérifier, explorer la notion de sonification en art et dans les œuvres. Il n'en reste pas moins que ce terme qui s'est imposé dès la découverte de ce domaine, à force de lapsus récurrents sous ma plume ou sous mon clavier, désigne de façon poétique⁹ la place de la sonification en art. La *so(g)nification* réunit en effet en une seule parole le champ de recherche étudié mais aussi la part de songe et de mensonge¹⁰ (au sens littéral et non moral) de l'œuvre d'art. Tendue entre des correspondances quantitatives où la géométrie temporelle est à l'œuvre et un univers sensoriel onirique rendu particulièrement sensible par le médium-son, la *so(g)nification*, au même titre que le *Schéma du dispositif auditif de l'audification et de la sonification par mise en correspondance* (Abenavoli, 2015) est un apport important de cette thèse permettant à l'art de se positionner au sein de cette discipline et de nommer son champ de recherche marqué tout à la fois par une rupture paradigmatique mais aussi par une continuité technique avec la sonification comme domaine de recherche. Seul l'avenir dira si ce "g" ajoute une complexité linguistique inutile ou si au contraire la communauté et la langue s'en empareront.

7.6 Lacunes et perspectives

Au regard de l'ampleur du sujet, ma thèse ne pouvait qu'être lacunaire. Au sein de l'*audification*, qui compte selon Florian Dombois (Dombois et Eckel, 2012, p.302) quatre sous-catégories (les sons enregistrés, les données acoustiques, les données physiques, les données abstraites) deux d'entre elles ont été peu ou pas abordées.

⁹ J'invoque ici à nouveau le terme poétique au sens d'une poïesis, d'un "faire apparaître" plus puissant que tout discours logique.

Tout d'abord les données abstraites qui révèlent des mesures dans la durée et qui sont exprimées sous la forme de courbes au sein de schémas cartésiens n'ont pas été traitées. On pourrait, à titre d'exemple, audifier les courbes du cours de la bourse, de la température d'un corps, de la vitesse (et non du flux) de la sève dans un arbre et toutes sortes de données métriques qui donnent à voir l'évolution de phénomènes physiques ou conceptuels qui se déploient dans le temps, pouvant potentiellement devenir des partitions audifiables. Ce manquement provient de ma propre méconnaissance de ce champ spécifique. En revanche cette thèse a abordé des œuvres dont les données abstraites ont été traitées par une *sonification par mise en correspondance* (*Sketches of moving equations* (2012) Florian Grond, *Genesis* (1999) Kac et Gena); on peut inclure dans cette famille *L'origine des espèces* (2006) de Jocelyn Robert bien que les données ne renvoient pas à la mesure d'un phénomène mais au déploiement du code numérique d'une photographie dont les données ont été «dépliées» dans le temps pour devenir partition.

Ensuite, la deuxième sous-catégorie de l'audification qui a été peu traitée, concerne les sons enregistrés, champ très vaste, qui n'a été que très tardivement reconnue par la recherche comme appartenant à l'audification (Dombois et Eckel, 2012, p.302). Pourtant le travail de captation d'abord et de transformation ensuite, qu'implique l'enregistrement sonore, peut absolument être considéré comme une catégorie de l'audification à différents égards. Soit parce qu'ils rendent audibles et ainsi accessibles des sons de très basses amplitudes comme dans les œuvres de Knud Viktor, de Caroline Gagné, de Christian Boltanski, de Marcus Maeder citées au chapitre 6. Soit parce qu'ils rendent sensibles, par la captation de mondes imperceptibles voire disparus, des dimensions du monde auxquelles peu d'entre nous auraient eu un jour accès, comme dans *Le grand orchestre des animaux* de Bernie Krause et United Visual Artists (UVA) actuellement exposée à la Fondation Cartier¹¹.

Si cette conclusion a mis en exergue la pratique de l'audification, le chapitre 4 a, quant à lui, proposé l'analyse d'œuvres issues d'une pratique de la sonification par mise en correspondance en vue de comparer et comprendre les écarts entre ces deux approches

¹¹ Bernie Krause et United Visual Artists (UVA) (2016) *Le Grand Orchestre des Animaux*, 2 juillet 2016 au 8 janvier 2017. Commande de la Fondation Cartier pour l'art Contemporain, Paris, France.

englobées par la sonification. Au sein de cette catégorie, un champ passionnant n'a presque pas été approché bien que ses productions artistiques croissent elles aussi : ce sont les œuvres interactives dans lesquelles le son aspire à révéler la relation même entre l'interacteur¹² et son milieu. On a vu avec *Electrical Walks* (2004) de Christina Kubisch la force d'un dispositif interactif dans lequel l'action du public est la condition de l'existence de l'œuvre et de son actualisation. D'autres œuvres ont des dispositifs techniquement plus complexes qui sont aussi fondés sur l'interaction et sur une sonification qui, ensemble, construisent des formes environnementales insaisissables où le son matérialise la perception même. On pense ici à *Road Music* (2008-) de Peter Sinclair, *Tontauben* (2004) de Marc Fournel, *Nuages* (2013-) du collectif Audiotopie pour n'en citer que quelques-unes.

Ce sentiment d'incomplétude, probablement propre à l'exercice de la thèse, provient aussi ici de son sujet même, la sonification, qui ne cesse d'être explorée par les artistes. Des expositions récentes ont présenté de très nombreuses installations utilisant soit l'audification soit la sonification par mise en correspondance. On a pu voir et entendre au Mois Multi 2016¹³ *Jeu de l'oie* (2016) de Caroline Gagné et Patrice Coulombe, *Les temps individuels* (2013) du duo Béchard | Hudon, *En attendant Bárðarbunga* (2015) de François Quévillon, *Pirouette* (2016) de Adam Basanta, *Chrysalide* (2006-2013) de Patrick Bernatchez au Musée d'art Contemporain de Montréal¹⁴, *Le grand orchestre des animaux* (2016) de Bernie Krauss et du collectif UVA à la Fondation Cartier.

L'actualité et l'existence même de ces œuvres confirment la nécessité de poursuivre cette réflexion sur la sonification en vue d'accéder un peu plus à cette iconophonie naissante tant pour les artistes que pour les publics. C'est ce que cette thèse a tenté de faire : définir,

¹² J'emprunte le terme à Louise Boisclair qui développe magnifiquement l'expérience du public au sein des œuvres interactives dans *L'installation interactive Un laboratoire d'expériences perceptuelles pour le participant-chercheur*, 2015, Presses de l'Université du Québec, coll. Esthétique.

¹³ Le Mois Multi, manifestation qui se tient tous les ans depuis 2000 à Québec, est consacrée à la diffusion d'œuvres qui explorent les arts médiatiques dans tous les domaines artistiques.

¹⁴ *Les temps inachevés*, exposition rétrospective de Patrick Bernatchez Du 17 octobre 2015 au 10 janvier 2016, Musée d'Art Contemporain de Montréal.

circonscrire et introduire la sonification dans le domaine des arts audio pour une pratique plus consciente de ses moyens.

BIBLIOGRAPHIE

- Abenavoli, Lorella. (artiste). (2001). *Le Souffle de la Terre, Étude n°1* [document audio de l'installation]. Exposition Jardins Secrets IV, mai-juin 2001. Ivry-sur-Seine : Parc de l'Hôpital Charles Foix. Consulté à l'adresse <http://abenavoli.net/projects/le-souffle-de-la-terre-etude-1/>
- . (artiste). (2004a). *L'énergie : une vision du monde*. Communication donnée au centre OBORO à Montréal dans le cadre d'un colloque organisé par Louise Provencher et Charles Halary (dir.) intitulé Electre et Magnete 2004 : Art spatial, gravitation et magnétisme : événement le 24 avril 2004. Consulté à l'adresse <http://archive.oboro.net/archive/exhib0304/electric/fr.html>
- . (artiste). (2004b). *Le Souffle de la terre, Étude n°3, captations de Limon Verde, Chile* [document audio de l'installation]. Paris : Ircam. Consulté à l'adresse <http://abenavoli.net/projects/le-souffle-de-la-terre-etude-n3-2004/>
- . (artiste). (2004c). *Le Souffle de la terre, Étude n°3, captations de Qiongzhong Guangduong, Chine* [document audio de l'installation]. Paris : Ircam. Consulté à l'adresse <http://abenavoli.net/projects/le-souffle-de-la-terre-etude-n3-2004/>
- . (artiste). (2004d). *Le Souffle de la terre, Étude n°3* [document vidéo de l'installation]. Paris : Ircam. Consulté à l'adresse <https://vimeo.com/33131118>
- . (artiste). (2004e). *Le Souffle de la terre, Étude n°3* [installation]. Festival Résonances 2004. Paris : Ircam.
- . (artiste). (2005a). *Le Souffle de la terre, Étude n°5* [installation]. Metz, France : Fonds Régional d'Art Contemporain de Lorraine.
- . (artiste). (2005b). *Le Souffle de la terre, Étude n°4* [installation]. Québec, QC : Galerie de La Chambre Blanche.
- . (artiste). (2006). *Le Souffle de la terre, Étude n°6* [installation]. Rennes, France : Galerie Le Diapason, Université Rennes 1.
- . (artiste). (2007a). *Le Souffle de la Terre, Étude n°7* [installation]. Savannah, GA : Pei Ling Chan Gallery.
- . (artiste). (2007b). *VERTICALE*, Première esquisse. [dessin]. Collection de l'artiste.

- _____. (artiste). (2014). *Verticale, L. son d. la m..té. d. .a sève d..s un a.bre au pr..temps* [installation]. Exposition du 9 au 24 octobre 2014. Trois-Rivières, QC : Galerie R3.
- _____. (2008). À propos de Genesis de Eduardo Kac. *.dpi : revue électronique*. Consulté à l'adresse <http://dpi.studioxx.org/archive/fr/no/11/a-propos-genesis-eduardo-kac-lorella-abenavoli>
- _____. (2011) La Sonification, une remédiation de l'empreinte. *Spirale : arts • lettres • sciences humaines*, n° 236, 2011, p. 47-49.
- _____. (2012) The Pulse of the Earth and Sonification. *AI&SOCIETY*. n°27 2012 p. 277-279
- _____. (2016) Delay (2012) de Marie Sherman et Florian Grond, ou l'audification du regard, in *ETCMEDIA Revue d'art contemporain* (juin-octobre 2016), p.93-94
- Abenavoli, Lorella et Nicolas, Reeves (artistes). (2007). *Nox Mater, Etude pour muons et silences* [installation]. Festival Art Outsider. Paris : Maison Européenne de la Photographie.
- Agamben, Giorgio. (2007). *Qu'est-ce qu'un dispositif?* (Rueff M., trad.). Paris : Éd. Payot & Rivages. 50 p.
- Andrieu, Bernard. (2014). *Arts immersifs, dispositifs & expériences*. Pau, France : Presses universitaires de Pau et des pays de l'Adour. 492 p.
- Arasse, Daniel. (1997). *Léonard de Vinci : le rythme du monde*. Paris : Hazan. 543 p.
- Asquith, Lily (physicienne), Dobson, Richard (musicien) et Endrich, Archer. (2010-201-). *LHCSound project*.
- Aubé, Jean-Pierre. (artiste). (2000-2004). V.L.F. Natural Radio [document vidéo en ligne]. Dans *Jean-Pierre Aubé – Kloud.org* [site internet]. Consulté le 10 mars 2016 à l'adresse http://www.kloud.org/projet.php?id_projet=5
- _____. (artiste). (1999) *Machines à récupérer le vent*. [installation]. Montréal : Dare-Dare
- _____. (artiste). (2004). *Save the Waves* [installation]. Montréal : Fonderie Darling.
- _____. (artiste). (2005). *Save the Waves* [installation]. Québec : MoisMulti 6.
- Aubé, Jean-Pierre (2013) Entretien avec Lorella Abenavoli le 20 août 2013.
- Audiotopie. (collectif d'artistes). (2013-). Nuages [installation interactive]. Montréal

- Avatar. Centre d'artistes québécois en art audio et électronique [Site Internet]. Consulté à l'adresse <http://www.avatarquebec.org/fr/>
- Baader, Johannes. (artiste). (1920, juin). *Grand plasto-dio-dada-drama, Grandeur et Décadence de l'Allemagne* [installation]. Berlin, Allemagne : Erste internationale Dada-Messe.
- Babin, Magali. (artiste). (2010). *L'eau Fi, composition pour aquarium* [performance]. Montréal : OBORO.
- Babin, Magali et Kolgen Herman. (artistes). (2012). *Flesh + Wood + Metal* [installation]. Festival International d'Arts Multidisciplinaires et Électroniques, le Mois Multi 13. Québec, QC : Studio d'Essai.
- Barr, Archibald. (1921). « The optophone ». *Journal of the Royal Society of Arts*, 69(3571), 371-383. Consulté à l'adresse <http://www.jstor.org/stable/41355481>
- Basanta, Adam. (artiste). (2016) *Pirouette* [installation]. Québec : MoisMulti 2016, Méduse. 29 janvier au 27 février 2016
- Bécharde | Hudon. (duo d'artistes). (2003). *Au bout du fil* [installation]. Montréal : Société des arts technologiques.
- . (duo d'artistes). (2005-2006). *La voix des choses* [installation].
- . (duo d'artistes). (2013). *Les temps individuels* [installation]. Québec : MoisMulti 2016, Méduse. 29 janvier au 27 février 2016.
- Beghin, Christian. (2011, janvier-février). Les ondes radio naturelles dans l'univers. 1ère partie : Whistlers and Tweaks. *Radiofil magazine : la revue de l'association des amateurs de TSF et reproduction du son*, 48, 35
- Bernatchez, Patrick (artiste). (2006-2013) *Chrysalide* [installation]. Musée d'Art Contemporain de Montréal. 17 octobre 2015 -10 janvier 2016.
- Bible (1982). *La Bible : Ancien et Nouveau Testament* (traduite de l'hébreu et du grec en français courant : avec les livres deutérocannoniques de la traduction œcuménique de la Bible). [Londres] : Alliance biblique universelle ; [Paris] : diffusion le Cerf : diffusion Société biblique française.
- bioVISUALIZE, Site internet de Christophe Viau consulté le 26 mai 2016 à l'adresse <http://www.biovisualize.com/>
- Blistène, Bernard et Véronique Legrand (comm.). (1998). *Poésure et peinture : d'un art, l'autre* : [exposition, Marseille], Centre de la Vieille Charité, 12 février – 23 mai 1993. Marseille (Direction des musées), France ; Paris : Réunion des musées nationaux. 655 p.

- Boisclair, Louise. (s.d.). Arts immersifs, dispositifs & expériences et Manifeste des arts immersifs. *Archée, revue d'art en ligne : arts médiatiques & cyberculture*, 489. Consulté le 10 mai 2016 à l'adresse <http://archee.qc.ca/ar.php?page=article&no=489>
- Boltanski, Christian. (artiste). (2010). *Les archives du cœur* [installation]. Exposition réalisée dans le cadre du Festival d'Automne à Paris, du 14 septembre au 5 octobre 2008. Paris : La Maison Rouge.
- Bolter, Jay David et Grusin, Richard. (1999). *Remediation, understanding new media*. Cambridge, MA. : MIT Press. 295p.
- Bonin, Vincent. (2004). Entrevue avec Steve Heimbecker. *Econtact!, Journal en ligne des pratiques électroacoustiques : Régions canadiennes*, 9(2). Consulté le 28 avril 2016 à l'adresse http://econtact.ca/9_2/heimbecker_fr.html
- Borck, Cornelius. (2006, spring). Sound work and visionary prosthetics : artistic experiments in Raoul Hausmann. *Papers of Surrealism*, 4, 25 p. Consulté à l'adresse <http://www.surrealismcentre.ac.uk/papersofsurrealism/journal4/acrobatfiles/Borckpdf.pdf>
- Bory, Jean-François. (1972). *Prolégomènes à une monographie de Raoul Hausmann* (p. 205). Paris : L'Herne.
- Bosseur, Jean-Yves et Charles, Daniel. (dir.). (1992). *Le sonore et le visuel : intersections musiques/arts plastiques aujourd'hui*. Paris : Dis voir, 1992. 158 p.
- Bouchard, Julie (2005). Photographie de l'invisible. *Archée, revue d'art en ligne : arts médiatiques & cyberculture*. Consulté le 4 mars 2016 à l'adresse <http://www.archee.qc.ca/ar.php?page=article&no=260&mot=Bouchard>
- Brand, Jens. (artiste). (2004). *GP4* [installation].
- . (artiste). (2006). *G-POD* [dispositif mobile pour Ipod et casque audio]. Augsburg, Allemagne : LAB 30.
- . (artiste). (2007). *BRAND/GLOBAL PLAYER*. [plateforme en ligne]. Consulté à l'adresse http://www.jensbrand.com/gplayer_images.html
- . (artiste). (2012). *G-PLAYER 4, The earth is a disc*. [installation]. Sound Art. Sound as a Medium of Art : mars 2012 - janv. 2013. Karlsruhe, Allemagne : ZKM/Center for Art and Media.
- . (2012). GP-We play the world-what do you play ? *AI & Society*, 27(2), 285-286.
- Brazil, Eoin et Fernström, Mikael. (2011). Auditory Icons [chapitre 13]. Dans Thomas Hermann, Andy Hunt et John G. Neuhoff (dir.), *The Sonification Handbook* (p. 325).

- Berlin, Allemagne : Logos Verlag.
- Cage, John et Charles, Daniel. (1994). *Je n'ai jamais écouté aucun son sans l'aimer : le seul problème avec les sons, c'est la musique* (Daniel Charles, trad.). La Souveraine, France : la Main courante. 34 p.
- Caliandro, Stefania. (2004). Empathie et esthésie : un retour aux origines esthétiques. *Revue Française de Psychanalyse*, 68(3), 791-800.
- Calvet, David, Diennet, Jacques, Kronland, Richard, Vallet, Claude et Voinier, Thierry. (1999-20--). *Le Cosmophone* [installation].
- Cardiff, Janet. (artiste). (1999). *The Missing Voice : Case Study B* [promenade sonore]. London : Artangel.
- . (artiste). (2001). *The Forty Part Motet* [installation]. Ottawa, ON : Rideau Chapel National Gallery of Canada.
- Casemajor Loustau, Nathalie (2012). Brouillards électroniques. Conversation avec Jean-Pierre Aubé. *Nomorepotlucks*. Consulté le 10 mars 2016 à l'adresse <http://nomorepotlucks.org/site/conversation-avec-jean-pierre-aube-nathalie-casemajor-loustau>
- Celant, Germano. (1977a) *The record as artwork from futurism to conceptual art*, Ed. Museum of Contemporary Art in Chicago
- . (1977b). *The record as artwork : from futurism to conceptual art : the Fort Worth Art Museum, Fort Worth, Texas, December 4, 1977-January 15, 1978, Moore College of Art Gallery, Philadelphia, Pennsylvania, February 3-March 8, 1978, Musée d'art contemporain, Montréal, Quebec, Canada, September 7-October 22, 1978 : [collection of Germano Celant]*. Chicago : Museum of Contemporary art. 121 p.
- Chion, Michel. (2006). *Le son*. [Paris] : A. Colin.
- Clark, Mary-Anne (biologiste) et Dunn, John (musicien). (1999-20--), *Life Music Project*.
- CNRTL : Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales [site internet]. <http://www.cnrtl.fr/etymologie/discret>
- « Codon ». Dans *Wikipedia*. Consulté le 13 avril 2016 à l'adresse <https://fr.wikipedia.org/wiki/Codon>
- Coomaraswamy, Ananda. (1994). *La transformation de la nature en art : les théories de l'art en Inde, en Chine et dans l'Europe médiévale : l'iconographie, la représentation idéale, la perspective et les relations dans l'espace*. Lausanne, Suisse ; [Paris] : l'Âge d'homme. 215 p.

- Le Corbusier. (architecte, urbaniste, peintre, sculpteur et écrivain). (1958). *Le Pavillon Philips* [pavillon d'exposition]. Réalisé dans le cadre de l'exposition universelle de 1958 à Bruxelles.
- Cox, Christoph et Kubisch Christina. (2006, spring). Invisible Cities : An Interview with Christina Kubisch. *Cabinet : Electricity*, 21. Consulté le 31 mars 2016 à l'adresse <http://cabinetmagazine.org/issues/21/cox.php>
- Cruiziat, Pierre et Tyree, Melvin T. (1990, avril). La montée de la sève dans les arbres. *La Recherche*, 220, 406-414.
- Cruiziat, Pierre, Améglio, Thierry et Cochard, Hervé. (2001). La cavitation : un mécanisme perturbant la circulation de l'eau chez les végétaux. *Mécanique & Industrie*, 2(4), 289-298.
- DADA Companion [site internet]. <http://www.dada-companion.com/index.php>
- Danger des ondes [site internet]. Consulté le 26 mai 2015 à l'adresse <http://danger-des-ondes.e-monsite.com/>
- Darwin, Charles. (1859). *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or, the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. London : John Murray, Albemarle Street. 502 p.
- Debray, Régis. (1991). *Cours de médiologie générale*. [Paris] : Gallimard. 395 p.
- . (2000). *Introduction à la médiologie*. Paris : Presses universitaires de France.
- De Maria, Walter. (artiste). (1977). *The Lightning Field*. Comté de Catron, NM : collection du Dia Art Foundation.
- Delalande, François (2004) L'invention du son, Dans (Donin et Stiegler dir.) *Révolutions industrielles de la musique* (p.21-30), *Cahier de médiologie* n°18, Fayard, 24 nov. 2004
- Déotte, Jean-Pierre
- Dery, Louise. (2015, automne). Louise Dery présente Jean-Pierre Aubé. *Spirale : arts, lettres et sciences humaines*, 254, 13-24.
- Didi-Huberman, Georges. (2008). *La ressemblance par contact : archéologie, anachronisme et modernité de l'empreinte*. Paris : les Éd. de Minuit. 379 p.
- Dombois, Florian. (artiste). (2001). *Circum Pacific 5.1*. Collection de l'artiste.
- Dombois, Florian et Eckel, Gerhard (2011). Audification. Introduction [chapitre 12]. Dans

- Thomas Hermann, Andy Hunt et John G. Neuhoff (dir.), *The sonification handbook* (p. 301-323). Berlin, Allemagne : Logos Verlag.
- Donguy, Jacques. (2000, mars). L'Optophone de Raoul Hausmann. *Art Press*, 255, p. 56-60.
- . (2007). *Poésies expérimentales, zone numérique (1953-2007)*. Dijon, France : Les Presses du réel : A.D.L.M. 399 p.
- Dubois, Jean. (artiste). (2005). *Les errances de l'écho* [document vidéo]. Consulté à l'adresse <http://www.jeandubois.info/blog/project/les-errances-de-lecho/>
- Dubus, Gaël. et Bresin, Roberto. (2013). A systematic review of mapping strategies for the sonification of physical quantities. *PLoS ONE*, 8(12), e82491
doi:10.1371/journal.pone.0082491
- Duchamp, Marcel. (artiste). (1942). *Sixteen Mile of strings* [installation]. First Papers of Surrealism exhibition, New-York.
- Duplaix, Sophie et Lista, Marcella. (comm.). (2004). *Sons & lumières : une histoire du son dans l'art du XXe siècle* : ouvrage publié à l'occasion de l'exposition présentée au Centre Pompidou, [Paris], Galerie 1, du 22 septembre 2004 au 3 janvier 2005. Paris : Centre Pompidou. 375 p.
- Dürer, Albrecht. (ca. 1600). *Draughtsman Making a perspective Drawing of a Reclining Woman*. [gravure]. New York : The Metropolitan Museum of Arts. Récupéré le 20 mai 2016 de <http://www.metmuseum.org/art/collection/search/366555>
- Ekeland, Ivar. (1987). *Le calcul, l'imprévu : les figures du temps de Kepler à Thom*. [Paris] : Éd. du Seuil. 165 p.
- Fondation Langlois [site internet]. <http://www.fondation-langlois.org/html/f/>
- Fontana, Bill. (artiste). (1994). *Sound Island*. Paris : Arc de Triomphe.
- Fournel, Marc. (artiste). (2004) Tontauben [installation interactive].
- Gagné, Caroline. (artiste). (2005). *Bruits répandus – moment donné* [son et dessin]. Îles de la Madeleine, QC : AdMare, Résidence de production et de diffusion. Consulté le 3 juin 2016 à l'adresse <http://www.carolinegagne.ca/fr/>
- . (artiste). (2009). *Bruits répandus – moment donné* [son et dessin]. Ligne de fuite, exposition du 30 avril au 31 mai 2009. Québec, QC : Galerie des arts visuels. Consulté le 3 juin 2016 à l'adresse <http://www.carolinegagne.ca/fr/>
- . (artiste). (2011). *Cargo* [installation]. Mois Multi 12. Québec, QC : Grande galerie de l'Œil de Poisson.

- Gagné, Caroline et Coulombe, Patrice (2016). *Jeu de l'oie*. [installation]. Québec : MoisMulti 2016, Méduse. 29 janvier au 27 février 2016
- Gagnon, Jean. (2013). *Faire comme les musiciens. Le jeu instrumental dans les performances audiovisuelles* (thèse de doctorat). Université du Québec à Montréal. xi-296 p.
- Gallet, Bastien (2017) *Bruits de fond*, Presses Universitaires de France.
- Geeven, Lotte. (artiste). (2013-2014). *Sounds of the Earth* [installation].
- Gena, Peter. (compositeur). (1995). *Red Blood Cells* [œuvre musicale] [CD]. Digitally synthesized DNA sequences.
- . (compositeur). (2000). *La Peste per oboe d'amore e Yersinia Pestes* [œuvre musicale] [CD]. With computer-generated Yersinia Pestis sequence
- . (compositeur). (2004). *Botox à 5* [œuvre musicale] [CD]. Botulinin toxin bacteria for dislavier solo.
- . (compositeur). (2005-2010). *DNA-PNO : an installation for computer algorithms and Disklavier, or MIDI keyboard* [œuvre musicale]. Présentée à Musicircus le 25 septembre 2005. Chicago : Museum of Contemporary Art.
- Gena, Peter et Strom, Charles. (1995a). Musical Synthesis of DNA Sequences. Dans *6th International symposium on eletronic art* (p. 83-85). Montréal : ISEA.
- . (1995b). Musical Synthesis of DNA Sequences. Dans Luigi Finarelli et Fabio Regazzi (dir.), *XI Colloquio di informatica musicale : atti*, Bologna, 8-11 novembre 1995 (p. 203-204). Bologna, Italie : [s.n.].
- . (2001). A Physiological Approach to DNA Music. Dans Robin Shaw et John McKay (dir.), *Digital creativity : crossing the border : the proceedings of CADE 2001 : the 4th Computers in Art and Design Education Conference, held at the Glasgow School of Art, 9-12 April 2001* (p. 129-134). Glasgow, Scotland : Glasgow School of Art Press. Consulté à l'adresse : <http://www.petergena.com/docs/gena-strom-DNA.pdf>
- . (compositeur). (2016) Correspondance avec Lorella Abenavoli du 22 février 2016
- Gingras, Nicole. (dir.). (2003). *Le son dans l'art contemporain canadien*. Montréal : Éditions Arttextes. 238 p.
- . (dir.). (2006). *Traces*. Montréal : Galerie Leonard & Bina Ellen Art Gallery. 95 p.
- Gosselin, Pierre. (2006). *La recherche en pratique artistique : spécificités et paramètres*

pour le développement de méthodologie. Dans Pierre Gosselin et Eric Le Coguiec (dir.), *La recherche création : pour une compréhension de la recherche en pratique artistique*. Québec, QC : Presses de l'Université du Québec.

Grand dictionnaire terminologique (GDT). Consulté le 10 juillet 2016 à l'adresse <http://www.granddictionnaire.com/>

Grayson, John. (1975). *Sound Sculpture : a Collection of Essays by Artists Surveying the Techniques, Applications, and Future Directions of Sound Sculpture*. Vancouver : Aesthetic Research Centre of Canada (ARC). 196 p.

Grisey, Gérard. (compositeur), Luminet, Jean-Pierre. (astrophysicien). (1989-1990). *Le Noir de l'Étoile* [CD]

Grond, Florian. (artiste). (2012). *Skizzen bewegender gleichungen (sketches of moving equations)* [installation]. Présentée dans le cadre de l'exposition « The Islands of Benoît Mandelbrot Fractals, Chaos, and the Materiality of Thinking, 21 septembre 2012 – 27 janvier 2013. New York : BGC Gallery. Consulté à l'adresse : <https://vimeo.com/50775379>

———. (artiste). (2015). *The Haptophone* [installation]. Présenté dans Blind Creations-An International Colloquium and Micro-Arts Festival at Royal Holloway, University of London, 28-30 June 2015. Consulté à l'adresse <http://blindcreations.blogspot.fr/p/programme.html>

Grond, Florian (2016) Conversation téléphonique avec Lorella Abenavoli 13 avril 2016.

Grond, Florian et Berger, J. (2011). Parameter Mapping Sonification [chapitre 15]. Dans Thomas Hermann, Andy Hunt et John G. Neuhoff (dir.), *The sonification handbook* (p. 363-397). Berlin, Germany : Logos Verlag.

Grond, Florian et Hermann, Thomas. (2012). Aesthetic strategies in sonification. *AI & Society*, 27(2), 213-222.

Grond, Florian et Schubert-Minski, Thérèse. (2010). Sonification, Scientific Method and Artistic Practice. Dans Daniels Dieter, Sandra Naumann et Jan Thoben (dir.), *See this sound : audiovisuology compendium : an interdisciplinary survey of audiovisual culture* (p. 285-295). Köln, Germany : Verlag der Buchhandlung Walter König.

Guirand, Félix et Schmidt, Joël. (1996). *Mythes & mythologies* (p. 191). Paris : Larousse.

Hausmann, Raoul. (artiste). (1922). *L'Optophone*.

———. (1992a). *Courrier Dada* (Nouv. éd. établie, augm. et annotée). Paris : Éd. Allia. 239 p.

———. (1992b). *Manifeste du PRÉsentisme contre le Dupontisme de l'âme*

- Teutonique. Dans Raoul Hausmann, *Courrier Dada* (Nouv. éd. établie, augm. et annotée) (p. 91-96) Paris : Éd. Allia.
- . (artiste). (1992c). L'Optophonétique. Dans Raoul Hausmann, *Courrier Dada* (Nouv. éd. établie, augm. et annotée) (p. 53-64). Paris : Éd. Allia.
- . (artiste). (1992d). Poème phonétique. Dans Raoul Hausmann, *Courrier Dada* (Nouv. éd. établie, augm. et annotée). Paris : Éd. Allia.
- . (2005). *Sensorialité excentrique* . Paris : Éd. Allia.
- Hausmann, Raoul et Arndt Niebisch (2013) . *Dada-Wissenschaft : wissenschaftliche und technische Schriften*. Hamburg, Allemagne : Philo Fine Arts. 416 p.
- Heidegger, Martin (1958) La question de la technique p.9-48, dans *Essais et Conférences* (1990), Gallimard, Coll. Tel
- Heimbecker, Steve. (artiste). (2003a). *POD* [installation]. Subtle Technologies Festival /Year 01 / InterAccess. Toronto.
- . (artiste). (2003b). *POD : Wind Array Cascade Machine*. [installation]. Mois Multi 2003 Media Arts Festival – Recto Verso. Québec, QC : Studio d'essai, Complexe Méduse.
- . (artiste). (2004a). *POD* [Installation]. ISEA 2004 Wireless Experience Exhibition. Helsinki, Finland : Kiasma Museum of Contemporary Art, The Finnish National Gallery.
- . (artiste). (2004b). *POD : Wind Array Cascade Machine* [Installation]. Montréal : OBORO.
- . (artiste). (2005a). Dessin technique du capteur de mouvement. [Dessin]. Dans Steve Heimbecker, *Songs of Place*. Montréal : OBORO ; Qube Assemblage. 117 p. : 2 videodiscs (ca. 164 min. : sd., col. ; 4 ¾ ind.).
- . (artiste). (2005b). Plan de la grille des 64 capteurs de Wind Array Cascade Machine. Figure 5. [Dessin]. Dans Steve Heimbecker, *Songs of Place*. Montréal : OBORO ; Qube Assemblage. 117 p. : 2 videodiscs (ca. 164 min. : sd., col. ; 4 ¾ ind.).
- . (artiste). (2005c). *POD* [installation]. CyberArts 2005 : Prix Ars Electronica Exhibition, group exhibition. Linz, Austria : O.K. Centrum für Gegenwartskunst Oberösterreich.
- . (artiste). (2005d). *Songs of Place*. Montréal : OBORO ; Qube Assemblage. 117 p. : 2 videodiscs (ca. 164 min. : sd., col. ; 4 ¾ ind.).

_____. (artiste). (2005e). Wind Array Cascade Machine. [Photographie]. Installation sur le toit de la Fondation Daniel Langlois (2004-2005). Montréal. Consulté à l'adresse <http://www.steveheimbecker.net/installations/wind-array-cascade-machine-2003/>

_____. (artiste). (2008a). *Photographie du dispositif « Turbulence Sound Matrix » (TSM)*. [photographie]. New Adventures in Sound Art. Toronto : Scotia Bank Nuit Blanche. Consulté à l'adresse <http://www.steveheimbecker.net/installations/wind-array-cascade-machine-2003/>

_____. (artiste). (2008b). *SIGNE : generative duration indefinite, WSA 64 channel – TSM sound immersion* [installation]. 9e édition du festival Elektra. Montréal.

_____. (artiste). (2014). *L'immersion sonore 3D, les projets en lien avec la résidence et différentes stratégies de diffusion telles qu'Auro 3D et TSM*. Conférence donnée à l'UQAM dans le cadre du lancement de la résidence du conseil des arts du Canada en arts numériques, Montréal. Consulté le 5 juin 2016 à l'adresse <http://www.evenements.uqam.ca/detail/548771>

Heimbecker, Steve (2016) Entretien avec Lorella Abenavoli le 7 avril 2016.

Heimbecker, Steve, Abenavoli, Lorella, Létourneau, André-Eric, Coulombe, Patrice, Courville, Daniel, Chrétien, Robert et Grenier, Etienne. (artistes). (2015). *Sonic Jello : 64-channel immersion for the body, belly and brain : Concerts and Sound Installations, September 2-3-4-5* [exposition collective]. Montréal : Agora Hydro-Québec ; UQAM.

Hermann, Thomas. (2002). *Sonification for Exploratory Data Analysis* (thèse de doctorat). Technischen Fakultät der Universität Bielefeld.

Hermann, Thomas, Hunt, Andy et Neuhoff John G. (dir.). (2011a). Introduction. Dans Thomas Hermann, Andy Hunt et John G. Neuhoff (dir.) *The sonification handbook* (p. 1-6). Berlin, Allemagne : Logos Verlag.

Hermann, Thomas, Hunt, Andy et Neuhoff John G. (dir.). (2011b). *The sonification handbook*. Berlin, Allemagne : Logos Verlag. xiv-564 p.

L'histoire de l'enregistrement sonore : du papier fumé au disque laser. (1983). Dans Ratteray, Taylor Gordon et Payen, Jacques, *Les inventions qui ont changé le monde : guide* (p. 233-237). Paris ; Montréal : Sélection du Reader's Digest (France).

Husserl, Edmund. (1964). *Leçons pour une phénoménologie de la conscience intime du temps* (Dussort H., trad.). Paris : Presses universitaires de France. Xii-207 p.

International Community for Auditory Display [site internet]. <http://icad.org/>

- Jaanisoo, Villu. (artiste). (2008). *Wave* [installation sonore].
- Kac, Eduardo. (artiste). (1999). *Genesis* [installation]. Festival Ars Electronica. Linz, Autriche : O.K. Center for Contemporary Art. Consulté à l'adresse <http://www.ekac.org/geninfo.html>
- . (artiste). (2007). *Genesis* [installation]. Exposition e-art : Nouvelles technologies et art contemporain, dix ans d'action de la fondation Daniel Langlois. Montréal : Musée des Beaux Arts. Dans *Fondation Langlois* [site internet] : <http://www.fondation-langlois.org/html/f/page.php?NumPage=278>
- Kahn, Douglas. (1999). *Noise, water, meat : a history of voice, sound, and aurality in the arts*. Cambridge, Mass. ; London : MIT. ix-455 p.
- . (2013). *Earth Sound Earth Signal : Energies and Earth Magnitude in the Arts*. Berkeley, CA : University of California press. 344 p.
- Kahn, Douglas et Whitehead, Gregory. (dir.). (1992). *Wireless imagination : sound, radio and the avant-garde*. Cambridge, Mass. ; London... [etc.] : The MIT press. 452 p.
- Kapoor, Anish. (artiste). (2003). *My Red Homeland*. Bregenz, Autriche : Kunsthaus Bregenz
- Karaindros, Jason. (réalisateur). (2011). *Piotr Kowalski, Machine pseudo-didactique, 1961* [film] : visible dans le cadre d'une exposition aux Beaux Arts de Rouen, France. Consulté à l'adresse http://www.rvdv.net/vincennes/?page_id=657
- Kastner, Jean-Georges. (compositeur). (1856). *La Harpe d'Éole et la musique cosmique ; études sur les rapports des phénomènes sonores de la nature avec la science et l'art suivies de Stephen ou la Harpe d'Éole, grand monologue lyrique avec chœurs [et orchestre]* [musique imprimée]. Paris : G. Brandus, Dufour et C.ie. In-fol., 176-124 p. Consulté le 10 avril 2015 à l'adresse <https://books.google.ca/books?id=8t4pSyOhvtIC&hl=fr>
- Keene, Peter. (artiste). (2004). *Raoul Hausmann revisited* [installation]. Dans *Peter Keene* [site internet]. Consulté à l'adresse : http://www.peter-keene.com/Raoul_Hausmann_revisited.html
- Kepler, Johannes. (1619) *Harmonicis Lib : cap. VI. Figure 26.* [partition]. Dans Kepler, Johannes, *Joannis Keppleri Harmonices mundi libri V, quorum primus geometricus... secundus architectonicus... tertius proprie harmonicus... quartus metaphysicus... quintus astronomicus et metaphysicus... Appendix habet comparationem hujus operis cum harmonicis Cl. Ptolemaei libro III, cumque Roberti de Fluctibus, ... speculationibus harmonicis, operi de macrocosmo et microcosmo insertis* (p. 207). Lincii Austriae : sumpt. G. Tampachii. Consulté le 15 mai 2016 à l'adresse <http://images.bnf.fr/jsp/index.jsp>

- Kloud.org [site internet de Jean-Pierre Aubé]. <http://www.kloud.org/>
- Knud, Viktor, *le chantre du Luberon* [entrevue télévisuelle]. (1979). 12 mn. France 3 TV française. Consulté le 3 juin 2016 à l'adresse <http://www.ina.fr/recherche/search?search=knud+Viktor>
- Kowalski, Piotr (artiste) (1961-1965) *Machine Pseudo-didactique*. Collection de l'artiste
- Kramer, Gregory. (1994). Some Organising Principles for Representing Data with Sound. Dans Gregory Kramer, *Auditory display : sonification, audification and auditory interfaces* (p. 185-221). Reading, Mass. : Addison-Wesley.
- . (dir.), Walker, Bruce (coord.), Bonebright, Terri, Cook, Perry, Flowers, John H., Miner, Nadine... Tpei, Sever. (1999). *Sonification report : Status of the field and research agenda*. [Place of publication not identified] : [International Community for Auditory Display]. Consulté le 13 janvier 2014 à l'adresse : <http://www.icad.org/node/400>
- Krause, Bernie et UVA (artistes). (2016). *Le Grand Orchestre des Animaux*. [installation]. Œuvre commandée et exposée à la Fondation Cartier (2 juillet 2016 - 8 janvier 2017)
- Kubisch, Christina. (artiste). (1981). *Il respiro del mare* : Group exhibitions. Capo d'Orlando, Sicile : Universa Ars.
- . (artiste). (2004). *Electrical Walks* [installation sonore] : Festival Klangraum-Raumklang 9 – 20 august 2004. Köln, Germany : Kunsthochschule für Medien.
- . (artiste). (2006). *Electrical Walks* (détail) : écouteurs. Figure 22. [photographie]. Dans : *Electrical Walks*, exhibition 25 July – 1 october 2006. Birmingham, UK : Ikon Gallery. Consulté le 30 mars 2016 à l'adresse <https://ikon-gallery.org/event/electrical-walks/>
- . (artiste). (2008). *Promenades électriques Montréal*. Figure 21. [plan]. Dans : *Promenades électriques*. Montréal : OBORO ; Goethe-Institut.
- LaBelle, Brandon. (2006). *Background Noise : Perspectives on Sound Art*. New York : Continuum International. xviii-316 p.
- . (2010). *Acoustic Territories : Sound Culture and Everyday Life*. New York : Continuum. xxvi-276 p.
- . (2015). *Background Noise : Perspectives on Sound Art* (2e éd.). New York : Bloomsbury. xx-351 p.
- Lander, Dan et Lexier, Micah. (1990). *Sound by artists*. Toronto : Art Métropole. 385 p.

- Leitner, Bernard. (artiste).
- Leroi-Gourhan, André. (1989). *Technique et langage. Le geste et la parole*, t.1. Paris : Albin Michel. 323 p.
- Licht, Alan et O'Rourke, Jimmy. (2007). *Sound art : beyond music, between categories* (p.11). New York : Rizzoli International Publications.
- Lincelles, Simon. (2001) *Conception et réalisation d'une interface informatique permettant le traitement et l'écoute de sons, images des mouvements de la Terre*, (Rapport de stage de fin d'étude) Université de Technologie de Compiègne
- Lipps, Theodor. (1913). *Zur Einfühlung*. Leipzig, Deutschland : W. Engelmann.
- Lissitzky, Lazar. (artiste). (1920). Prouns.
- Lista, Marcella (2004a). Moholy-Nagy : extrait d'article de 1923. Dans Sophie Duplaix et Marcella Lista (comm.). *Sons & lumières : une histoire du son dans l'art du XXe siècle* : exposition présentée au Centre Pompidou, galerie 1, 22 septembre 2004-3 janvier 2005 (p. 202). Paris : Centre Pompidou.
- . (2004b). Empreintes sonores et métaphores tactiles. Dans Sophie Duplaix et Marcella Lista (comm.). *Sons & lumières : une histoire du son dans l'art du XXe siècle* : ouvrage publié à l'occasion de l'exposition présentée au Centre Pompidou, [Paris], Galerie 1, du 22 septembre 2004 au 3 janvier 2005 (p. ?). Paris : Centre Pompidou.
- . (2005). Raoul Hausmann's Optophone : Universal Language and the Intermedia. Dans Leah Dickerman et Matthew Vitkovsky (éd.). *The Dada Seminars* (p. 83-102). Washington, DC : Center for Advanced Study in the Visual Arts, National Gallery of Art, in Association with D.A.P./Distributed Art Publishers.
- . (2014). L'optophone de Raoul Hausmann : la « langue universelle » et l'intermédiat. Dans Sébastien Pluot et Yann Sérandour (dir.). *Une traduction d'une langue en une autre* (p.?). Dijon, France : Les Presses du réel.
- Lucier, Alvin. (artiste). (1965a). *Music for Solo Performer* [performance]. Waltham, Mass. : The Rose Art Museum : Brandeis University [en ligne]. Dans *Youtube* [site internet]. Consulté le 20 mai 2016 à l'adresse <https://www.youtube.com/watch?v=bIPU2ynqy2Y>
- . (artiste). (1965b). *Music for Solo Performer* [vinyl]. New York : Lovely Music Ltd. (1982).
- . (artiste). (1969). *I'm sitting in a room*. Waltham, MA. : Electronic Music Studio of Brandeis University.

- Luminet, Jean-Pierre. (2012, septembre). Ils osent imaginer changer de paradigme dans un monde en rupture [video en ligne]. Communication présentée au Forum « Osons la France » à Lille. Dans *Youtube* [site internet]. Consulté le 16 août 2016 à l'adresse <https://www.youtube.com/watch?v=1L7Kt34djlk>
- Luther Adam, J. (artiste). (2006). *The Place Where You Go To Listen* [Installation]. University of Alaska Museum of the North. Collections Gallery
- Maeder, Marcus (artiste), Kocher, Philippe (coll.) et Meyer, Jonas (coll.). (2009). *Trees* [installation]. Birmensdorf Suisse : Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research ; Graz, Austria : Institute of Electronic Music and Acoustics of the University of Music and Performing Arts. Consulté le 2 juin 2016 à l'adresse <https://blog.zhdk.ch/marcusmaeder/about>
- Malatray, Gilles, (2015, décembre) Points d'ouïe – catalyser l'écoute, dans Desarsonnant [site internet]. Consulté le 20 mai 2016 à l'adresse <https://desartsonnantsbis.com/2015/12/23/points-douie-catalyser-lecoute/>
- Manetti, Antonio. (1979). Vie de Filippo Brunelleschi. Dans Pierre Granveaud et Monique Mosser, *Filippo Brunelleschi : 1377-1446. La vie, la Fortune, l'œuvre de Filippo Brunelleschi*. Paris : Centre d'études et de recherches architecturales. Cahiers de la recherche architecturale. Supplément ; 3.
- McGookin, David et Brewster, Stephen. (2011). Earcons : Introduction [chapitre 14]. Dans Thomas Hermann, Andy Hunt et John G. Neuhoff (dir.), *The sonification handbook* (p. 339-340). Berlin, Germany : Logos Verlag.
- McGreevy's, Stephen P. (1998) *Auroral Chorus I : The Music of the Magnetosphere*. Album MP3 réalisé en 1998, Lone Pine, CA. Consulté le 6 mars 2016 à l'adresse <http://www.auroralchorus.com/>
- Malatray, Gilles. (s.d.). Points d'ouïe – Catalyser l'écoute. Dans *desartsonnantsbis.com* [site internet de l'auteur]. Consulté le 20 mai 2016 à l'adresse <https://desartsonnantsbis.com/2015/12/23/points-douie-catalyser-lecoute/>
- Marinetti, Fillipo Tommaso et Masnata, Pino. (1933). *La radia : manifesto futurista dell'ottobre 1933 : pubblicato nella Gazzetta del popolo*. Firenze, Italia : SPE. Consulté le 23 mars 2012 à l'adresse http://kunstradio.at/2002A/27_01_02/laradia-it.html
- Matlab [logiciel].
- Max-msp [logiciel].
- Metcalf, Alexandre. (artiste). (2008). *The Tree Listening Installation*[installation].
- Mèredieu, Florence de. (1994). *Histoire matérielle et immatérielle de l'art moderne & contemporain*. Paris : Bordas.

- Messier, Martin. (artiste). (2011-2015). *Sewing machine orchestra* [installation et performance].
- Metasynth [logiciel].
- Migone, Christof. (2012). *Sonic Somatic : Performances of the Unsound Body*. Los Angeles : Errant Bodies Press.
- Minard, Robert. (artiste). (1994-2012). *Silent Music* [installation].
- La Monte Young (compositeur) et Zazeela, Marian. (artiste). (1990). *Dreamhouse* [installation]. Collection MAC Lyon, France.
- Montet, Bernardo. (chorégraphe). (2006-2009). *Batraciens, l'après-midi* [danse/performance].
- Morris, Robert. (1961). *Box with the sound of its own making* [installation].
- Moholy-Nagy, László. (1922, July). Produktion, reproduction, *De Stijl* 5, 7, 98-100.
- Neuhaus, Max. (artiste). (1966). Listen [promenade sonore]
- . (artiste). (1977-1992 et depuis 2002). *Times Square*. Collection : Dia Art Foundation. Consulté le 26 juin 2016 à l'adresse <http://www.max-neuhaus.info/images/TimesSquare.gif>
- Nicomaque de Gêrase. (1881). *Manuel d'harmonique et autres textes relatifs à la musique* (Charles-Emile Ruelle, trad. et commentaire). Paris : Baur
- Niebisch, Arndt. (2013a). *Dada-Wissenschaft : wissenschaftliche und technische Schriften*. Hamburg : Philo Fine Arts. 416 p.
- . (2013b). Ether Machines : Raoul Hausmann's Optophonetic Media. Dans Anthony Enns et Shelley Trower (dir.), *Vibratory Modernism* (p. 162-176). Houndmills, Basingstoke, Hampshire, UK ; New York : Palgrave Macmillan. Consulté par la base de données Springer Link à l'adresse http://link.springer.com/chapter/10.1057/9781137027252_8
- Nourry, Louis-Michel (dir.). (2008). *Vents : invention et évolution des formes* (p. 155). Rennes : Presses universitaires de Rennes.
- Novarina, Valère. (1991). *Pendant la matière*. [Paris] : POL. 135 p.
- Oliveros, Pauline. (2011, August). Auralizing in the Sonosphere : A Vocabulary of Inner Sound and Sounding, *Journal of Visual Culture*, 10(2), 162-168.
- Ouellet, Louis. (artiste). (2010-2011). *Projet-fleuve (Beau Fleuve 2)*. Québec, QC :

Avatar.

Ouzounian, Gascia. (2008). *Sound Art and Spatial Practices : Situating Sound Installation Art Since 1958* (thèse de doctorat). San Diego, CA : University of California. xx-373 p.
Consulté le 19 juillet 2016 à l'adresse
https://www.academia.edu/7166588/Sound_Art_and_Spatial_Practices_Situating_Sound_Installation_Art_Since_1958

The Optophone. (1921, April 16). *The British Medical Journal*, 1(3146), 574.

Panofsky, Erwin. (1983). *Idea : contribution à l'histoire du concept de l'ancienne théorie de l'art* (trad. De l'allemand par H. Joly). [Paris] : Gallimard. xxxvi-284 p.

Paquin, Louis-Claude (2006). *Comprendre les médias interactifs*. [Montréal] : I. Quentin. 538 p.

Peyraud, Gilbert. (1840). *Histoire raisonnée des progrès que la médecine pratique doit à l'auscultation...* Paris : J.-B. Baillière. viii-210 p.

Picoche, Jacqueline. (1992). *Dictionnaire étymologique du français* (nouv. éd.). Paris : le Robert. (Original publié en 1979). 620 p.

Pierce, J. R. (2000). *Le son musical : musique, acoustique et informatique*. Paris : Éditions Belin. xii-242 p.

Pire, Bernard « ONDES, physique », *Encyclopædia Universalis* [en ligne], consulté le 21 août 2016. URL : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/ondes-physique/>

Pitozzi, Enrico. (2008). Sulle gradazioni di presenza : la traccia, la memoria, le tecnologie, dans Viviana Gravano, Enrico Pitozzi et Annalisa Sacchi, *Spazio di riflessione fuori e dentro le arti performative* (p. 73-85). Milano, Italia : Costa & Nolan.

Pline l'Ancien (2009). *De la peinture. Histoire naturelle*, livre XXXV (É. Littré, trad.) . Paris : Éd. Errance.

Poissant, Louise (2014). Le chant des éléments : sonification et audiosphère. *Musiques et cultures digitales : la numérisation du monde*, 73. Consulté à l'adresse
<http://www.digitalmcd.com/mcd73-la-numerisation-du-monde/>

Prévert, Jacques (1949). Le Cancre. Dans Jacques Prévert, *Paroles* (éd. revue et augmentée). Paris : Gallimard.

Provencher, Françoise. (2008). *La sonification : un outil pour la « visualisation » de données* (p. 12). (mémoire de maîtrise). Université de Montréal.

Qu'est-ce qu'un champ électromagnétique ? [s.d.]. Dans *La Clef des Champs : tout savoir*

sur les champs électromagnétiques basse fréquence [site internet]. Consulté le 23/03/2016 à l'adresse <http://www.clefdeschamps.info/Qu-est-ce-qu-un-champ>

Quévillon, François. (artiste). (2015) *En attendant Bárðarbunga*. [installation]. Québec : MoisMulti 2016, Méduse. 29 janvier au 27 février 2016

Reeves, Nicolas. (artiste). (1997-2000). *La Harpe à nuages* [installation].

———. (1998). La première Harpe à Nuages, 1997. [photographie]. Dans Richard, Alain-Martin. (éd.), *3e Symposium en arts visuels de l'Abitibi-Témiscamingue : Vingt mille lieu(x)es/sur l'esker*. Amos, QC : Centre d'exposition d'Amos. 126 p.

———. (artiste). (2006). *La Harpe à nuages* [installation]. Francoffonies ! Québec_NumériQ. Fête de la Pleine Lune, 9 septembre 2006. Paris : Théâtre du Châtelet.

———. (artiste). (2010). *Harpe à Nuages, Étude n°VI (Nomade 3 - Marseille)* [photographie]. Présentée dans le cadre du Festival MIMI Îles du Frioul Marseille du 1er au 14 juillet 2010.

———. (artiste). (2011a). *Dispositif électronique et droit d'auteur : trois œuvres qui interrogent le droit*. Communication donnée au Cercle, Québec, QC dans le cadre d'« Echographies des œuvres en art audio et électronique », rencontres présentées par Avatar les 4 et 5 février 2011.

Reeves, Nicolas (2011b) Entretien avec Lorella Abenavoli le 27 octobre 2011

Robert, Jocelyn. (artiste). (2006). *L'Origine des espèces* [installation]. Exposition CUT, 19 octobre au 25 novembre 2006. Montréal : Galerie Leonard & Bina Ellen.

———. (artiste). (2006). *L'Origine des espèces* [vidéo]. Exposition CUT, 19 octobre au 25 novembre 2006. Montréal : Galerie Leonard & Bina Ellen. Consulté à l'adresse : http://jocelynrobert.com/?page_id=751

———. (artiste). (2015). Correspondance courriel avec Lorella Abenavoli 17 avril 2015.

Robert, Jocelyn et Morin, Emile. (2005). *Degré d'hybridité : regard sur le Mois multi 6* [extrait DVD]. Québec, QC : OHM éditions. 87 p. + 1 DVD

Robert, Paul, Rey-Debove, Josette et Rey, Alain. (2000). *Le nouveau petit Robert : dictionnaire alphabétique et analogique de la langue française* (p. 177). Paris : Dictionnaire Le Robert.

Rodgers, Tara. (2010). *Pink Noises : Women on electronic music and sound*. Durham, UK : Duke University Press. xi-322 p.

- Rokeby, David. (artiste). (1986-1990). *Very Nervous System* [document vidéo]. Consulté le 20 août 2016 à l'adresse <https://vimeo.com/8120954>
- Russolo, Luigi. (2006). *L'art des bruits : manifeste futuriste 1913* (6e éd.). Paris : Éditions Allia. 44 p.
- Ruttman, Walter. (artiste). (1930). *Wochenende* [film].
- Samakh, Erik. (artiste). (1989). *Module Acoustique Autonome – L'île aux oiseaux* [installation]. Niort : Îles de la Sèvre.
- Sanz, Pablo Revuelta, Mezcua, Belèn Ruiz, Pena, José M. Sanchez, Walker, Bruce N. (2014, mars). Scenes and Images into Sounds : A Taxonomy of Image Sonification Methods for Mobility Applications. *JAES*, 62(3), 161-171. Doi : <http://dx.doi.org/10.17743/jaes.2014.0009>. Consulté le 15 mai 2016.
- Schaeffer, Pierre. (1950). *Traité des objets musicaux : essai interdisciplines* (nouv. éd.). Paris : Éd. du Seuil. 700 p.
- . (1973). *La musique concrète* (2e éd. mise à jour). Paris : Presses universitaires de France. 125 p.
- Schafer, R. Murray. (2010). *Le paysage sonore : le monde comme musique* (Sylvette Gleize, trad.). [Paris] : Éd. Wildproject. 411 p.
- Schwitters, Kurt. (artiste). (1919-1933). *Merzbau* [œuvre]. Hanovre, Allemagne.
- SdT (V.1 et V.3) [logiciel]. (2001-2003). Paris : Logiciel non édité.
- Serres, Michel. (1993). *Les origines de la géométrie : tiers livre des fondations*. Paris : Flammarion. 337 p.
- Sexton, Erin. (artiste). (2014). *Crystalline domain* [installation]. Biennale Internationale d'Art Numérique. Montréal : Eastern Bloc. Consulté le 3 juin à l'adresse <http://erinsexton.com/crystallinedomain/>
- Shellard, Mariana. (artiste). (2011). *RePartitura*. Résidence du 13 au 27 mai 2011. Québec, QC : Avatar.
- Sherman, Mary (artiste) et Grond, Florian (artiste). (2012). *Delay*. [installation]. Consulté le 19 avril 2016 <http://transculturalexchange.org/marysherman/works/current/delay/vd.html>
- Sherman, Mary et Grond, Florian (artiste). (2014). *Delay : Solo-Exhibition ; OPENING with TALK* [exposition 24.10.2014 à 02.11.2014]. Trondheim, Norway : Galleri KIT. Consulté le 13/04/2016 à l'adresse <http://www.kit.ntnu.no/en/content/delay-exhibition-opening-talk-mary-sherman-florian-grond>.

- Simondon, Gilbert. (1958). *Du mode d'existence des objets techniques* (thèse de doctorat). Paris : Aubier
- . (1989). *L'individuation psychique et collective : à la lumière des notions de forme, information, potentiel et métastabilité*. [Paris] : Aubier-Montaigne. 293 p.
- . (1964/1995). *L'individu et sa genèse physico-biologique* (Nouv. éd.). [Grenoble], P.U.F. France : J. Millon. 271 p.
- Sinclair, Peter. (artiste). (2008). *RoadMusic*. [installation interactive]. Marseille, France : Grand littoral, quartiers nord.
- . (2012, May). Sonification : what were how why artistic practice relating sonification to environnements. *AI & Society*, 27(2), 173-175. doi : 10.1007/s00146-011-04346-2
- . (2013). *Using Real-Time Data Flux in Art – The mediation of a Situation as it Unfolds, RoadMusic – An Experimental Case Study* (thèse de doctorat). University of the Arts London.
- Sonic Jello : immersion en 64 canaux pour corps, viscères et cerveaux* [concerts et installations sonores]. (2015). Événement organisé du 2 au 5 septembre 2015 par l'École des médias de l'UQAM et Hexagram UQAM . Montréal : Agora Hydro-Québec.
- Sonification.de : Thomas Hermann's research on Sonification, Data Mining and Ambient Intelligence* [site internet]. Consulté le 3 novembre 2010 à l'adresse <http://sonification.de/son/definition>
- Soundart – ZKM. (2012) [site internet]. <http://soundart.zkm.de/>
- Soundhack (version 1.2) [logiciel]. (2006). Consulté le 20 août 2016 à l'adresse. <http://www.soundhack.com/2006/12/>
- Spectres électromagnétiques [s.d]. Dans *Wikipédia*. Consulté le 26 mai 2015 à l'adresse https://fr.wikipedia.org/wiki/Spectre_électromagnétique#/media/File:Domaines_du_spectre_électromagnétique_14122013.JPG
- Steve Heimbecker [site d'artiste] <http://www.steveheimbecker.net/installations/wind-array-cascade-machine-2003/>
- Stiegler, Bernard. (1994–1996). *La Technique et le temps*, (tome 1 et 2), éd. Galilée, Paris
- Supper, Alexandra. (2014). Sublime frequencies : The construction of sublime listening experiences in the sonification of scientific data. *Social Studies of Science*, 44(1), 34-58.

- Tacet* (2012-), dir. éd. Saladin, Matthieu et Etienne, Yvan, Presses du Réel, Coll. Ohcetcho.
- Takis, Vassilakis. (artiste). (1964-1966). *Pendules magnétiques* [œuvre].
- Tanaka, Atau. (artiste). (1998). 9m14s Over Vietnam [son et image]. Consulté à l'adresse : <http://www.ataut.net/site/9m14s-Over-Vietnam,62>
- . (artiste). (2004). Bondage [installation]. Consulté le 20 août 2016 à l'adresse : <http://www.ataut.net/site/Bondage>
- . (artiste). (2008). *Biomuse* [document vidéo]. Consulté le 20 août 2016 à l'adresse <http://www.ataut.net/site/Biomuse>,
- . (2012, Mai). The sound of photographic image. *AI & Society*, 27(2), 315-318.
- Tapper, Dan (s.d.). *VLF : A Sound Artist's Guide*. Consulté le 21 mars 2016 à l'adresse https://issuu.com/dantappersoundart/docs/vlf_guide_4_upload
- Tatline, Vladimir. (artiste). (1915-1916). *Reliefs angulaires* [œuvre]. Dernière exposition futuriste de tableaux 0,10. Saint-Petersbourg, Russie : Galerie d'art Dobychina.
- The Optophone (1921, 16 avril). *The British Medical Journal*, 1(3146), 574. Doi: <http://dx.doi.org/10.1136/bmj.1.3146.574>
- The Type-Reading Optophone : an instrument which enables the blind to read ordinary type. *Scientific American* (1920, Novembre), 123(19), 463. Consulté le 15 mai 2015 à l'adresse <http://hdl.handle.net/2027/mdp.39015024546411?urlappend=;seq=543>
- Tiffon, Vincent. (2008). L'influence de l'outil : pour une étude raisonnée des interactions entre innovations techniques et inventions musicales en audiosphère, dans *EMS08 – Musique concrète – 60 years later* : Electroacoustic Music Studies Network International Conference : 3-7 June 2008 (Paris) - INA-GRM and University Paris-Sorbonne (MINT-OMF). Consulté à l'adresse <http://www.ems-network.org/ems08/paper.html>
- Tittel, Claudia. (2009, avril). Sound Art as Sonification, and the Artistic Treatment of Features in our Surroundings. *Organised Sound*, 14(01), 57-64. doi: [10.1017/S1355771809000089](https://doi.org/10.1017/S1355771809000089) Consulté le 26 mars 2016
- Vallier, Dora. (1993). Préface. Dans W. R. Worringer, *Abstraction et Einfühlung : contribution à la psychologie du style* (Martineau E., trad.). Paris : Klincksieck. (Original publié en 1907).
- Van Eyck, Jan. (artiste). (1434). *Les époux Arnolfini* [œuvre]. Londres, UK : Collection de the National Gallery.

- Vanesse, Simon. (2004) *Le Souffle de la terre*, Réalisation d'un outil de sculpture sonore (G105, Projet de fin d'étude) Université de Technologie de Compiègne, Génie informatique.
- Varela, Francisco. (1970). *Insect retinas : visual processing in the compound eye* (thèse de doctorat). Harvard University. 2 vol.
- Vauclair, Sylvie et Lévine, Claude-Samuel. (2013). *La nouvelle musique des sphères*. Paris : O. Jacob. 179 p.
- . (2014). *Musique des Sphères*. Émission diffusée sur France Inter le mardi 29 avril 2014. Consulté le 16 juin 2016 à l'adresse <http://www.franceinter.fr/emission-cosmic-fantaisie-musique-des-spheres-avec-sylvie-vauclair-et-claude-samuel-levine>.
- Vasselin, Martine. (2015). *Traité de la peinture*, livre de Leon Battista Alberti. Dans *l'Encyclopædia Universalis*. Consulté le 12 septembre 2015. URL <http://www.universalis-edu.com.proxy.bibliotheques.uqam.ca:2048/encyclopedia/traité-de-la-peinture-leon-battista-alberti/>
- Vesna, Victoria. (artiste). (2007-2013). *Blue Morph* [installation interactive].
- . (2012). *Vibration matters : collective blue morph effect*. *AI & Society*, 27(2), 319-323.
- Villeneuve, Jonathan. (artiste). (2013). *Être bien encadré* [installation]. Exposition du 14 septembre au 19 octobre 2013. Montréal : OBORO.
- Vischer, Robert. (1873). *Über and das and optische and Formgefühl : ein Beitrag zur Aesthetic*. Leipzig, Deutschland : Credner. Viii, 49 S.
- Vischer, Robert, Fiedler, Conrad, Wölfflin, Heinrich, kunsthistoricus et Mallgrave, Harry Francis. (1994). *Empathy, Form, and Space: Problems in German Aesthetics, 1873-1893*. Santa Monica, CA : Getty Center for The History Of Art and Humanities. 342 p.
- Walker, Bruce. N. et Kramer, Gregory. (2004). *Ecological psychoacoustic and auditory display*. Dans John G. Neuhoff (dir.), *Ecological psychoacoustics*. Amsterdam : Elsevier Academic Press.
- Walker, Bruce N. et Nees, Michael A. (2011). *Theory of sonification. Towards a Taxonomy of Auditory Display & Sonification* [chapitre 2]. Dans Thomas Hermann, Andy Hunt et John G. Neuhoff (dir.), *The sonification handbook* (p.12-14). Berlin : Logos Verlag.
- Weibel, Peter. (2012). *Sound Art. Sound as a Medium of Art*. Dans *Soundart – ZKM* [site internet]. Consulté le 24 avril 2016 à l'adresse <http://soundart.zkm.de/>

Worringer, Wilhem. R. (1993). *Abstraction et Einfühlung : contribution à la psychologie du style* (Martineau E., trad.). Paris : Klincksieck. (Original publié en 1907)

Xenakis, Jannis. (artiste). (1921-2001). *Polytopes* [œuvres].

120 Years of Electronic Music, the history of electronic music from 1800 to 2015.
Consulté à l'adresse <http://120years.net/>

ANNEXE A

DVD DES FIGURES VIDÉO ET AUDIO

ANNEXE A

LISTE DES FIGURES VIDÉO ET AUDIO FIGURANT DANS LE DVD

Fig.	Légendes	Page
2.26 ◀	<i>Le Souffle de la terre, Etude n°1</i> (2000). Lorella Abenavoli. Extrait sonore. (à écouter au casque)	63
2.28 ◀	<i>Souffle de la Terre, Étude n°3.</i> (2004). Lorella Abenavoli. Captations de Qiongzhong Guangduong, Chine. (à écouter au casque)	64
2.29 ◀	<i>Souffle de la Terre, Étude n°3.</i> (2004). Lorella Abenavoli. Captations de Limon Verde, Chili. (à écouter au casque)	64
2.30 ◀	<i>Souffle de la Terre, Étude n°3.</i> (2004). Lorella Abenavoli. Captations de College Outpost, Alaska. (à écouter au casque)	64
2.31 ☞	<i>Souffle de la Terre, Étude n°3.</i> (Octobre 2004), Lorella Abenavoli.	66
4.5 ◀	<i>GP4</i> (2004) Jens Brand.	107
4.12 ☞	<i>Delay</i> (2012) Mary Sherman et Florian Grond Vidéo : Florian Grond. Documentation : Siyi Wang (Editing)	112
4.18 ☞	<i>Bondage</i> (2004) Atau Tanaka.	117
4.22 ☞	<i>L'origine des espèces</i> (2006) Jocelyn Robert.	123
4.26 ☞	<i>Skizzen bewegender Gleichungen</i> (2012) Florian Grond. Enregistrement sonore : L. Alexis Emelianoff	134
5.2 ◀	<i>K' perioum</i> (1918) Raoul Hausmann, Poème phonétique. 1'09"	149
5.4 ◀	<i>b b b b et F m s b w</i> (1918) Raoul Hausmann. Poème phonétique, 1'09"	150
5.15 ☞	<i>VLF Natural Radio</i> (2002) Jean-Pierre Aubé. Vidéo réalisée en Finlande en 2002.	170
5.16 ☞	<i>Save the Waves</i> (2004) Jean-Pierre Aubé. Vidéo de la performance inaugurale à Fonderie Darling (Montréal, 2004).	172
5.26 ◀	<i>La Harpe à nuages</i> (1998) Nicolas Reeves. Le fichier son propose un extrait enregistré durant une tempête de verglas.	190
5.34 ☞	<i>SIGNE</i> (2008) Steve Heimbecker. Interface du Patch Max et extrait audio de la pièce. On voit le « damier » qui représentent les capteurs de WACM dont le changement de valeur indiquent les flux éoliens qui induisent les variations sonores de <i>Signe</i> .	202
5.36 ◀	<i>SIGNE</i> (2009) Steve Heimbecker. Festival Elektra 2009, Montréal. Extrait.	202
6.2 ◀	<i>VERTICALE</i> (2006-2014). Lorella Abenavoli. Premières captations de la sève dans un érable à sucre en 2006. Échantillons à 1 MHz ralentis à 96 KHz.	219
6.9 ☞	<i>VERTICALE</i> (2014). Lorella Abenavoli. Exposition à la Galerie R3. Octobre 2014.	231
6.13 ◀	<i>VERTICALE, Étude n°3</i> (2015). Lorella Abenavoli. Événement Sonic Jello. Enregistrement stéréo. Enregistrement : Steve Heimbecker.	237