

UNIVERSITÉ PARIS VIII

UFR Arts

Département de Musique

**La spatialisation des musiques électroniques
au regard du processus de composition**

Amélie Nilles

Mémoire de Master 1

Sous la direction de Anne Sèdes

2015 – 2016

Je tiens, en premier lieu, à remercier Anne Sèdes, ma directrice de recherche, pour nos discussions qui m'ont toujours poussée à aller chercher plus loin.

Je remercie également Stefan Robbers et François Bonnet pour avoir eu la gentillesse de répondre à mes nombreuses questions lors de nos échanges de mails. Merci également à Arnault Damien et Étienne Corteel pour m'avoir fait découvrir la WFS Sonic Emotion.

Enfin, un grand merci à Filippas Sakagian pour avoir pris le temps de discuter avec moi de questions de composition.

Table des matières

Introduction.....	5
I. État de l'Art de la spatialisation dans l'ensemble des musiques électroniques.....	8
I.1 Les musiques électroniques dites «savantes».....	9
I.1.1 Les systèmes de diffusion, techniques de reproduction et outils de spatialisation.....	9
I.1.2 Techniques de composition de l'espace fréquemment employées.....	13
I.1.3 Les installations sonores.....	14
I.1.4 Les festivals.....	16
I.2 Les musiques électroniques dites « populaires ».....	16
I.2.1 Les systèmes de diffusion.....	16
I.2.2 Techniques de spatialisation et outils fréquemment employés.....	19
I.2.3 Les festivals.....	21
I.3 Conclusion.....	22
II. Composer l'espace.....	24
II.1 Localisation, trajectoires : le son dans l'espace.....	24
II.2 Composition d'espaces sonores plus ou moins complexes : le son devient l'espace.....	28
II.2.1 La décorrélation micro-temporelle et la synthèse granulaire.....	28
II.2.2 L'approche spectrale.....	34
II.2.3 Création d'environnements virtuels, réels ou inouïs.....	38
II.3 Composer pour un lieu, un système de diffusion et/ou une technique de reproduction de l'espace.....	40
II.3.1 Composer pour un lieu.....	41
II.3.2 Composer pour ou avec un dispositif de haut-parleurs et/ou une technique de reproduction de l'espace.....	43
II.4 Conclusion.....	49
III. Penser la place et le rôle de l'espace dans une oeuvre par rapport au processus de composition.....	51
III.1 L'espace comme élément <i>extérieur</i> au processus de composition.....	51
III.2 L'espace comme <i>paramètre composable</i>	56

III.3 L'espace à <i>l'origine</i> du processus de composition.....	61
Conclusion.....	65
Annexe A : Systèmes de diffusion.....	69
Annexe B : VBAP, HOA, WFS.....	71
Annexe C : Mes outils de spatialisation pour <i>Miniature 2</i>	72
Bibliographie.....	73

Introduction

« [...] dans aucun cas, la musique écrite n'a été réellement déterminée par la notion d'espace. Celui-ci est venu s'ajouter à fortiori, en prime en quelque sorte, comme un effet, spectaculaire parfois mais jamais essentiel. L'écoute stéréophonique, voire monophonique de ces musiques ne change en rien les valeurs musicales représentées, ni le sens du discours musical. Alors que dans la musique électroacoustique, cette notion sera développée au point que certaines œuvres, en dehors de leur contexte spatial, ne présentent pas beaucoup d'intérêt tant l'espace est déterminant dans leur composition même. Le médium, c'est l'espace. » [Normandeau, 2012]

Le médium de la musique électroacoustique, c'est l'espace [Normandeau, 2012]. J'ajouterais même que c'est le médium des musiques électroniques en général puisque celles-ci sont nécessairement diffusées au moyen de haut-parleurs, eux-mêmes disposés dans un espace : là où est placé le haut-parleur, le son peut également s'y trouver. Depuis les débuts de la musique concrète dans les années 40, l'espace a toujours été considéré comme un paramètre important de la composition. Stockhausen¹ annonçait que, dans le futur, cela marquerait une « révolution » dans la musique, tandis que Vande Gorne, un demi-siècle plus tard, affirmait que l'espace était le « cinquième paramètre musical » au même titre que « la hauteur, la durée, l'intensité et le timbre » [Vande Gorne, 2012]. D'après Schmele [2011], l'espace serait l'enjeu du XXI^e siècle comme le timbre l'a été au XX^e siècle ; c'est un nouveau langage musical.

Pourtant, de nombreux compositeurs-chercheurs² ont souligné, dans leurs travaux, le manque de créativité vis-à-vis de l'espace dans les musiques électroniques, malgré une avancée technologique considérable. En 2006, Otondo a réalisé un sondage auprès d'une cinquantaine de compositeurs de musique électroacoustique à propos de leurs habitudes de spatialisation, et il conclut : « [...] the technology is there but there has not been a development in terms of artists pushing the boundaries. »³ [Otondo, 2008]. Il remarque tout de même que le travail de l'espace en

1 Stockhausen, K., 1964, *Die vier Kriterien der Elektronischen Musik*, in « Selbstdarstellung: Künstler über sich », Ed. Wulf Herzogenrath, Düsseldorf, Germany, transcribed lecture at the Folkwang-Museum, Essen, Germany.

2 [Otondo, 2008], [Baalman, 2010], Natasha Barret dans [Otondo, 2007], ...

3 « [...] la technologie est là, mais il n'y a pas eu de développement en terme d'artistes qui auraient repoussé les

musique électronique est beaucoup plus commun de nos jours, mais pas toujours bien pensé. En effet, les utilisations de la spatialisation restent souvent redondantes, les techniques les plus fréquemment employées sont les plus conventionnelles (usage de trajectoires à profusion, penser l'espace seulement comme une ornementation, ...) et le format stéréo se révèle encore être le format de prédilection. Peu de compositeurs, dans l'ensemble des musiques électroniques, ont déjà essayé l'Ambisonie et la WFS par exemple, ou des techniques de spatialisation autres que la panoramisation. Si l'on cherche des raisons à cela, on peut imaginer que les nouvelles technologies, et donc l'ensemble des techniques de reproduction du champ sonore et outils de spatialisation à disposition, peuvent sembler trop complexes à manipuler, et leurs capacités sont mal comprises puisqu'elles engendrent souvent des notions scientifiques [Kendall & Ardila, 2007]. Surtout, le potentiel de l'espace dans les musiques électroniques n'apparaît pas toujours de façon évidente. Durant mon apprentissage – qui est d'ailleurs loin d'être terminé –, bien que fascinée par la spatialisation, je me suis souvent sentie impressionnée face à l'apparente complexité de tout ce qui est en rapport avec l'espace dans la musique électronique.

Partant de ce constat, je souhaite proposer, avec ce présent mémoire, un regard tantôt théorique, tantôt pratique, sur les nombreuses formes que peut prendre la composition de l'espace au sein d'une œuvre de musique électronique, et sur les possibilités qui s'offrent au compositeur pour penser l'espace dans sa musique. Les ouvrages abordant la question de l'espace étant majoritairement très techniques [Néron-Baribeau, 2014], j'ai souhaité rendre plus accessible le sujet de la spatialisation en allégeant la partie technique au profit d'observations sur les pratiques actuelles, et en apportant de nombreuses pistes pour travailler l'espace. En m'appuyant de propos de chercheurs et de mes réflexions personnelles, j'espère apporter des informations à tout compositeur curieux d'en apprendre d'avantage sur la spatialisation. Une des finalités de ce présent mémoire serait d'aider à envisager la musique électronique autrement, au moyen de l'espace. J'aimerais, en outre, mettre au clair ce que j'entends par le terme "spatialisation". On emploie souvent, en guise de synonyme, l'expression "mise-en-espace du son" mais ce n'est pas uniquement cela : c'est aussi tout ce qui a trait de près ou de loin à l'espace, tout geste permettant de créer un espace sonore à n'importe quelle échelle (en 2D, 3D, en stéréo et même en mono avec l'impression de profondeur de champ, etc.). La spatialisation renvoie à l'ensemble des techniques de composition de l'espace sonore et parfois au type de dispositif employé⁴.

limites. »

4 Exemple : lorsque l'on parle de "spatialisation multicanale" pour désigner une œuvre spatialisée pour un dispositif multicanal.

Dans la première partie de ce présent document, je réalise, de façon non-exhaustive, l'état de l'art de l'utilisation de la spatialisation dans l'ensemble des musiques électroniques. Par musiques électroniques, j'entends toute musique utilisant partiellement ou uniquement l'électronique. Cette partie prolonge l'introduction et propose une vue d'ensemble des diverses technologies existantes, des techniques de spatialisation employées, et de la place accordée à l'espace dans les festivals de musiques électroniques. En confrontant les musiques électroniques dites « savantes » et celles dites « populaires », on peut mettre en évidence leurs habitudes respectives en ce qui concerne l'espace, et comprendre mieux ce qui les oppose ou, au contraire, les unit. Ainsi, je pose en quelque sorte les bases du mémoire, et je vais par la suite expliciter en détails certains thèmes évoqués. Plus généralement, cet état de l'art sert de point de départ à l'ensemble de mes recherches (présentes et futures) concernant la spatialisation dans les musiques électroniques.

Dans la deuxième partie, je vais suggérer différentes manières de composer l'espace au sein d'une pièce et présenter les moyens que le compositeur a à sa disposition pour y arriver, en m'appuyant de travaux de compositeurs et chercheurs, mais aussi de mes propres expérimentations. Je dégagerai alors trois types d'espace ainsi composés. Par ailleurs, je tâcherai de faire ressortir le rôle de la technologie et son influence dans la composition de l'espace.

Enfin, la troisième partie se pose comme réflexion sur ce qui a été dit précédemment. En effet, je discute trois façons différentes d'intégrer l'espace dans les musiques électroniques (en fin du processus de composition, pendant le processus de composition, et en amont du processus de composition), qui dépendent entre autre des intentions de composition de l'artiste. Nous verrons alors que selon la manière avec laquelle l'espace est envisagé, celui-ci jouera un rôle tout à fait différent en regard de l'oeuvre.

Je n'ai pas mentionné un point important, qui pourrait également être une raison pour laquelle l'espace n'est pas toujours bien compris dans les musiques électroniques : le manque de connaissance en matière de perception auditive [Kendall & Ardila, 2007]. Bien que cette notion⁵ soit essentielle lorsque l'on parle d'espace dans la musique, je ne traiterai pourtant pas de cela en détail dans le présent mémoire. Étant limitée par le temps et le format, il s'agit ici d'une première partie de mes recherches qui se concentre sur la composition de l'espace et le point de vue du compositeur. Je reviendrai sur l'expérience de l'espace par l'auditeur, et donc sur des notions de psycho-acoustiques, dans de futurs travaux de recherches.

5 J'invite le lecteur intéressé à se référer à Blauert, J., 1997, *Spatial hearing: the psychophysics of human sound localization*, MIT press.

I. État de l'Art de la spatialisation dans les musiques électroniques

Dans cette partie, je dresse un bilan de l'utilisation de l'espace dans les musiques électroniques et je pose les bases du présent mémoire en présentant globalement les sujets que nous évoquerons plus en détails dans les parties suivantes. L'objectif n'est pas d'établir, dans chaque sous-partie, une liste exhaustive de chaque outil, système, technologie ou utilisation de la spatialisation, mais plutôt de mettre-en-évidence les points qui me semblent essentiels en citant quelques exemples.

Afin de confronter les différents genres de musique électronique par rapport à leur utilisation de l'espace, je propose deux parties distinctes : les musiques électroniques dites « savantes » d'une part (musiques électroacoustiques, acousmatiques, mixtes (musiques instrumentales contemporaines avec dispositif électronique en temps réel ou sur support)), les musiques électroniques dites « populaires » d'autre part (musiques *electronica*, de danse (Dj, musiques basées sur un *beat*⁶) et expérimentales (ou IDM⁷)). Je qualifie de « savantes » les musiques électroniques dont les compositeurs peuvent être également chercheurs : la composition part souvent d'une démarche de recherche, ou bien est basée sur des concepts, et surtout elle est accompagnée d'un accès privilégié aux technologies de pointe. Deuxième point important, ces musiques sont, dans la majorité des cas, subventionnées par l'État et donc issues de commandes, encadrées par des universités, des centres de recherche, radios d'État, mécénat d'entreprises, ... « Le répertoire savant ne saurait être diffusé sans cette aide. » [Kosmicki, 2006]. Elles sont, d'après moi, en direct évolution avec la musique instrumentale contemporaine et les nouvelles technologies. L'adjectif « savant » me semble donc correcte. Il y a généralement une démarche de recherche pour composer ce genre de musiques. J'associe le terme « populaires » aux musiques électroniques plutôt influencées par les musiques instrumentales *pop*. Les musiques expérimentales (ou IDM) se servent de leur propre expérience pour essayer de se détacher du reste en repoussant continuellement leurs limites (Aphex Twin, Autechre, Monolake, Fraction, ...) sans pour autant prendre leur source dans les musiques dites

6 *Beat* : « en français « battement », ce terme désigne la ligne de grosse-caisse d'un morceau techno, en très grande majorité systématisée sur chaque temps. » [Guillien, 2005].

7 *Intelligent Dance Music*. Voir [Ramsay, 2013] pour plus d'informations.

« savantes » (Pierre Schaeffer, Pierre Henry, etc.) [Ramsey, 2013]. Les compositeurs ont accès aux technologies employées par les musiques savantes dès lors qu'elles deviennent abordables financièrement. Enfin, ces musiques sont soutenues par un label, par l'industrie du disque, par des entreprises privées à but lucratif (et en dépendent). Je retiens donc les termes « savant » et « populaire », que je placerais tout de même entre guillemets, car je ne souhaite pas rentrer dans un débat de « classes », une grande partie de la population ayant accès à l'éducation de nos jours. J'assume le fait que tout le monde pourrait faire à la fois de la musique électronique « populaire » et « savante » s'il le souhaite. En effet, ces deux catégories ne sont pas totalement séparées, il est important de remarquer que l'une et l'autre s'influencent mutuellement [Kosmicki, 2006]. Je n'exclue pas le fait qu'un compositeur issu de la recherche puisse faire également une musique électronique dite « populaire », et inversement. Fort heureusement.

Si j'explique si longuement mon choix, c'est pour que le lecteur comprenne la logique choisie pour répartir les musiques électroniques, logique que je suivrai tout au long de ce mémoire. Je précise que ce n'est qu'une façon de classer les différents genres électroniques, ce n'est bien entendu pas la seule, et en aucun cas la meilleure.

I.1. Les musiques électroniques dites «savantes»

« L'acousmatique, dans ses conditions d'écoute les plus strictes (rien à voir, tout à imaginer) est depuis le début (1951, première projection sonore en relief spatial, Paris) le laboratoire de recherche tant technologique qu'esthétique le plus pointu sur les interrelations multiples entre Espace, Son, et Musique. » [Vande Gorne, 2010]

I.1.1 Les systèmes de diffusion, techniques de reproduction et outils de spatialisation⁸

Les méthodes de reproduction de l'espace sont un ensemble de techniques basées sur des algorithmes permettant de projeter le son, via les haut-parleurs, selon un type de modélisation de l'espace. Parmi les techniques les plus employées par les compositeurs de musiques électroniques

⁸ Le lecteur intéressé peut voir en complément les ANNEXES A et B.

dites « savantes », nous pouvons citer :

- les techniques stéréophoniques qui créent une image spatiale d'une source sonore (ou illusion de positionnement) à l'aide d'une différence d'amplitude (et parfois de temps) entre deux canaux – et donc entre deux haut-parleurs – dans le cas où l'on travaille en 2D (Panoramisation d'Amplitude), ou alors entre les trois haut-parleurs les plus proches de la source et positionnés sur une sphère dans le cas où l'on travaille en 3D (Vector Base Amplitude Panning ou VBAP)⁹
- l'Ambisonie¹⁰ basée sur la décomposition du champ sonore en harmoniques circulaires (2D) ou sphériques (3D)
- la Wave Field Synthesis (WFS)¹¹ basée sur la simulation de la propagation d'une onde sonore dans l'air (2D et 3D).

La manière de penser l'espace change selon la technique utilisée et influence le musicien dans sa façon de composer ; ou inversement : le compositeur choisit la technologie qui lui convient le mieux (voir partie II.3.2).

« Within electroacoustic music, quadrophonic and octophonic layouts have become a fairly common concert setup. »¹² [Baalman, 2010]

La stéréophonie est apparue dans les années 1930 et est devenue la technologie la plus employée jusqu'à ce jour (salles de concerts, écoute domestique, ...) [Otondo, 2008]. En effet, elle nécessite seulement deux haut-parleurs idéalement placés à égale distance de l'auditeur et sur le même plan, chacun orienté de 30 degrés par rapport au centre (l'auditeur). Les techniques stéréophoniques fonctionnent également avec les dispositifs multicanaux standards (quadriphonie, hexaphonie, octophonie, ...) et sont d'ailleurs les plus employés pour gérer la spatialisation du son sur ces systèmes (notamment en 2D). *Standards* car ces systèmes nécessitent "peu" de haut-parleurs (entre 4 et 8 voire 16) de même fabrication et il est très aisé, de nos jours, de s'en procurer à un coût raisonnable. Ils proposent aussi une bonne alternative à la stéréo en ce qui concerne les musiques

9 Le lecteur intéressé par les techniques stéréophoniques et notamment par la technologie VBAP peut se référer à : Pulkki, V., 2001, *Spatial Sound Generation And Perception By Amplitude Panning Techniques*, Thèse de Doctorat, Helsinki University of Technology.

10 Ouvrages de référence conseillés pour en apprendre plus sur l'Ambisonie : Gerzon, M. A., 1974, *Surround Sound Psychoacoustics*, Wireless World, Vol. 80, pp. 483-486 ; Fellgett, P., 1975, *Ambisonics. Part One: General System Description*, Studio Sound, Vol.17, pp.20-22. Voir également la partie II.3 pour plus d'informations.

11 Ouvrages de référence conseillés pour en apprendre plus sur la WFS : Berkhout, A.J., 1988, *A Holographic Approach to Acoustic Control*, *Journal of the Audio Engineering Society*, 36(12), pages 977-95 et Berkhout, A. J., 1998, *A Wavefield Approach to Multichannel Sound*, *Proceedings of the 104th Convention of the Audio Engineering Society*, Preprint 4749. Voir également la partie II.3 pour plus d'informations.

12 « Avec la musique électroacoustique, les configurations quadriphoniques et octophoniques sont devenus assez couramment employées. »

spatialisées. Les techniques ambisoniques fonctionnent également très bien avec ces systèmes, à condition que les haut-parleurs soient correctement positionnés [Otondo, 2007]. Bien que leur utilisation soit restée minoritaire jusqu'au début du XXI^e siècle [Otondo, 2008], on constate cependant un essor de l'emploi de ces techniques dans la dernière décennie [Barrett, 2010]. On peut noter une forte augmentation du nombre de compositeurs usant des systèmes standardisés par l'industrie du cinéma depuis la fin des années 90 comme le 5.1 surround, le 7.1, etc. [Otondo, 2008] Ils permettent une spatialisation du son en 2D mais aussi en 3D (9.1, 13.1) et présentent l'avantage que de nombreuses salles, studios et particuliers en possèdent dû à leur coût réduit. Des compositeurs tels que Bertrand Merlier ou encore Monique Jean ont adopté le dispositif 5.1 aussi bien en concert que pour leur version CD. La compositrice Natasha Barrett note cependant qu'elle l'utilise uniquement si elle peut bénéficier, pour le concert, d'une double couronne 5.1 : une première très proche du public, une deuxième plus éloignée, sans quoi l'acoustique de la salle prédomine sur la diffusion de l'oeuvre. Elle fait d'ailleurs remarquer que dans les salles de cinéma, il est rare que le système 5.1 se limite à seulement 6 enceintes [Otondo, 2007]. Pour en revenir au format CD, la stéréo reste la plus répandue, même dans le milieu des musiques électroniques « savantes » spatialisées, que l'oeuvre ait été composée à l'origine en stéréo, en multipiste ou pour une technologie particulière¹³. La synthèse binaurale¹⁴ est de plus en plus employée pour que des œuvres spatialisées autrement que pour la stéréo puissent être écoutées en 3D, à condition de porter un casque.

Une alternative pour spatialiser sa musique à plus grande échelle alors que celle-ci a été conçue en stéréo est de diffuser ses œuvres sur acousmonium, par le biais d'un interprète acousmatique ou du compositeur lui-même via une console de diffusion¹⁵. La musique électroacoustique composée dans le but d'être diffusée sur acousmonium est appelée musique acousmatique. L'Acousmonium est un dispositif de haut-parleurs conçus par François Bayle et Jean-Claude Lallemand au début des années 70 au GRM (Groupe de Recherche Musicale). Appelé aussi « orchestre de haut-parleurs », il est constitué d'un ensemble de haut-parleurs de fabrication diverse, ce qui engendre alors des timbres et couleurs différentes, et permet une diffusion du son non-homogène, selon les plages de fréquences retransmises par les enceintes. Outre celui du GRM, il en existe plusieurs déclinaisons basées sur les mêmes principes comme les acousmoniums des

13 Le problème du « down-mixing » (réduction du format d'une œuvre spatialisée par le biais du mixage ou d'un logiciel de spatialisation particulier comme le *Spat* de l'Ircam) sera évoqué en partie III, sans pour autant nous étendre, car il est complexe et mérite plus de recherches et de témoignages de musiciens.

14 Pour plus d'informations sur la synthèse binaurale, le lecteur peut se référer à Larcher, V., 2001, *Techniques De Spatialisation Des Sons Pour La Réalité Virtuelle*, Thèse de l'Université Paris 6, Paris, France.

15 Pour plus d'informations sur l'interprétation acousmatique, se référer à [Guiot, 2014].

compagnies Motus¹⁶ et Alcôme¹⁷ en France. À l'étranger, on retrouve aussi des « orchestres de haut-parleurs » légèrement différents et surtout pensés pour être mobiles comme le BEAST (Birmingham ElectroAcoustic Sound Theatre)¹⁸, ou encore le système aisément transportable et modulable imaginé par la fondation Game Of Life¹⁹ constitué de 192 haut-parleurs fonctionnant avec la technologie WFS, le tout contrôlé par un logiciel développé pour ce système [Schmele, 2011].

La plupart des Instituts de Recherches en son et Universités possèdent leur propre studio avec leur propre dispositif d'enceintes. Ainsi, au CICM (Centre de recherche Informatique et Création Musicale, à Paris), nous disposons d'une hémisphère de seize haut-parleurs qui peut fonctionner avec de nombreuses technologies, bien que l'Ambisonie et plus précisément HOA (Higher Order Ambisonics)²⁰ soit la plus utilisée dans le cadre des recherches. D'autres imaginent ce que l'on peut appeler des « espaces standardisés » [Schmele, 2011] : il s'agit d'un dispositif de haut-parleurs fixe, pensé en fonction de l'acoustique du lieu dans lequel il est contenu, et destiné aux expérimentations mais aussi aux performances publiques sonores et parfois audiovisuelles. Les résidences artistiques organisées dans ces divers lieux sont l'occasion de faire connaître le système et de développer des outils adaptés. C'est le cas du Klangdom au ZKM (Centre d'Art et de Technologie des Médias de Karlsruhe, en Allemagne)²¹ situé dans le Kubus à l'Institut für Musik und Akustik et constitué de 39 haut-parleurs. Un logiciel de spatialisation nommé Zirkonium a été développé pour manipuler l'espace au sein du Klangdom. Il fonctionne avec deux techniques de restitution du champ sonore : l'Ambisonie et le VBAP (Vector Base Amplitude Panning). Citons encore la Société des Arts Technologiques (SAT)²², à Montréal, qui a également conçu un dôme modulable équipé de 157 haut-parleurs : la Satosphère²³ ; The HISS (Huddersfield Immersive Sounds System)²⁴ qui est un système flexible équipé de 48 haut-parleurs au total, répartis en différents systèmes multicanaux (octophonie circulaire, 5.1 surround, arc-de-cercle) imaginé par l'Université Huddersfield en Angleterre ; Le Cube²⁵ à l'Université Virginia Tech en Virginie (États-Unis), équipé de 124 haut-parleurs. Enfin, l'Espace de Projection de l'Ircam dispose de 264 haut-parleurs régulièrement répartis sur une couronne horizontale permettant ainsi le travail avec la WFS, ainsi qu'un dôme composé de 75 haut-parleurs pour l'Ambisonie (en 3D).

16 Site-web de Motus : <http://motus.fr/>

17 Site-web d'Alcôme : <https://alcome.fr/>

18 Le lecteur intéressé peut se référer à l'article Wilson, S., Harrison, J., 2010, *Rethinking the BEAST: Recent developments in multichannel composition at Birmingham ElectroAcoustic Sound Theatre*, Organised Sound, 15(03), 239–250.

19 En savoir plus sur The Game Of Life Foundation et son système : <http://gameoflife.nl/en/>

20 Voir partie II.3.2.

21 Site-web du ZKM : <http://zkm.de/en>

22 Site-web de la SAT : <http://sat.qc.ca/fr/la-sat>

23 En savoir plus sur le système et ses caractéristiques techniques : <http://sat.qc.ca/fr/satosphere>

24 En savoir plus sur le système et ses caractéristiques techniques : <http://www.thehiss.org/>

25 En savoir plus sur ses caractéristiques techniques : <http://seamus.music.vt.edu/main/the-cube/>

En plus d'avoir la possibilité de travailler l'espace dans leur musique sur des dispositifs aussi diversifiés et avec des technologies de pointe, les compositeurs-chercheurs bénéficient des outils de spatialisation les plus avancés qui demandent souvent des connaissances accrues pour être utilisés, ou bien les développent eux-mêmes, en fonction de leurs besoins, s'ils se sentent limités par les outils existants. Ces outils sont souvent conçus pour le logiciel Max/MSP²⁶ (ou Pure Data²⁷) ou existent sous la forme de plugins ou de logiciels indépendants. Ils permettent la spatialisation du son sur des systèmes modulables, selon une technique de restitution du champ sonore :

- Les techniques stéréophoniques : les GRM Tools²⁸ (série de plugins développés par le GRM), les Acousmodules²⁹ (logiciels développés par le compositeur Jean-Marc Duchenne), OctoGRIS³⁰ (plugin développé à l'Université de Montréal par le Groupe de Recherche en Immersion Spatiale (GRIS)), etc.
- L'Ambisonie : les Ambisonic ToolKit³¹ (série de plugins développés par Trond Lossius), la bibliothèque HOA³² pour Max/MSP et Pure Data (développée par des étudiants de Paris 8 et des compositeurs-chercheurs du CICM), etc.

Le travail en WFS se fait par l'intermédiaire d'interfaces spécialement conçues pour un système particulier comme le logiciel Wave Performer pour la WFS Sonic Emotion³³ ou le plugin Anymix pour la WFS Iosono³⁴. D'autres outils mélangent les techniques de restitution du champ sonore comme le très connu Spat³⁵ de l'Ircam.

I.1.2 Techniques de composition de l'espace fréquemment employées

De nombreuses techniques se sont mises-en-place, au fil des années et des expérimentations, pour travailler l'espace par le biais des sons. Les plus usées, depuis les débuts de la musique électroacoustique, sont la localisation et le mouvement du son dans l'espace, ainsi que la création d'espaces virtuels, attachés à un son en particulier ou à l'oeuvre entière [Otondo, 2008]. Lorsque l'on pense *espace*, on imagine des environnements sonores que l'on connaît bien, à l'acoustique

26 Site-web: <https://cycling74.com/>

27 Site-web: <https://Pure.Data.info/>

28 Site-web: <http://www.inagrm.com/grmtools>

29 Site-web: <http://acousmodules.free.fr/>

30 Site-web: <https://sourceforge.net/projects/octogris/>

31 Site-web: <http://www.ambisonictoolkit.net/>

32 Site-web: <http://www.mshparisnord.fr/hoalibrary/>

33 Site-web de Sonic Emotion : <http://www2.sonicemotion.com/>

34 Site-web de Iosono : <http://www.iosono-sound.com/home/>

35 Site-web: <http://forumnet.ircam.fr/fr/produit/spat/>

caractéristique que l'on va chercher à reproduire. Mais on associe aussi très facilement le déplacement, la mobilité du son à cette notion d'espace. Ainsi, il semble naturel que la composition de l'espace dans une œuvre soit souvent envisagée par rapport à chaque son – ou groupe de sons – pris un par un, en fonction de ses caractéristiques morphologiques : « dans quel espace virtuel va-t-on placer ce son ou groupe de son ? », « va-t-on le faire bouger ? ». C'est pourquoi ces deux manières de composer l'espace sont très employées en musique et constituent en quelques sortes les bases de la spatialisation, peu importe le dispositif de diffusion choisi.

Les compositeurs de musique électronique dite « savante » utilisent d'autres techniques de spatialisation plus complexes qui demandent parfois quelques connaissances scientifiques pour les exploiter comme la manipulation d'algorithmes ou la mise-en-œuvre d'analyses temps-fréquences d'un signal sonore [Roads, 2015]. Ces techniques sont d'ailleurs souvent développées par des compositeurs-chercheurs qui se basent sur des concepts physiques, déjà énoncés par des scientifiques. Nous pouvons citer les techniques de décorrélation micro-temporelle [Kendall, 1995] ou la spatialisation spectrale [Kim-Boyle, 2008] [Normandeau, 2012]. Nous parlerons plus en détails des principales techniques de composition de l'espace dans la suite de ce mémoire (cf. partie II).

Ces techniques de composition de l'espace plus complexes sont rendues possibles grâce au développement des moyens technologiques. Elles sont plus fréquemment employées en studio, lieu où le compositeur prend le temps de travailler sa pièce et donc aussi l'espace, bien qu'il soit possible de voir ce genre de techniques contrôlées pendant le concert, grâce à des outils pensés pour faciliter la gestion de l'espace en temps-réel. Nous pouvons citer Kim-Boyle dans [Kim-Boyle, 2008] qui développe des applications permettant le contrôle de la spatialisation spectrale au moment du concert, ou encore la compositrice Anne Sèdes qui utilise, dans sa pièce *Immersion* pour violoncelle et électronique en temps-réel (2012)³⁶, les techniques de granulation appliquées à la spatialisation au moyen de la bibliothèque HOA. Globalement, la gestion de l'espace en temps-réel – outre la diffusion sur un acousmonium ou tout autre système multicanal – est moins fréquente que la réalisation de transformations sonores en temps-réel. Cela est peut-être dû à encore trop de complexité au niveau des interfaces.

I.1.3 Les installations sonores³⁷

36 Le lecteur désireux d'avoir plus d'informations sur la pièce *Immersion* de Anne Sèdes peut se référer à : Colafrancesco J., Guillot P., Paris E., Sèdes A., Bonardi A., *La bibliothèque HOA, bilan et perspectives*, JIM 2013, Saint-Denis, France, 2013, ainsi qu'à Colafrancesco, J., 2015, *Spatialisation de sources auditives étendues. Applications musicales avec la bibliothèque HOA*, thèse de Doctorat, Université Paris 8.

37 Si je m'arrête quelques instants sur le vaste sujet des installations sonores, c'est pour mettre en évidence certaines notions qui me semblent pertinentes dans le cadre de ce mémoire. En revanche, je ne reviendrai pas sur le cas particulier des installations sonores par la suite.

La majeure partie des installations sonores est conçue pour un auditeur debout, qui a la possibilité de se déplacer au sein même de l'oeuvre, d'entrer et de sortir quand bon lui semble. Il est alors indispensable de penser en terme d'espace pour l'artiste sonore, du fait que l'oeuvre existe physiquement dans un lieu. Que ce soit en plein air ou en intérieur, dans un endroit atypique (aéroport, château, ...), qu'une structure spéciale ait été conçue à l'occasion, la composition des sons doit être pensée en fonction de l'acoustique du lieu et du placement des enceintes. Et inversement : il est probable que l'artiste ait choisi ce lieu en fonction de son acoustique. Cependant, une installation sonore est souvent mobile, et donc indépendante du lieu qui la contient : elle constitue alors un espace en elle-même.

Ainsi, certains compositeurs choisissent de créer un espace sonore virtuel, fermé, en trois dimensions, à l'image des « espaces standardisés » mentionnés en partie I.1.1. Maxence Mercier est à l'origine du *Synesthésium*³⁸, dôme mobile de 24 haut-parleurs qui accueille l'installation *Cauchemar Merveilleux* (2014) de la compositrice et plasticienne Léonore Mercier et du musicien Arthur H, en collaboration avec l'Ircam, dans laquelle la spatialisation du son est traitée au moyen des techniques ambisoniques.

Au contraire, d'autres artistes créent des espaces immatériels, ouverts, par le moyen du son. Depuis les débuts de son travail (années 1950-60), Bernhard Leitner, de formation d'architecte, ne se limite pas aux standards existants pour imaginer ses installations sonores. Sa démarche découle d'une pensée architecturale. Il imagine alors des sculptures très minimales, des spirales, etc. construites avec des matériaux méticuleusement choisis sur lesquelles il place des haut-parleurs. C'est ensuite chaque son projeté depuis chaque point de la structure qui va délimiter, en quelque sorte, l'espace immatériel. Ces installations sont prévues pour permettre au visiteur de se déplacer à l'intérieur et autour de la structure. En effet, Bernhard Leitner voue une grande importance au corps. Pour lui, la perception auditive n'est pas faite uniquement avec les oreilles mais avec tout le corps [Lopez, 2011]. Il souhaite que l'auditeur ne fasse qu'un avec l'espace de l'installation³⁹. Inspiré par Bernhard Leitner, entre autres, on peut citer l'artiste Robin Minard qui travaille sur l'articulation de l'espace plutôt que de chercher à contenir le son dans un espace, évoluant dans le temps⁴⁰.

38 En savoir sur le *Synesthésium* et l'installation *Cauchemar Merveilleux* : <http://synesthesium.com/>

39 Voir les installations *Sound Umbrella* (1990), *Double Arching* (1999) et *Serpentinata* (2004) par exemple.

40 Voir son installation *Silent Music* (1994 – 2012), par exemple, qui est constituée de centaines de haut-parleurs piezo (jusqu'à 600) disposés sur plusieurs murs.

I.1.4 Les festivals

Il est difficile de parler de festival sans mélanger les différents genres de musiques électroniques. Il est rare qu'un festival accueille uniquement des musiques électroniques dites « savantes », sans inviter des artistes issus des musiques expérimentales. L'inverse est également vrai. Nous pouvons citer cependant le festival Futura, festival "purement" acousmatique, qui a lieu tous les ans à Crest en France, où les compositions sont diffusées sur l'Acousmonium Motus. Plusieurs fois par an, le GRM organise, en partenariat avec la Maison des Pratiques Artistiques Amateurs (MPAA - Auditorium Saint Germain à Paris), des séances d'écoute appelées Akousma dans lesquelles des œuvres acousmatiques sont diffusées sur l'Acousmonium du GRM, alors que la salle est plongée dans le noir, avec quelques jeux de lumières. Le Festival Multiphonies est, quant à lui, plutôt dédié aux musiques électroniques mixtes. En Angleterre, le Huddersfield Contemporary Music Festival accueille des musiques électroniques dites « savantes » et les concerts sont principalement sonorisés à l'aide du système HISS.

Les festivals les plus connus sont souvent "hybrides" : ils mélangent les musiques électroacoustiques, mixtes et expérimentales. Nous en reparlerons dans la partie suivante (cf. I.2.3) mais nous pouvons tout de même évoquer le festival *Présences Électroniques* qui prend place au Cent-Quatre à Paris une fois par an et accueille des artistes du monde entier. Une salle équipée d'un acousmonium est essentiellement destinée aux musiques électroniques dites « savantes ». La console de diffusion est située au centre de la salle et les spectateurs sont assis tout autour. Dans la Nef centrale en revanche, ouverte aux concerts du soir et dans laquelle jouent les "têtes d'affiche", le modèle de la scène face au public est conservé, bien que la sonorisation soit également effectuée par un acousmonium hybride qui permet la diffusion multicanale 5.1, 7.1, mais aussi la stéréo⁴¹. Les artistes, tous genres de musiques électroniques confondus, sont invités à diffuser leurs morceaux en version spatialisée, s'ils le souhaitent.

I.2. Les musiques électroniques dites « populaires »

I.2.1 Les systèmes de diffusion

41 Informations apportées par François Bonnet, directeur artistique du GRM, suite à un échange de mails en Juin 2016.

Le dispositif stéréophonique est sans aucun doute le système le plus employé pour la diffusion des musiques électroniques dites « populaires ». Il s'agit du dispositif le moins onéreux, toute salle de spectacle ou club en possède, ainsi que les particuliers – ne serait-ce qu'un casque ou des écouteurs. Live⁴², qui est le séquenceur audio (ou DAW pour Digital Audio Workstation) le plus utilisé par les compositeurs de musique électronique dite « populaire » depuis sa création au début du XXI^e siècle, en 2001⁴³, ne propose qu'une sortie stéréo. Depuis 2009, Live Ableton collabore avec Cycling'74 pour pouvoir intégrer une version du logiciel Max/MSP (avec patches déjà élaborés mais cependant modifiables) au sein même du DAW, le rendant plus flexible. Il est donc possible, à présent, d'utiliser Max for Live⁴⁴ afin d'éviter ce problème, et sortir l'audio sur 4 ou 8 pistes par exemple, mais cela demande des connaissances un peu plus poussées (à la fois une bonne maîtrise de Live et de Max/MSP).

La société 4DSOUND a également collaboré avec Ableton pour mettre en place des outils permettant de contrôler directement la spatialisation au sein de leur système via Live, grâce à Max for Live. Le système 4DSOUND (créé en 2008) est composé de 48 haut-parleurs omni-directionnels répartis sur seize piliers alignés. Ces piliers forment quatre rangées parallèles. Un espace carré est alors constitué dans lequel le son peut se déplacer aussi bien horizontalement, en diagonale, que verticalement (il y a 3 haut-parleurs sur chaque pilier qui sont placés vers le sol, au milieu au niveau de la tête, et en hauteur). 4DSOUND a, à ce jour, collaboré avec de nombreux Djs et musiciens expérimentaux.

Le producteur de musique électronique Stefan Robbers, en collaboration avec l'organisme "Musieklab", a imaginé en 2004 un dispositif multicanal appelé MASE (Multi Angle Surround Engine) afin d'avoir « la possibilité de contrôler la musique dans l'espace en situation de concert »⁴⁵. Il n'a pas été commercialisé et n'est que très rarement employé à ce jour, mais il est néanmoins intéressant d'en parler puisqu'il a été testé avec différents types de musiques électroniques et instrumentales. Il s'agit d'un système octophonique constitué de 8 haut-parleurs identiques, répartis en cercle ou en carré. Une console dédiée et des patches Max permettent de gérer l'espace en temps réel, reliés à des joysticks ou pads. Le système MASE a surtout été pensé pour concevoir des déplacements du son dans l'espace. Robbers m'a confié que cela n'a pas toujours bien fonctionné avec les Djs par exemple, qui travaillent essentiellement avec des musiques enregistrées en stéréo. D'autre part, il était difficile de proposer des performances avec ce système dans les festivals ou

42 Site-web : <https://www.ableton.com/en/live/>

43 En effet, Live Ableton a été conçu pour les musiciens de musique électronique par des musiciens de musique électronique expérimentale (ancienne formation *Monolake* composée de Robert Henke et Gerhard Behles) afin de leur offrir tous les avantages d'un séquenceur classique, prévu pour le studio, tout en permettant une utilisation en concert plus ergonomique.

44 Site-web : <https://www.ableton.com/en/live/max-for-live/>

45 Stefan Robbers dans notre échange de mails de Mars à Avril 2016, à propos de son système MASE.

salles de concert car cela engendrait des coûts supplémentaires pour les organisateurs.

Dans le genre *electronica*, on peut citer Björk qui, lors de sa tournée *Vespertine* en 2001, joue sur scène avec des instrumentistes et la partie électronique de ses morceaux est générée en live par le groupe Matmos. Elle explique, dans une interview : « So when we started arranging live, we realised that we couldn't just put big speakers on stage and blast those micro-beats all over and make them large to send them to the other end of the room. Because it will change the character completely, they would become large again. So what we had to do was... we had to put speakers in the back and make all the little beats travel around, so all of them would be quite quiet. But the audience would feel surrounded by many many tiny things. »⁴⁶ ⁴⁷ La disposition exacte des enceintes, la technique de restitution du champ sonore ne sont pas précisées, mais on peut apercevoir, dans la vidéo d'où est extraite l'interview, que les haut-parleurs sont positionnés tout autour du public, au fond de la salle et sur les côtés.

Du côté de la scène électronique expérimentale, l'artiste Robert Henke, l'un des fondateurs d'Ableton (1999) et co-développeur du logiciel Live, a mis-en-place en 2009 son projet Monolake Live Surround dédié à une musique de club immersive. Les performances sont réalisées en quadriphonie ou en octophonie, selon les possibilités techniques des lieux qui l'accueillent. Certaines versions ont été créées spécialement pour la WFS Iosono. Il a également imaginé de nombreuses installations sonores en octophonie, et composé la pièce *Tau* pour le festival *Présences Électroniques* de 2010 en Suisse, à Genève, jouée sur l'Acousmonium du GRM. On peut citer également Aphex Twin et son « live surround » avec 48 haut-parleurs qui a eu lieu le 14 Mai 2004 au Palais de Tokyo à Paris ; ou encore le « 3D tour » de Kraftwerk qui, dès ses débuts au MoMA (Museum of Modern Art de New-York, USA) en 2012, est diffusé via la technologie WFS de Iosono. L'artiste Fraction (Éric Raynaud) s'est récemment fait remarqué avec ses performances en 3D alliant son et visuel où la spatialisation est contrôlée en temps-réel ; notamment son projet *Entropia* (2015), conçu avec la Satosphère lors d'une résidence à la SAT, en Ambisonie. Il a également imaginé en 2014 l'installation visuelle et sonore *ObE*, présentée au ZKM (Klangdom) et à la SAT (Satosphère), dans laquelle le son est diffusé en 5.1. Il a aussi eu la possibilité d'expérimenter le système 4DSOUND, lors d'une résidence en 2016, en réinterprétant une œuvre de

46 « Lorsque nous avons commencé à organiser le *live*, nous nous sommes rendus compte que nous ne pouvions pas simplement mettre de grands haut-parleurs sur scène et propulser ces mini-rythmes partout et les rendre puissants pour les envoyer à l'autre bout de la salle. Parce que cela changerait complètement leur caractère, ils deviendraient puissants. Donc ce que nous avons à faire, c'était de mettre des haut-parleurs dans le fond, et faire voyager tout autour tous les petits rythmes, pour qu'ils restent assez doux. Et l'auditoire se sentirait alors entouré de plein de toutes petites choses. »

47 Extrait de l'interview de Björk (vers 39min25), à propos de la tournée *Vespertine*, dans le documentaire *Minuscule* (2001). Lien vers l'extrait : <https://www.youtube.com/watch?v=1zP0B2CjvFo>

Les versions studios, commercialisées sous forme d'albums, sont majoritairement mixées en stéréo. Cependant, il est possible de trouver des versions spatialisées en quadriphonie (Autechre) ou en 5.1 (Kraftwerk, le collectif Modulate, Björk)⁴⁸. L'album « ObE » de Fraction (bande sonore de l'installation en 5.1 du même nom), sorti en Novembre 2014, existe en versions stéréo et binaurale : il s'agit d'un encodage binaural à l'aide du Spat de l'Ircam, et d'un "down-mixing" en stéréo. La plate-forme Nouvoson mise-en-place par Radio France, dédiée au son multicanal et binaural, réalise de nombreux enregistrements de morceaux de musiques électroniques (et instrumentales) dites « populaires » directement en binaural⁴⁹.

I.2.2 Techniques de spatialisation et outils fréquemment employés

Les musiciens utilisant majoritairement la stéréo, les techniques de composition de l'espace découlent principalement des techniques de mixage employées depuis les années 1950-60 par les producteurs de musique rock, entre autres, et qui caractérisent le travail en stéréophonie. Dès 1931, les Studios Abbey Road, à Londres, construisent leur première chambre à écho, dans laquelle on projète un son à l'aide d'un haut-parleur et l'on enregistre le résultat avec un microphone [Roads, 2015]. Un espace est donc composé (l'espace créé par l'acoustique de la chambre lors de la projection d'un son) et capté. Avec les outils développés actuellement, et notamment les plugins directement intégrés dans les séquenceurs audio, l'usage de telles chambres à écho n'est pas toujours nécessaire. Ainsi la réverbération, les échos (ou le délai), les filtrages fréquentiels, la panoramisation (placement ou déplacement des sources sur l'axe horizontal gauche-droite), la gestion de la profondeur de champ, sont un ensemble de techniques de mixage fréquemment utilisées en relation avec le travail de l'espace dans la musique. Il s'agit plus souvent du rôle de l'ingénieur son, bien que cela change avec le développement des home-studios du à un matériel abordable, et le développement des musiciens-producteurs (à la fois compositeurs, instrumentistes et ingénieurs son), notamment dans les musiques électroniques.

Alexandre Ponte explique comment ces techniques de mixage relatives à la manipulation de l'espace sont utilisées par le duo allemand de musique électronique Maurizio, dans leur maxi *M-4* (1995), pour créer des effets au niveau des sonorités, mais aussi des impressions de mouvement du

⁴⁸ Il s'agit souvent soit d'un "up-mixing", soit d'un "down-mixing".

⁴⁹ Pour ce faire, on place deux microphones au niveau des oreilles d'une tête artificielle (ou d'une personne).

son : « Autour d'une rythmique techno minimaliste, des sons de synthétiseur (à table d'onde) sont envoyés dans une chaîne d'effets (filtres, réverbération, délai) volontairement placé dans un ordre inhabituel (délai appliqué sur la réverbération). Les modulations très lentes des paramètres des effets créent une texture organique, une strate en mouvement perpétuel dont l'espace est le principal matériau. » [Ponte, 2014] Aphex Twin emploie beaucoup ces techniques de spatialisation du son afin de créer des tensions dans ses morceaux, comme c'est le cas dans *Fredugolon* par exemple, sorti sous le pseudonyme The Tuss en 2007. À partir de 4min30, la réverbération sur la basse et le rythme est peu à peu retirée pour obtenir des sonorités sèches et centrées à 4min40. L'espace est donc rétréci : on passe d'une sensation de stéréo à une sensation de mono. De 4min48 à 4min53, il place le rythme de basse dans une "petite pièce" (l'acoustique est certainement simulée grâce à une réverbération de type *small room*), puis une réverbération longue et profonde (dans le champ) vient en quelque sorte "libérer" le *beat* et l'on retrouve une sensation d'ouverture. L'espace semble donc être un paramètre important chez Aphex Twin et chez de nombreux autres artistes de musiques électroniques dites « populaires » dans le sens où il permet de créer des tensions, des atmosphères étroites, étouffantes, ou au contraire très ouvertes et parfois froides. Le lecteur peut se référer aux albums d'Autechre et notamment *Exai*, sorti en 2013, dans lequel les emplois de délais, réverbérations et panoramisations semblent vraiment faire partie de la composition⁵⁰. La spatialisation du *beat* est également récurrente et importante à considérer : les éléments rythmiques alternant gauche-droite en stéréo, par exemple, rebondissant et parfois en mouvement créent une sorte de dynamisme typique des musiques de danse. L'aspect rythmique du morceau est alors accentué grâce au rythme spatial (Pan Sonic, Autechre, ...).

Ponte [2014] laisse entendre que, malgré l'emploi de certaines techniques de spatialisation par les producteurs de musique électronique dite « populaire », celui-ci serait finalement le résultat d'automatismes. La spatialisation ne serait pas toujours utilisée de façon consciente. Il est vrai que ces techniques de spatialisation peuvent être aisément réalisées dans n'importe quel DAW, avec les plugins déjà fournis par celui-ci : les réverbérations, convolutions, égaliseurs, stereo-delay, etc. ou bien développés par d'autres compagnies telles que la célèbre Wave⁵¹, ValhallaDSP⁵² (dont le vst ValhallaShimmer reprenant le célèbre « effet shimmer » créé par Brian Eno et Daniel Lanois) ; le placement ou mouvement de sources se fait directement avec les courbes d'automations, ou avec le plugin 360° Surround Tools de Wave, par exemple. Finalement, la majorité des techniques de spatialisation employées par les producteurs de musique électronique dite « populaire » dépend d'outils déjà fournis par les DAW qui influencent la composition de l'espace. Pourtant, avec

⁵⁰ Le lecteur curieux peut écouter les morceaux *Irlite (get 0)* et *Bladelores*.

⁵¹ Site-web : <http://www.waves.com/>

⁵² Site-web : <http://valhallaDSP.com/>

l'hybridation des genres et la programmation informatique qui devient très accessible, la plupart de ces compositeurs sont également capables de développer leurs propres outils et donc d'inverser la tendance. C'est aussi ce que Max for Live souhaite quelque peu initier en s'adressant à tout le monde, quelque soit le bagage technique : offrir un logiciel audio flexible avec l'avantage de l'ergonomie de l'interface – ce qui n'est pas toujours le cas avec Max/MSP ou d'autres logiciels audio plus complexes.

I.2.3 Les festivals

Les Festivals diffusant uniquement les musiques électroniques dites « populaires » continuent à proposer de façon quasi-systématiques des systèmes de diffusion stéréophoniques (et notamment le *line-array*). Ces festivals, qui peuvent accueillir jusqu'à des centaines de milliers de spectateurs, se déroulent souvent en plein air, ou dans d'énormes salles dans lesquelles sont disposées plusieurs scènes, où l'on entend presque la musique provenant de la scène voisine. Dans de telles conditions d'écoute, pas toujours optimales, on peut se demander s'il y a un intérêt à faire de la musique spatialisée, qui nécessite plus de moyens techniques, et peut donc engendrer plus de problèmes techniques, dans des endroits où finalement prime l'efficacité et la rentabilité. Robert Henke, au festival Transient à Paris, en 2015, a présenté une version de son projet « Monolake Live Surround » en octophonie. Pourtant habitué à réaliser cette performance, quelques problèmes techniques, notamment au niveau du patch de spatialisation, ont retardé le concert, sans compter que l'on entendait la musique provenant des scènes opposées, ce qui gênait l'écoute⁵³.

Les festivals plus "hybrides", au contraire, peuvent proposer aux artistes de spatialiser leur musiques sur d'autres dispositifs que la stéréo, ou bien sont en quête de musiciens intéressés par la problématique de l'espace dans la musique. C'est le cas du CTM Festival de Berlin, en Allemagne, du Mutek à Montréal, au Canada, qui collabore avec la SAT, des Présences Électroniques (cf. Partie I.1.4) à Paris et Genève, de l'Electric Spring Festival⁵⁴ à Huddersfield, en Angleterre qui propose des concerts sur le système HISS, entre autres.

53 Avis recueillis auprès d'un groupe d'étudiants en musicologie ayant assisté à la performance de Robert Henke lors du Transient Festival à Paris, au mois de Novembre 2015.

54 Site-web du festival : <http://www.electricspring.co.uk/>

I.3 Conclusion

La séparation des musiques électroniques en musiques « savantes » d'un côté, « populaires » de l'autre, fonctionne plutôt bien lorsqu'il s'agit de considérer la notion d'espace dans la musique. On constate que les compositeurs de musique dite « savante » emploient des outils et techniques de spatialisation plus complexes et bénéficient généralement de technologies plus avancées, voire ils développent eux-mêmes leurs propres outils selon leurs besoins. Au contraire, les compositeurs de musique dite « populaire » semblent cantonnés à la stéréophonie et aux techniques de spatialisation basiques proposées par les séquenceurs audio (usage de la réverbération, des trajectoires, ...) ; ils se limitent donc à ce que leurs offrent les outils dont ils disposent. Cela signifie que la pensée de l'espace n'est pas la même dans ces deux cas : l'espace semble être un matériau composable dans l'un, tandis qu'il est considéré comme un simple effet esthétique dans l'autre. Cela est très réducteur, tout n'est pas aussi évident, c'est ce que l'on va voir par la suite (cf. Partie III). On peut également soupçonner la pression des labels dans le cas des musiques électroniques dites « populaires », et le but de toucher le plus de monde par tous les moyens (albums, concerts, radios, télévisions, ...). En effet, composer des morceaux pour un système multicanal, par exemple, n'est pas très "rentable" dans le sens où peu de salles de concert et de particuliers en disposent. La nécessité de produire le plus possible ne laisse pas toujours le temps à la réflexion. D'autres points pourraient être à considérer, tel que la réception du Grand Public à la musique spatialisée, mais dépasseraient le propos de ce mémoire.

Cependant, le discours mérite d'être nuancé. L'emploi de trajectoires, le placement des sources afin d'éviter l'effet de masquage, la simulation d'une acoustique d'un lieu, sont un ensemble de techniques de spatialisation que l'on retrouve très fréquemment, quelque soit le genre de musique électronique, et dont l'utilisation est souvent redondante. D'après la compositrice et chercheuse Natasha Barrett [Otondo, 2007], les techniques ambisoniques ne sont pas très employées du côté des musiques mixtes et électroacoustiques, de même que l'espace en général n'est pas toujours bien utilisé. Ainsi, les compositeurs de musique dite « savante » ont également encore beaucoup à apprendre et à expérimenter avec l'espace. Les musiques électroniques expérimentales sont d'ailleurs la preuve qu'une séparation nette des musiques électroniques n'est finalement pas possible, aussi bien en ce qui concerne la composition des sons que de l'espace. Nous avons vu à ce propos que des artistes comme Robert Henke (Monolake) ou encore Éric Raynaud (Fraction) ont déjà employés des technologies de spatialisation très avancées (Ambisonie, WFS, ...) et utilisent les mêmes outils que les compositeurs de musique dite « savante » (le logiciel Max par exemple). Enfin, l'ajout de l'outil Max for Live au sein du séquenceur Live ouvre de nombreuses portes aux

artistes de musique électronique dite « populaire ».

Aussi bien du côté des musiques électroniques dites « savantes » que de celles dites « populaires », on peut affirmer que la dimension spatiale de ces musiques est encore à exploiter. Ainsi, il semble nécessaire de revenir un peu plus en détails sur le vaste sujet qui est la composition de l'espace dans un premier temps, et de discuter de la façon avec laquelle le compositeur peut envisager l'espace dans sa musique, dans un second temps.

II. Composer l'espace

Nous allons voir, dans cette partie, différentes façons d'approcher la composition de l'espace dans les musiques électroniques. Je vais alors expliciter certaines techniques de spatialisation sonore et mettre en évidence les types d'espace ainsi créés. Il est important de noter que les technologies de restitution du champ sonore et certaines techniques de spatialisation sont basées sur des concepts physiques et mathématiques complexes dont la connaissance en permet une utilisation optimale. Comme mentionné dans l'introduction de ce présent mémoire, je fais cependant le choix de ne pas expliciter cela en profondeur, mais plutôt de mettre en relief les notions importantes qui donneront des pistes au lecteur qui souhaite s'appropriier ces techniques de façon créative. Pour le lecteur intéressé, je ferai bien entendu référence à de nombreux ouvrages qui traitent de ces sujet en détails.

II.1 Localisation, trajectoires : le son *dans* l'espace

Placer un son à droite en stéréo, à l'arrière sur un système multicanal, puis le faire bouger à diverses vitesses, créer des sensations d'éloignement, de rapprochement, ou des trajectoires définies comme la rotation par exemple, cela semble tout naturel lorsque l'on découvre la spatialisation : ce sont généralement les premières choses que l'on a envie de faire⁵⁵. Schmele [2011] les qualifie de « bases de la spatialisation », que tout compositeur souhaitant travailler l'espace dans la musique doit expérimenter en premier. Il fait l'analogie avec le solfège et le contrepoint qui sont également des bases pour toute personne étudiant la musique dite « classique » et la musique instrumentale contemporaine ensuite. Les techniques les plus simples permettent en effet la localisation ou le mouvement des sources sonores, et sont réalisables dans tout logiciel audio, manuellement (à l'aide de la "souris" de l'ordinateur, via des interfaces tactiles, des capteurs, en entrant des coordonnées, ...) ou de façon algorithmique (implémentation de positions et trajectoires précises ou aléatoires) :

⁵⁵ Voir p.27 dans les notes la citation de Beatriz Ferreyra issue de [Ferreyra, 2011].

on peut positionner une source sonore ponctuelle à l'emplacement exact d'un haut-parleur en envoyant directement une piste (un canal de sortie) vers un haut-parleur, ou bien utiliser la technique de panoramisation d'amplitude⁵⁶ pour localiser ou déplacer avec précision une source sonore ponctuelle au sein d'un dispositif multicanal. L'ajout de réverbérations, filtrages et de nuances de volume apporte une sensation de distance, de profondeur. Les interfaces développées pour la technologie WFS (cf. partie II.3.2 et ANNEXE C) sont pensées pour la pratique de ce que l'on appelle le *mixage objet* ; c'est-à-dire que l'on ne va pas envoyer un même nombre de pistes (ou canaux) vers un même nombre de haut-parleurs, mais l'on va manipuler directement chaque source (ou objet) sonore dans l'espace, indépendamment du nombre de haut-parleurs. Ce type d'interfaces fonctionnant avec la visualisation de la source sonore – et le mixage objet en lui-même qui permet de gérer chaque source de façon individuelle (ou en groupe) – est très propice à la génération de trajectoires dans l'espace et au positionnement.

C'est peut-être en musique acousmatique que l'usage du mouvement est la technique de spatialisation la plus employée. Comme nous l'avons vu précédemment (cf. Partie I.1), les pièces acousmatiques sont souvent composées en stéréo et diffusées sur un acousmonium en concert, ce qui implique qu'un *interprète acousmatique* (ou le compositeur lui-même) va spatialiser l'oeuvre via le dispositif. C'est alors que les choix de positionnement d'un son (ou d'un groupe de sons) sur tel haut-parleur (ou groupe de haut-parleurs), et les choix de déplacement de ce son (ou groupe de sons) vont être très importants selon les intentions du compositeur (voire de l'interprète) pour appuyer la forme de l'oeuvre, ajouter un effet théâtral [Schmele, 2011], ou encore pour donner l'impression à l'auditeur de *voir* le son [Barrett, 2010bis]. D'autre part, il semble important de souligner que la localisation et les trajectoires dans l'espace ne s'appliquent pas qu'aux sources ponctuelles. En effet, il est également possible de placer précisément dans l'espace ou de déplacer un groupe de sons formant une masse sonore de taille variable, laissant derrière elle une sorte de poussière sonore : « Trajectories can therefore leave trails, can be smeared across space or be spread in a more egalitarian way through space. »⁵⁷ [Smalley, 1997].

« [...] these trajectories will introduce choreography of sounds into the piece, and this choreography needs to have a certain meaning. »⁵⁸ [Baalman, 2010]

56 Ou « Amplitude Point Source Panning ». Pour plus d'informations, se référer à Chowning, J.M., 1971, *The Simulation of Moving Sound Sources*, Journal of the Audio Engineering Society, 19(1), pages 2–6.

57 « Les trajectoires peuvent ainsi laisser des traces, faire des taches ou s'étendre uniformément dans l'espace. » Traduction de Suzanne Leblanc et Louise Poissant, révisée par Daniel Charles (1995).

58 « [...] ces trajectoires vont introduire une chorégraphie de sons au sein de la pièce, et cette chorégraphie a besoin d'avoir une signification. »

D'après Baalman [2010], il est nécessaire que ces trajectoires de son – ou chorégraphies sonores – aient un sens du point de vue musical. À ce propos, Annette Vande Gorne a très bien expliqué l'ensemble des mouvements ou « figures spatiales »⁵⁹ possiblement réalisables et leurs significations dans la musique acousmatique [Vande Gorne, 2002]. Elle justifie tous ces mouvements en leur donnant une « fonction musicale ». Elle définit, par exemple, la « vague » de cette façon : « Trajet aller-retour qui parcourt, par fondus enchaînés ou démasquages successifs, une série d'enceintes en ligne, par exemple de l'arrière-scène vers l'avant-scène, tous les côtés, l'arrière-salle et retour. » et lui attribue une « fonction musicale » : « effet de masse mouvante et unidirectionnalité prévisible. Ce mouvement a l'avantage de rejoindre un archétype agogique connu » [Vande Gorne, 2002]. La « vague » a donc une signification précise pour le compositeur qui ne l'emploie pas au hasard, et qui semble comprise par l'auditeur. Vande Gorne donne l'exemple de la pièce *Le voyageur* (1993) de Mario Rodrigue dans laquelle l'interprète acousmatique va chercher à reproduire des mouvements de vagues et ainsi créer une sorte d'imitation spatiale de ce que l'on entend, et rendre le tout presque *visuel*. Plus généralement, le mouvement permet au compositeur de souligner un son qui aurait pu passer inaperçu autrement : « C'est ainsi qu'une trame que par l'habitude on n'entendrait plus après un certain temps, reste constamment ou redevient présente par le seul fait de son déplacement [...] » [Chion & Reibel, 1976].

La vitesse avec laquelle s'effectue le mouvement du son est un élément très important à prendre en compte puisque la signification de celui-ci au sein de la composition en dépend. Associée à un certain type de déplacement, la vitesse du mouvement nous renvoie divers sentiments. Le compositeur Alistair MacDonald dit à ce propos : « Speed of movement and regularity and shape of motion, too, are important factors in the characterisation of space. Fast motion expresses energy ; slow movement may imply passivity; regular motion suggests something mechanical ; angular, irregular motion may convey hesitancy or uncertainty. »^{60 61} Ainsi, dans les musiques électroniques dites « populaires », la spatialisation du *beat* est très courante. Le rythme spatial joue un rôle dans le renforcement du caractère dansant (il est rapide et systématique) ou "planant", "atmosphérique" (le rythme spatial est lent) de la musique.

« [...] le mouvement en lui-même peut être la pire ou la meilleure des choses. En effet, il m'a

59 L'ensemble des « figures d'espace » explicitées dans [Vande Gorne, 2014] : le fondu enchaîné, le démasquage, l'accentuation, le scintillement, l'oscillation, le balancement, la vague, la rotation, la spirale, le rebond, l'insertion/rupture, l'apparition/disparition, l'explosion, l'accumulation et l'envahissement.

60 « La vitesse, la régularité, mais aussi la forme du mouvement, sont des facteurs importants dans la caractérisation de l'espace. Le déplacement rapide exprime une énergie ; le mouvement lent peut impliquer une certaine passivité ; le mouvement régulier suggère quelque chose de mécanique ; le déplacement angulaire, irrégulier, peut renvoyer à une certaine hésitation ou incertitude. »

61 Alistair MacDonald tel qu'il est cité dans [Schmele, 2011].

toujours semblé inutile de tenter de sauver une musique pauvre, sans énergie interne en lui appliquant des mouvements, des agitations externes. Le mouvement devient alors une ornementation non intégrée, non justifiée par la structure musicale ou le phrasé. [...] Mais si l'on considère l'expression musicale d'un point de vue énergétique, les trajets peuvent alors renforcer l'énergie interne du son. » [Vande Gorne, 2002]

La localisation ou le mouvement du son sont des techniques de spatialisation très répandues dans les musiques électroniques, mais pas toujours employées à bon escient. On peut aisément abuser de changements trop fréquents de la position du son, lui appliquer toutes sortes de trajectoires à différentes vitesses. Pourtant, lorsque l'on utilise ces techniques, il ne faut pas perdre de vue l'intention compositionnelle de l'oeuvre musicale et il est important de toujours pouvoir justifier ces choix. Le mouvement de rotation par exemple, que l'on retrouve chez presque tous les compositeurs de musique électronique et qui est très simple à réaliser dans un logiciel audio, fait souvent débat au sein des musiciens. Vande Gorne lui attribue ces fonctions musicales : « mise en évidence d'une rotation interne du son (il faut alors suivre ce rythme de mouvement interne), création de mouvements pour, par exemple, donner un sens d'enfermement. » [Vande Gorne, 2002] L'utilisation de la rotation lors du concert acousmatique servirait donc à accentuer ce même mouvement lorsqu'il est déjà présent dans l'espace interne de l'oeuvre, mais aussi à donner une impression « d'enfermement » à l'auditeur puisqu'il est comme "encerclé" par le son. Pourtant, d'autres compositeurs vont le trouver inutile car peu naturel. C'est le cas de Beatriz Ferreyra qui parle de sa composition *Demeures Aquatiques* (1967) : « [...] dans notre vie de tous les jours, les sons circulaires font l'exception. Je les trouve pour ma part, trop artificiels, trop mécaniques ; ce sont des effets superficiels (quelques fois drôles), sauf dans des cas bien spécifiques [...] »⁶² [Ferreyra, 2011] Plus généralement, il faut porter attention à ne pas réaliser trop de mouvements inutiles qui viendraient brouiller la cohérence de l'ensemble, et cela est d'autant plus vrai dans les

62 Citation complète : « Quand j'ai composé « Demeures Aquatiques » sur 4 pistes au GRM en 1967, je me suis souvenue d'avoir senti, deux années auparavant, une joie intense en faisant tourner une trame sur 4 haut-parleurs, autour d'un public étonné, lors d'une présentation d'Ivo Malec, avant un concert à la Maison de la Radio. J'ai cru que réaliser cette figure d'espace dans ma musique était une idée géniale. J'ai construit alors une articulation entre deux séquences, où une impulsion aiguë tournait sur les 4 haut-parleurs dans le sens de l'aiguille d'une montre en accélérant le mouvement, alors qu'en même temps, un objet complexe avec résonance tournait en sens contraire de plus en plus vite. Lors du concert, cette idée m'a semblé si naïve que je n'ai jamais plus répété cette expérience. A mon avis, les trajectoires droite-gauche, avant-arrière et tous les mouvements croisés nous sont familiers dans la vie quotidienne : la circulation des voitures, le bruit des pas, des gens qui parlent en marchant, l'avion qui passe, le brouhaha de la ville, les ambiances sonores de la campagne. Tous ces sons rendus musicaux dans une oeuvre véhiculent des émotions, des sensations, des respirations, créent des images et des formes plus ou moins identifiables. Par contre, dans notre vie de tous les jours, les sons circulaires font l'exception. Je les trouve pour ma part, trop artificiels, trop mécaniques ; ce sont des effets superficiels (quelques fois drôles), sauf dans des cas bien spécifiques comme le mouvement circulaire des chevaux dans l'arène d'un cirque, pleinement justifié dans la pièce « Cirque » de Michèle Bokanowski. »

musiques mixtes qui incluent la présence d'instruments⁶³. Je pourrais ajouter que la reconnaissance des « paternes spatiaux » par l'oreille humaine dans la musique est faible [Schmele, 2011]⁶⁴, mais ceci dépasserait le cadre de ce mémoire et fera partie de recherches futures.

Bien que ce soit généralement la première chose à laquelle on pense, *espace* ne veut pas dire uniquement *mouvement* ou *localisation* – même s'il est vrai que je me surprends souvent à parler de mouvement à un "novice" pour lui donner à imaginer ce que peut signifier la notion d'espace dans la musique. Le mouvement, la localisation, c'est le son que l'on place ou que l'on déplace *dans* un espace. On peut dire aussi que le son *délimite* l'espace dans lequel il se trouve de part sa position ou sa trajectoire [Schemele, 2011]. Le mouvement permet alors de se faire une représentation mentale de l'espace sonore. Dans la suite de ce mémoire, j'aimerais introduire une autre notion : celle du son qui *est* l'espace.

II.2 Composition d'espaces sonores plus ou moins complexes : le son devient l'espace

II.2.1 La décorrélation micro-temporelle et la synthèse granulaire

La décorrélation micro-temporelle

Considérons à présent la technique de décorrélation micro-temporelle, telle que définie par Kendall dans son article *The Decorrelation of Audio Signals and Its Impact on Spatial Imagery* datant de 1995, puis reprise par de nombreux compositeurs-chercheurs. Parmi eux, nous pouvons citer Horacio Vaggione qui a longuement expérimenté cette technique en l'intégrant dans la majorité de ses compositions : « [...] j'utilise le terme décorrélation (de signaux audio) dans le sens énoncé par Kendall : «un processus dans lequel un signal-source audio est transformé en des multiples signaux en sortie qui apparaissent comme étant visuellement différents les uns des autres, mais qui sonnent identiquement à la source» [Kendall, 1995]. Évidemment ceci ne constitue pas une

63 Il s'agit d'une des impressions retenues par Stefan Robbers lors de son expérience avec le système MASE et dont il m'a fait part dans notre échange de mails (Mars - Avril 2016).

64 Il renvoie le lecteur vers une étude que l'on peut lire sous cette référence : Payri, B., 2010, *Limitations in the Recognition of Sound Trajectories as Musical Patterns*, Proceedings of the 7th SMC Conference, Barcelone, Espagne.

définition de la décorrélation, mais seulement une description d'un des ses «symptômes». » [Vaggione, 2002]. En pratique, le procédé de base est plutôt simple : dupliquer un son monophonique et envoyer ces deux signaux (le son d'origine et sa copie conforme) vers deux canaux distincts. En travaillant dans un DAW⁶⁵, on peut alors aisément décaler de quelques millisecondes une piste par rapport à l'autre. On obtient ainsi ce que l'on appelle une décorrélation entre les deux signaux, c'est-à-dire qu'ils ne sont plus « en phase ». Il s'agit de l'exemple donné par Vaggione en choisissant un temps de décalage égal à 31ms. Il remarque : « Ce cas élémentaire nous permet déjà, à l'écoute, de percevoir la figure musicale dans un espace «plus grand» que celui de l'original seul, ainsi qu'une directionnalité (un mouvement ou trajectoire — ici orienté dans un sens unique — dans le plan de l'azimut). » [Vaggione, 2002]. On constate alors que la technique de décorrélation, appliquée à un seul son en stéréophonie (sur deux canaux) est déjà porteuse de spatialité, puisque Vaggione fait référence au mouvement et à la place occupée par le son dans l'espace. C'est justement pour ces raisons que cette technique est très employée en musiques instrumentales ou électroniques populaires (cf. partie I.2.2), lors de l'étape cruciale du mixage, afin d'élargir l'image sonore d'un son. De cette façon, on peut fabriquer l'illusion d'une image stéréophonique à partir d'un son monophonique, lui donner de l'importance, une impression de grandeur. La technique de décorrélation est un véritable outil musical. Lynch rapporte, dans sa thèse : « Kendall states that spatial decorrelation can be used to creatively simulate a spatial image with the width, depth and spaciousness of a natural environment. »⁶⁶ [Lynch, 2014]

Si l'exemple que nous venons de voir est aisément réalisable manuellement, ce n'est pas toujours le cas dès lors que nous souhaitons utiliser la décorrélation micro-temporelle de façon plus complexe. En effet, nous pouvons jouer sur différents paramètres afin d'obtenir des effets de spatialisation plus poussés. Ainsi, nous pouvons faire varier, au cours du temps, la valeur du délai entre les deux canaux, ce qui peut revenir à gérer un facteur de décorrélation compris entre 0 et 1, selon que l'on souhaite que les signaux soient plus ou moins décorrélés, le tout appliqué à un ou plusieurs sons. Une gestion algorithmique de ces paramètres est souvent nécessaire.

De mon côté, je me suis prêtée au jeu à l'occasion du concours Mixage Fou 2016, avec des outils simples d'utilisation. J'ai en effet créé ma pièce électroacoustique *Miniature I*⁶⁷ en stéréo, dont la composition est basée sur les techniques de décorrélation micro-temporelle. Ce choix m'a semblé judicieux, ce type de techniques fonctionnant bien avec la stéréophonie. Et puisque l'on traite de morphologies spatiales – ou « spatiomorphologies » [Smalley, 1997] (voir partie III.2) –

65 Le terme anglais Digital Audio Workstation désigne tout logiciel permettant d'éditer de l'audio (Protools Avid, LogicPro Apple, Reaper Cokos, Audacity logiciel gratuit, ...). L'équivalent en français est « séquenceur audio ».

66 « Kendall affirme que la décorrélation spatiale peut être utilisée pour simuler de manière créative une image spatiale avec la largeur, la profondeur et l'espace d'un environnement naturel. »

67 Création le 12 Mars 2016 au Point Éphémère à Paris.

appliquées au domaine sonore, le choix des sons est bien entendu très important : « La décorrélation, par contre, ne peut se séparer des caractéristiques morphologiques des sources. Par exemple : les composantes graves auront plus tendance à créer un espace diffus, tandis que les aiguës créeront des points de localisation plus précis. La durée des sons est également un facteur important, ainsi que la densité spectrale (brillance) et les caractéristiques d'évolution temporelle. » [Vaggione, 2002] On peut donc mettre en évidence ici que le son est au service de l'espace. C'est pourquoi j'ai pris soin de choisir mes sons selon leur timbre et leur durée, lors de l'élaboration de ma pièce. Ainsi, j'ai collecté des sons plutôt courts (entre 1 et 2 secondes environ) dont l'énergie du spectre se situait dans le registre medium – tous étant des échantillons de voix car il s'agissait de la banque de sons proposée par les organisateurs du concours – que j'ai ensuite accélérés pour obtenir des sons très courts (quelques millisecondes) dans les medium-aigus ou aigus. Je souhaitais que ces sources sonores soient très localisées afin que ce soit les procédés de décorrélation qui guident précisément leur déplacement, qui apportent une sensation d'élargissement de l'espace stéréophonique ou, au contraire, un rétrécissement. J'ai mis bout-à-bout, dans un ordre précis, ces différents sons alors modifiés, avec une plus ou moins longue durée de silence entre deux, de façon à ce que j'obtienne à la fois quelque chose de continu, mais en aucun cas quelque chose de "lisse" (j'ai également laissé quelques différences de nuances entre les sons). J'ai ensuite dupliqué ce grand objet sonore qui constitue finalement une piste. Mon procédé de décorrélation est très simple et intuitif. J'ai utilisé pour cela le plugin Iris⁶⁸ de la société Izotope, facile d'accès puisqu'il s'insère simplement dans n'importe quel DAW. Je me suis servie de ses fonctions de délais afin de décorréler les deux canaux avec un temps de décorrélation variable pour chaque canal. Le contrôle de ces variations est effectué à l'aide de fonctions proposées par le plugin et différentes pour chaque canal. De même, l'intervalle de valeurs attribué au temps de décorrélation est différent pour chaque piste et "balayé" à diverses vitesses. J'ai ensuite ajouté une deuxième couche sons que j'ai également dupliquée et décorrélée. J'ai obtenu ainsi des textures mouvantes, parfois précisément localisées, parfois lointaines et proches à la fois, insaisissables.

À plus grande échelle, la décorrélation micro-temporelle fonctionne aussi bien avec un dispositif multicanal, où l'on peut décorréler chaque canal par rapport aux autres ou bien fonctionner par paires de stéréo : « La condition de la stéréophonie comme formule de base de la composition de décorrélations se justifie car l'image stéréophonique constitue un support fiable quant à la transmission des informations de phase. Des situations multiphoniques sont à concevoir comme des situations dans lesquelles plusieurs paires stéréo sont assignées à des plans spatiaux

68 Site-web : <https://www.izotope.com/en/products/create-and-design/iris.html>

spécifiques. » [Vaggione, 2002] Dans tous les cas, l'effet de déphasage ne peut être ressenti qu'à partir du moment où au moins deux signaux sont décorrélés, puisqu'il s'agit de comparer un signal sonore par rapport à un autre, mais ne sous-entend pas forcément « stéréophonie ». En effet, si l'on considère le module de décorrélation de la bibliothèque HOA⁶⁹, mise-en-oeuvre par des étudiants de l'Université PARIS 8, il s'agit de décorréler des signaux sonores dans le domaine des harmoniques sphériques (cas d'une configuration 3D sous forme de sphère ou demie-sphère) ou circulaires (cas d'une configuration 2D en forme de cercle). Un facteur de diffusion, dont la valeur est comprise entre 0 et 1, ajustable par l'utilisateur, est prévu et « permet de créer, en fonction de sa valeur, une sorte d'élargissement chaotique de la source sonore jusqu'à obtenir un champ diffus enveloppant entièrement l'auditeur. » [Guillot, 2013] Dans la bibliothèque HOA, la décorrélation peut-être employée pour créer un « champ diffus », c'est-à-dire que le son d'origine n'est pas perçu comme localisé mais au contraire, comme venant de partout. C'est ce que l'on appelle plus communément un espace « immersif », « enveloppant », quoi que ces termes font plutôt référence à comment l'auditeur perçoit ce champ diffus. Nous nous étendrons plus sur le sujet du champ diffus en partie II.2.3.

« Il faut considérer par ailleurs que l'un des effets des techniques de décorrélation appliquées à des ensembles de sources sonores est sans doute d'apporter une considérable ambiguïté concernant la localisation spatiale des sources, donc de faire apparaître des espaces «virtuels» qui semblent entretenir des rapports singuliers avec les espaces physiques où ils se manifestent. On peut considérer, de plus, que cette approche dévoile «un véritable trade off entre la nature enveloppante de l'expérience auditive spatiale et la précision de la localisation» (Kaup et al. 1999). » [Vaggione, 2002]

Les techniques de décorrélation micro-temporelle peuvent être utilisées pour créer un effet de spatialisation à un certain moment d'une pièce⁷⁰, pour contrôler la « taille » d'un son lors de sa diffusion⁷¹, ou pour donner une impression de stéréo à un élément sonore en musiques dites

69 Site-web : <http://www.mshparisnord.fr/hoalibrary/>. Nous verrons plus en détail l'Ambisonie dans la partie II.3.2.

70 « The authors use the decorrelation techniques to 'enhanced diffusion', 'increased volume perception' of a source and create the perception of 'envelopment'. » [Lynch, 2014] L'auteur fait référence à Wilson, S., Harrison, J., 2010, *Rethinking the BEAST: Recent developments in multichannel composition at Birmingham ElectroAcoustic Sound Theatre*, Organised Sound, 15(03), 239–250.

Traduction : « Les auteurs utilisent les techniques de décorrélation pour « renforcer la diffusion », « augmenter la perception du volume » d'une source et créer la perception d'« enveloppement ». »

71 « Potard and Burnett (2004) present a decorrelation technique named Sub-band Decorrelation. The technique is used to control the apparent source extent of sound sources in 3D multi-channel loudspeaker configurations. » [Lynch, 2014] L'auteur fait référence à : Potard, G., Burnett, I., 2004, *Decorrelation techniques for the rendering of apparent sound source width in 3D audio displays*, in Proceedings of the 7th Int. Conference on Digital Audio Effects, Naples, Italy.

Traduction : « Potard et Burnett (2004) présentent une technique de décorrélation appelée Sub-band Decorrelation.

« populaires », que pour façonner un espace virtuel à caractère immersif (notamment en multicanal) ; ces choix dépendent de l'importance donnée à la spatialisation dans la pièce. Leur capacité à faire osciller le son entre un état assimilable à celui d'une source ponctuelle et celui d'un champ diffus, et les impressions de mouvement qui en découlent, (cf. citation de Vaggione ci-dessus)⁷² font de la décorrélation un outil très prisé par les compositeurs de musiques électroniques expérimentales ou électroacoustique. Nous allons voir dans la suite de ce mémoire que les techniques de décorrélation peuvent être mêlées à d'autres afin d'étendre leurs capacités et atteindre des buts précis quant à la composition de l'espace au sein d'une œuvre musicale.

La synthèse granulaire

La synthèse granulaire n'est pas une technique de spatialisation à proprement parler puisqu'il s'agit plutôt d'une technique de transformation sonore consistant à « découper » un signal sonore manuellement (dans un DAW par exemple) ou de manière algorithmique (algorithme des Boids par exemple⁷³) en une multitude de fragments de quelques millisecondes – appelés *grains* –, et à les projeter de façon aléatoire ou non dans l'espace, indépendamment ou non de la morphologie du son d'origine. On peut choisir de faire varier de nombreux paramètres tels que la taille de ces grains (en millisecondes), leur nombre, leur amplitude, leur enveloppe, etc. De nouvelles morphologies sonores sont alors générées. J'invite le lecteur intéressé à se référer aux écrits de Iannis Xenakis, Curtis Roads, Barry Truax, ou encore à la thèse de Manuel Rocha Iturbide pour de plus amples informations sur les techniques de synthèse granulaire dans le domaine sonore⁷⁴.

« Going further, our Cloud Generator program for granular synthesis (Roads and Alexander 1995) positioned each grain in a cloud of hundreds at an individual point in space. This is one example of *per-grain effects* in granular synthesis (Roads 2012)⁷⁵. Per-grain effects enabled a new and interesting musical transformation called *granular spatial scatterings*. This effect sprays a sound

La technique est utilisée pour contrôler l'étendue apparente de sources sonores dans des configurations de haut-parleurs en multicanal 3D. »

72 Voir aussi la « Spectral Magnitude based decorrelation » dans Wilson S., Harrison, J., 2010, *op.cit.*

73 Voir Reynolds, C., 1987, *Flocks, Herds and Schools: A Distributed Behavioral Model*. Computer Graphics 21(4), 23-34.

74 Quelques références bibliographiques à propos de la synthèse granulaire appliquée à la musique :

Xenakis, I., 1971, *Formalized Music*. Bloomington: Indiana University Press ;

Roads, C., 1988, *Introduction to Granular Synthesis*, Computer Music Journal. MIT Press 12(2):11-13 ;

Truax, B., 1990, *Composing with Real-time Granular Sound*, Perspectives of New Music. USA : Hamilton Printing Company ;

Rocha Iturbide, M., 1999, *Les techniques granulaires dans la synthèse sonore*, sous la direction d'H.Vaggione, Université Paris 8, Thèse de Doctorat.

75 L'auteur fait référence à Roads, Curtis, 2012, *Grains, forms, and formalization*, dans Kanach, S., ed. 2012, *Xenakis Matters*, Hillsdale NY, Pendragon Press, pages 385–409.

spatially in granular form, while leaving all other aspects of the sound (pitch, duration, timbre) intact. The sound can be panned or scattered randomly in space, creating spatial decorrelation. Directional swarming and flocking algorithms, borrowed from computer graphics, can also be applied to granular spatialization (Kim-Boyle 2005)⁷⁶. The resulting sound cloud has a three-dimensional width, depth, and spaciousness. »⁷⁷ [Roads, 2015]

On considère à présent ces grains sonores répartis dans différents canaux et projetés dans l'espace par un ensemble de haut-parleurs (au moins deux). La compositrice et chercheuse Anne Sèdes remarque, à propos de ces « morphologies granulaires » : « Elles produisent de la spatialité dès qu'elles sont juxtaposées sur des canaux stéréophoniques ou multiples, il s'agit de ce fait de décorrélation micro-temporelle. » [Sèdes, 2015] Ainsi les techniques de granulation sonores, dès lors qu'elles sont utilisées à l'échelle stéréophonique ou multicanale, engendrent de la décorrélation micro-temporelle et donc agissent aussi sur le domaine spatial [Roads, 2015]. C'est ce que Curtis Roads appelle la « spatialisation granulaire » (cf. citation ci-dessus). Synthèse granulaire et décorrélation ont été théorisées et expérimentées par des compositeurs-chercheurs tels que Kim-Boyle⁷⁸ ou encore Wilson⁷⁹ en 2D et en 3D. Lynch, ayant étudié leur travail dans sa thèse de doctorat, en conclut que les techniques granulaires appliquées à la spatialisation fonctionnent très bien pour créer des mouvements, mais également pour simuler un effet particulier, déjà remarqué précédemment pour la décorrélation : le son n'est ni clairement localisé, ni complètement diffus, il semble être les deux à la fois⁸⁰. [Lynch, 2014]

76 L'auteur fait référence à Kim-Boyle, D., 2005, *Sound Specialization with Particle Systems*, in Proceedings of the 8th International Conference on Digital Audio Effects (DAFX-05), Madrid, pages 65–68.

77 « Pour aller plus loin, notre programme de synthèse granulaire Cloud Generator (Roads and Alexander 1995) positionnait chaque grain d'un nuage formé par des centaines à un point précis de l'espace. C'est un exemple d'*effets par-grain* de la synthèse granulaire (Roads, 2012). Les effets par-grain ont permis une transformation musicale nouvelle et intéressante appelée *dispersions granulaires spatiales*. Cet effet étend un son dans l'espace sous forme granulaire, tout en laissant les autres aspects du son (hauteur, durée, timbre) intacts. Le son peut être positionné ou découpé aléatoirement dans l'espace, créant une décorrélation spatiale. Des algorithmes directionnels de fourmillement et d'agglutination, empruntés de graphiques, peuvent aussi être appliqués à la spatialisation granulaire (Kim-Boyle 2005). Le nuage de sons résultant a une largeur, une profondeur et un espace en trois dimensions. »

78 Kim-Boyle, D., 2005, *op. cit.*

79 Wilson, S., 2008, *Spatial Swarm Granulation*, dans Proceedings of the 2008 International Computer Music Conference, SARC, ICMA: Belfast.

80 « Granular approaches tend to create a diffused but localized effect (Wilson 2008; Barreiro 2010), meaning that although a source is distributed to many spatial locations, the location of sound in the space can still be identified. » [Lynch, 2014] L'auteur fait référence à : Wilson, S., 2008, *op. cit.* ; et Barreiro, D.L., 2010, *Sonic Image and Acousmatic Listening, Organised Sound*, 15(01), pages 35–42.

Traduction : « Les approches granulaires ont tendance à créer un effet diffus mais localisé (Wilson 2008; Barreiro 2010), cela veut dire que même si une source est distribuée vers différents points de l'espace, la localisation du son peut toujours être identifiée. »

II.2.2 L'approche spectrale

« Mais ce qui rend encore davantage unique l'expérience de l'espace en musique électroacoustique c'est la possibilité de fragmenter le spectre dans l'espace et en cela, elle se distingue nettement de la musique instrumentale. [...] il est possible de distribuer le timbre d'un son complexe en le répartissant sur l'ensemble des points virtuels disponibles. C'est ce que nous appelons la spatialisation timbrale : le spectre ne se retrouve en totalité que virtuellement dans l'espace du concert. » [Normandeau, 2012]

« fragmenter le spectre dans l'espace », c'est ainsi que Normandeau définit ce qu'il nomme « spatialisation timbrale » (cf. citation ci-dessus). Il s'agit donc de découper le spectre d'un son en un certain nombre de bandes de fréquences de largeurs variées, et de les projeter chacune à un point différent de l'espace. À ce propos, nous choisissons d'employer l'expression « spatialisation timbrale » pour désigner l'ensemble des techniques de spatialisation se basant sur le spectre d'un son. Elle est en effet utilisée par d'autres compositeurs-chercheurs⁸¹ sans vouloir pour autant désigner uniquement le travail de Normandeau. La spatialisation timbrale permet de créer un espace « immersif » et mouvant (selon les techniques choisies). On comprend bien que le choix du matériau sonore est extrêmement important lorsque l'on utilise cette approche puisqu'elle est basée directement sur l'exploitation du spectre du son : selon sa richesse, le résultat ne sera pas le même. C'est pourquoi la spatialisation timbrale fait partie des techniques de spatialisation basées sur l'analyse du signal⁸². Le compositeur qui souhaite avoir recours à cette méthode doit d'abord analyser le rapport temps-fréquence d'un son, puis sélectionner des transients, ou bandes de fréquences et les spatialiser. Les sons présentant un spectre plutôt étendu, riche, avec une énergie répartie de façon homogène sur toute la plage de fréquences, seront très efficaces : une fois leur spectre étiré dans l'espace, on aura une impression d'immersion, de non-localisation. Au contraire, lorsque l'étendue spectrale d'un son est plus restreinte, avec une forte énergie concentrée à un seul endroit du spectre, même dispersé dans l'espace, on aura plutôt une sensation de localisation car l'on entendra le point (ou groupe de points) ayant le plus d'énergie⁸³. Voyons à présent quelques

81 [Schmele, 2011], [James, 2012], [James&Hope, 2013].

82 « Analysis-based spatialization methods » [Roads, 2015].

83 « Interestingly Barreiro reports a strong dependence on the input sound for the success of the technique: « In general, sounds with a broad spectral content tend to sound diffused, providing an enveloping sonic image. Sounds with energy concentrated on specific regions of the spectrum, on the other hand, usually sound more localised. » (Barreiro 2010) » [James, 2012] L'auteur fait référence à Barreiro, D. L., 2010, *Considerations on the Handling of Space in Multichannel Electroacoustic Works*, Organised Sound 15(03), pages 290–296.

Traduction : « Barreiro reporte une forte dépendance du son mis en entrée pour le succès de cette technique : « En général, les sons avec un contenu spectral étendu ont tendance à sonner diffus, créant une image sonore enveloppante. Les sons avec une énergie concentrée à des régions spécifiques du spectre, en revanche, sonnent généralement plus localisés. » (Barreiro 2010) »

exemples d'usage de ces techniques de spatialisation.

Normandeau utilise cette approche pour la spatialisation de sa pièce *StrinGDberg* (2001-03) : il fragmente son matériau sonore (composé de plusieurs couches de sons riches, possédant une grande étendue spectrale) en 4 bandes de fréquences qu'il diffuse ensuite sur un système de 16 haut-parleurs. Il fait varier, pendant toute la durée de la pièce, la largeur de ces bandes de fréquences, jusqu'à dévoiler le spectre dans sa totalité, à la fin [Normandeau, 2009]. Normandeau cherche ici à reconstituer le matériau de base dans son intégralité, de sorte que notre oreille va percevoir un son global, bien que chaque bande de fréquences le constituant soit projetée en différents points de l'espace. Ce n'est pas le cas de Barreiro⁸⁴, par exemple, qui use de la spatialisation timbrale afin de créer un nouveau spectre en prélevant des bandes de fréquences très étroites dans le matériau sonore d'origine. Normandeau note qu'il est préférable que sa pièce soit diffusée dans un lieu où les auditeurs auraient la possibilité de marcher à *l'intérieur* du son afin de vivre une expérience immersive totale [Normandeau, 2009].

Nous pouvons donner un autre exemple de spatialisation timbrale appelée « Frequency Domain Processing », qui met en avant une démarche algorithmique. Cette méthode mise-au-point par Torchia et Lippe⁸⁵ consiste à assigner 64 bandes de fréquences⁸⁶ vers 64 locations différentes dans un espace circulaire. Un contrôle sur certains paramètres de ces bandes de fréquences est possible tel que la variation de leur taille, de leur contenu, et des mouvements peuvent leurs être appliqués. « The shape and spectral energy distribution of the source can be altered in real time and can be rotated in different ways around the listening space (Torchia and Lippe 2004). »⁸⁷ [Lynch 2014] Les chercheurs remarquent qu'avec ce procédé, on risque de percevoir des sources séparées, surtout si les bandes de fréquences sont trop étroites. Ils conseillent donc que le spectre du son d'origine ait une répartition de l'énergie fréquentielle homogène. Une autre solution serait d'introduire progressivement, dans le temps, le procédé de spatialisation timbrale afin que l'auditeur s'y habitue [Lynch, 2014].

De ce principe de base découlent des procédés plus poussés qui consistent à effectuer des transformations sonores sur chacune des bandes (délais, etc.) ou encore à mélanger les techniques de spatialisation spectrale avec celles de décorrélation⁸⁸. La « Dynamic Spectral Spatialisation »

84 Voir « Equalator Technique » dans Barreiro, D.L., 2010, *Sonic Image and Acousmatic Listening, Organised Sound*, 15(01), pages 35–42.

85 Voir Torchia, R.H. & Lippe, C., 2004, *Techniques for Multi-channel Real-time Spatial Distribution Using Frequency-domain Processing*, dans *Proceedings of the 2004 Conference on New Interfaces for Musical Expression*, NIME '04, National University of Singapore: Singapore, Singapore, pages 116–119.

86 Ces données spectrales sont récupérées grâce à la FFT (Fast Fourier Transform).

87 « La forme et la distribution de l'énergie spectrale de la source peuvent être altérées en temps réel et peuvent subir des rotations de différentes façons dans l'espace d'écoute. »

88 Voir, par exemple : « Sub-Band Decorrelation » dans Potard, G., Burnett, I., 2004, *op. cit.* et « Spectral Splitting » dans Wilson, S., Harrison, J., 2010, *op. cit.*

inventée par Lynch est un exemple assez complet de ces techniques que l'on pourrait qualifier d'« hybrides ». Il reprend le procédé de « Sub-Band Decorrelation » de Potard et Burnett⁸⁹ qui consiste à diviser un spectre en 3 bandes de fréquences fixes (grave, medium, aigu), chacune contenue sur deux canaux décorrélés (avec un temps de délai fixe entre ces deux canaux), le tout projeté sur un dispositif multicanal par paire de stéréo. Lynch va alors ajouter un temps de décorrélation variable pour chaque canal et va modifier le contenu des bandes de fréquences au cours de la pièce [Lynch, 2014]. L'effet perçu est un son à la fois en perpétuel mouvement dû à l'altération de ces bandes de fréquence et enveloppant : « The dynamic spectral element results in the perceived movement of sound in and around the listening space. As the band-pass filter frequency bands move from higher to lower ranges and vice versa, sound is perceived as constantly changing, moving and evolving around the listening space. »⁹⁰ [Lynch, 2014]

Un espace immersif et semblant en perpétuel mouvement, c'est ce que j'ai pu expérimenter, à nouveau à l'occasion du concours Mixage Fou 2016, pour lequel j'ai créé une deuxième mini-pièce électroacoustique (*Miniature* ²⁹¹) spécialement pour la WFS Sonic Emotion⁹². J'ai eu l'envie de tester la spatialisation timbrale de façon simple. Pour cela, j'ai choisi quatre sons issus de la banque de voix proposée en fonction de leur timbre et de leur durée. Ils sont globalement intéressants dans le sens où ils présentent un spectre plutôt étendu, riche. Ainsi, une fois leur spectre étiré dans l'espace, on a une impression d'immersion, de non-localisation, exactement ce que je souhaitais pour cette mini-pièce. J'ai donc divisé mes sons en 4 bandes de fréquences à l'aide du plugin GRMTools Spectral Delay⁹³, directement inséré dans mon DAW, et appliqué des valeurs de délai différentes à ces bandes de fréquences, toujours à l'intérieur du même plugin. Enfin, j'ai disposé ces bandes de fréquences dans l'espace via l'interface WavePerformer (cf. ANNEXE C) proposée par Sonic Emotion⁹⁴. J'avais donc la possibilité de placer ces bandes de fréquences où je le souhaitais, mais aussi de les faire bouger, les inverser, ... Ceci a créé un espace non seulement immersif (puisque c'est une des propriétés de la spatialisation timbrale) mais aussi mouvant, et encore une fois insaisissable.

89 Potard, G., Burnett, I., 2004, *op. cit.*

90 « L'élément spectral dynamique résulte dans le mouvement du son perçu dans et autour l'espace d'écoute. Comme le filtre passe-bande appliqué aux bandes de fréquences bouge du registre le plus aigu au registre le plus grave et inversement, le son est perçu comme changeant constamment, se déplaçant et évoluant autour de l'espace d'écoute. »

91 Créée le 12 Mars 2016 au Point Éphémère à Paris.

92 J'explique, en partie II.3.2, pourquoi j'ai choisi la WFS Sonic Emotion.

93 N'importe quel égaliseur fonctionne tout aussi bien.

94 En effet, Sonic Emotion propose un logiciel nommé WavePerformer en mixage orienté objet, c'est-à-dire que l'on manipule des objets – sources sonores – dans l'espace, derrière les haut-parleurs. Voir partie II.3.2 pour plus d'informations.

« This result in the listening space being enveloped in sound. »⁹⁵ [Lynch, 2014]⁹⁶

Les techniques de spatialisation timbrale sont très intéressantes puisqu'elles permettent de créer un espace sonore à la fois immersif et mouvant à partir d'un matériau sonore. Mais, à la différence de certaines autres méthodes, la notion d'immersion ne résulte pas d'un même son que l'on projèterait en tout point de l'espace, mais plutôt d'un son dont chacun de ses constituants fréquentiels est localisé à un endroit différent de l'espace. C'est donc le son qui constitue l'espace, le son qui *est* l'espace. Il s'agit de générer un espace à partir d'un matériau sonore, lui-même contenu dans l'espace du lieu de diffusion. Ainsi, le matériau n'est pas uniquement au service de la composition sonore, mais aussi et surtout au service de la composition de l'espace⁹⁷. Plutôt employée comme principe de composition, on peut tout de même trouver quelques exemples où la spatialisation timbrale est considérée comme un effet spatial⁹⁸, ou bien employée pour générer un nouveau matériau sonore⁹⁹.

Finalement, le principe de base de la spatialisation timbrale est issue d'une pensée granulaire. Les techniques de granulation décomposent un son en petites unités de temps et les projettent dans l'espace, tandis qu'il s'agit de bandes de fréquences de taille variable pour la spatialisation timbrale. L'analyse temps-fréquence du matériau sonore est dans les deux cas obligatoire. Par ailleurs, les techniques de spatialisation à la fois granulaires et spectrales existent déjà et fonctionnent très bien. On peut citer le *spectral delay*¹⁰⁰ dont le principe est de réinjecter en entrée la sortie de chaque filtre passe-bande et d'appliquer à chacun une valeur de délai différente pour ainsi créer un effet de granulation. Le compositeur et chercheur Kim-Boyle, également adepte du *spectral delay*, mêle à nouveau ces deux techniques d'une toute autre façon : en employant l'algorithme des Boids pour répartir dans l'espace les composantes spectrales d'un son [Kim-Boyle, 2006]. Il a déjà appliqué cette méthode de composition en musique mixte (pour clarinette basse, violoncelle) avec gestion de l'électronique en temps réel.

95 « Ce qui résulte de cela est que l'espace d'écoute soit enveloppé dans le son. »

96 À propos de sa méthode « Dynamic Spectral Spatialisation »

97 Normandeau parle de « spatialisation composée » [Normandeau, 2012].

98 Voir « Spectral Magnitude based decorrelation » Wilson, S., Harrison, J., 2010, *op. cit.*

« The Spectral Magnitude Decorrelation approach is used to control the image width size of a sound source in multi-channel space (Wilson and Harrison 2010). » [Lynch, 2014].

Traduction : « L'approche de Décorrélation de Magnitude Spectrale est utilisée pour contrôler l'étendue de l'image d'une source sonore dans un espace multicanal (Wilson and Harrison 2010). »

99 Voir « Equalator Technique » dans Barreiro, D.L., 2010, *op. cit.*

100 Pour plus d'informations, se référer à : Kim-Boyle, D., 2005, *Spectral Delays with Frequency Domain Processing*, Proceedings of the Spark 2005 Festival, pages 50–52. University of Minnesota, Minneapolis ; et Gibson, J., 2009, *Spectral Delay as a Compositional Ressource*, Symposium électroacoustique de Toronto 2009.

II.2.3 Création d'environnements virtuels, réels ou inouïs

« The inclusion of real spaces in electroacoustic music presupposes, on one hand, the simulation of real spaces, and, on the other hand, the use of recorded natural sounds. The simulation of a real space is carried out by electronically simulating its acoustic features, such as distance, direction, movement, and particularly reverberation. Additionally, the impression of a real space relies on the inclusion of real sounds. »¹⁰¹ [Zelli, 2009]

Composer l'espace en musiques électroniques, c'est aussi la possibilité de synthétiser des espaces réels en tenant compte de leurs propriétés acoustiques, telles que la réverbération, la notion de distance, etc. (voir citation ci-dessus). Ainsi, on peut aisément faire allusion à certains types d'espaces que l'on connaît puisqu'il s'agit d'environnements sonores auxquels nous sommes confrontés dans notre quotidien (cathédrales, caves, notions de grands ou petits espaces, notions d'intérieur et d'extérieur, etc.) [Baalman, 2010]. De même, l'utilisation de sons caractéristiques d'un environnement sonore nous renvoie directement à celui-ci [Zelli, 2009]. Le compositeur peut alors faire de simples allusions à ces espaces sonores réels, à certains moments de l'oeuvre, ou bien tenter de les recréer complètement.

Les compositeurs adeptes de la notion de paysage sonore (en anglais *soundscape*)¹⁰² cherchent à reconstituer des environnements sonores naturels en projetant des sons captés dans ces environnements (via la technique du *field-recording*) et, selon la qualité de l'enregistrement, accentuent si besoin "l'effet réel" en reproduisant artificiellement leurs propriétés acoustiques, qui n'auraient peut-être pas été bien captées par le microphone. La compositrice Hildegard Westerkamp, citée dans [Zelli, 2009], exagère la notion d'espace réel dans ses œuvres en renforçant certaines caractéristiques acoustiques, de façon à recréer l'environnement sonore tel qu'elle l'a ressenti au moment de la captation. Sa vision devient alors subjective : elle construit, à partir d'éléments sonores réels, des environnements virtuels personnalisés. On peut ensuite imaginer la possibilité de s'éloigner fortement de la réalité et de créer, à partir de sonorités familières ou bien de propriétés acoustiques de certains espaces réels, un espace virtuel totalement inouï.

¹⁰¹« L'insertion d'espaces réels en musique électroacoustique présuppose, d'un côté, la simulation de ces espaces réels, et, de l'autre, l'utilisation de sons naturels enregistrés. La simulation d'un espace réel repose sur la simulation de façon électronique de ses propriétés acoustiques, telles que la distance, la direction, le mouvement, et particulièrement la réverbération. De plus, la sensation d'un espace réel dépend de l'inclusion de sons réels. »

¹⁰²Pour plus d'informations à ce sujet, le lecteur intéressé peut se référer à Schafer, R. Murray, 1977, *The Soundscape, our sonic environment and the tuning of the world*, Knopf, Réed. Destiny Books, 1994 ; et à Nadrigny, P., *Paysage sonore et pratiques de field recording, Le rapport de la création électroacoustique à l'environnement naturel*, Article en ligne: <http://www.implications-philosophiques.org/implications-de-la-perception/paysage-sonore-et-ecologie-acoustique> [consulté le 8/06/2015].

« Ferrari gathered sounds from around the world and integrated them into his compositions, creating amazing fictional soundscapes by layering one environment on top of another. By now, soundscape music is an established genre practiced by many artists (Schafer 1977)¹⁰³. »¹⁰⁴ [Roads, 2015]

En effet, si l'on superpose différentes couches de sons réels, chacune avec des propriétés spatiales différentes, on crée un espace virtuel totalement inouï, qui n'existe pas dans le monde réel, pourtant constitué d'éléments lui appartenant. Roads [2015] donne l'exemple de la pièce *Presque rien N.1* (ou *Le lever du jour au bord de la mer*) (1967-1970) de Ferrari. Plus généralement, on peut projeter dans une même salle de diffusion différentes sources sonores, réelles ou synthétiques, chacune contenue dans un espace virtuel non semblable aux autres, réel ou synthétisé, et ainsi créer un espace virtuel jamais entendu. Ces amas de sons réels ou synthétiques, formés de superpositions ou issus de synthèses granulaires par exemple, constituent ce que l'on peut appeler une « texture »¹⁰⁵, c'est-à-dire une couche épaisse et globalement homogène de sons que l'on peut donc difficilement distinguer. Smalley dit à ce propos : « texture can be 'environmental' through spatial distribution. »¹⁰⁶ [Smalley, 1991] Ainsi, ces textures sonores, si elles sont projetées sur un dispositif multicanal, deviennent un environnement sonore virtuel dans le sens où l'auditeur est "englobé" dans ces sons, ils nous entourent.

« Immersion is a good example of where a sounding object becomes a sounding space. »¹⁰⁷ [Barrett, 2010]

On retrouve la notion d'immersion, très appréciée des compositeurs de musiques électroniques [Lynch, 2014]. Celle-ci prend sa source dans la synthèse d'un champ diffus, comme nous avons pu l'évoquer précédemment (partie II.2.1), et dont nous pouvons donner une définition ici : « En acoustique, un champ diffus est un champ où l'énergie volumique moyenne a la même valeur en tous les points et où l'intensité acoustique est la même dans toutes les directions. La partie tardive de la réverbération d'une salle est un cas concret où nous pouvons noter la présence d'un champ diffus. Du point de vue de l'auditeur on note une sensation d'enveloppement, ce dernier ne peut en effet associer le champ sonore perçu à un nombre déterminé de sources sonores présentes

103 L'auteur cite Schafer, R. Murray, 1977, *op. cit.*

104 « Ferrari a collecté des sons provenant de partout dans le monde et les a intégrés dans ses compositions, créant d'incroyables paysages sonores totalement inouïs en superposant des environnements les uns par-dessus les autres. Depuis lors, le Paysage Sonore est un genre musical établi et pratiqué par beaucoup d'artistes (Schafer 1977). »

105 [Smalley, 1997] et voir Hagan, K., 2008, *Textural Composition and its Space*, dans « Sound and Music Computing Conference : sound in space-space in sound », Berlin, Allemagne.

106 « Une texture peut devenir "environnement" lorsque celle-ci est distribuée dans l'espace. »

107 « L'immersion est un bon exemple de situation dans laquelle un objet sonore devient un espace sonore. »

dans l'espace. »¹⁰⁸ [Colafrancesco, 2012]. Même à partir d'un seul son, il est possible de créer un environnement sonore virtuel immersif – ou champ diffus – comme nous l'avons vu avec la spatialisation timbrale, ou bien avec la décorrélation dans HOA, par exemple. En musique acousmatique, on peut créer une sensation d'enveloppement en projetant, par exemple, un même son – ou plusieurs – dans chaque haut-parleur à l'aide des potentiomètres de la console. D'après Annette Vande Gorne [2002], il est plus judicieux, dans ce cas, d'utiliser des enceintes disposées en cercle avec une distance égale entre elles. La compositrice consacre d'ailleurs une « catégorie d'espace »¹⁰⁹ à cette idée d'immersion qu'elle nomme « espace ambiophonique » : il « plonge l'auditeur dans un « bain » sonore » [Vande Gorne, 2002]. Elle rappelle cependant que la superposition trop abondante d'espaces sonores virtuels occasionne ce qu'elle appelle un « tutti spatial » qui annihile finalement toute sensation d'espace [Vande Gorne, 2012]. Pourtant, ce « tutti spatial » ne constituerait-il pas en lui-même un seul espace sonore virtuel inouï ? Grâce à l'environnement virtuel de synthèse, on peut alors créer des événements sonores impossibles dans l'environnement naturel. Il s'agit de « nouveaux défis psycho-acoustiques pour l'auditeur » [Baalman, 2012]. La musique n'est plus contenue dans l'espace, la musique *est* l'espace [Lennox, 2009].

II.3 Composer pour un lieu, un système de diffusion et/ou une technique de reproduction de l'espace

Le compositeur, au fil de ses oeuvres, est souvent amené à expérimenter différentes techniques de reproduction et à comprendre leurs avantages et inconvénients. Il est probable qu'il reçoive une proposition pour une performance dans un lieu précis, peut-être insolite, et donc différent d'une salle de concert dans laquelle l'acoustique a été réfléchi. S'il a l'envie de travailler l'espace dans sa musique avec précision, il pourra aussi choisir de composer pour un dispositif spécifique ou un lieu particulier. Le contrôle sur la mise-en-espace de la pièce sera alors quasi total, ce qui n'est pas négligeable puisque la projection d'une œuvre spatialisée est en quelque sorte le moment du "verdict final", où l'on comprend réellement ce qui fonctionne ou non ; cela dépend non

¹⁰⁸ Pour plus d'informations, voir la thèse de Doctorat : Colafrancesco, J., 2015, *Spatialisation de sources auditives étendues. Applications musicales avec la bibliothèque HOA*, thèse de Doctorat, Université Paris 8.

¹⁰⁹ D'après les œuvres du répertoire acousmatique, elle définit quatre « catégories d'espace » : « l'espace ambiophonique », « l'espace source », « l'espace géométrie » et « l'espace illusion » [Vande Gorne, 2002].

seulement de la composition mais aussi du lieu et du système utilisé. Ainsi, dans le cas considéré, les risques de surprise au moment de la diffusion sont moindres. Mais cela suppose un temps de préparation conséquent pour apprivoiser le lieu ou le dispositif employé et l'exploiter au mieux, ce qui n'est pas toujours facile à obtenir. D'autre part, il faut également prendre en compte le fait que composer pour un système sur mesure (dispositifs spécifiques, lieux spéciaux) rend la performance difficile à reproduire.

II.3.1 Composer pour un lieu

« On peut cependant imaginer qu'il existe dans certaines œuvres un espace invariable où les espaces interne et externe seraient parfaitement confondus dans une relation "standardisée" comme la projection d'un film sur l'écran de cinéma et le son Dolby. [...] minimiser autant que faire se peut la part de l'acoustique locale dans la représentation de l'espace de la composition. »
[Normandeau, 2012]

Le fait de concevoir une pièce pour un lieu donné oblige le compositeur à prendre en compte ses caractéristiques acoustiques au moment de la composition. Il s'agit, dans certains cas, de ne faire qu'un avec le lieu, c'est-à-dire de donner à entendre une unité et non l'œuvre d'un côté, les réverbérations naturelles de l'espace de l'autre, dans un tout "brouillé", flou ; ou bien d'exciter certaines résonances de l'espace, préalablement choisies par le compositeur [Baalman, 2010]. Travailler avec ces caractéristiques acoustiques est essentiel afin de ne pas avoir de surprise lors de la représentation. Ainsi la compositrice Anne Sèdes, pour la création de sa pièce électroacoustique *Electrified out of the coma*¹¹⁰ pour dispositif octophonique, a dû prendre en compte le temps de réverbération de 4 secondes propre à la Chapelle des Carmélites de Saint-Denis. Composer pour un lieu est finalement un autre exemple d'« espace invariable » tel que le définit Normandeau (voir citation précédente), puisque l'espace interne de la pièce et l'espace externe créé au moment de la diffusion ont été préalablement pensés et sont donc confondus.

Considérons à présent un cas où le compositeur est aussi l'un des architectes du lieu en question avec la pièce *Concret PH* de Iannis Xenakis, composée pour le Pavillon Philips lors de l'Exposition Universelle de Bruxelles (Belgique) en 1958. C'est Xenakis lui-même, sous la direction de l'architecte suisse Le Corbusier, qui a réalisé les plans de ce Pavillon en forme de « paraboloïdes-hyperboliques » [Bridoux-Michel, 2005]. Destiné dans un premier temps à diffuser la pièce *Poème*

¹¹⁰ Création le 31 Mars 2011 à la Chapelle des Carmélites de Saint-Denis, dans le cadre de la Semaine des Arts de l'Université Paris 8.

Électronique de Varèse sur des images de Le Corbusier, le Pavillon a également accueilli *Concret PH* de Xenakis, pensé comme un interlude sonore accompagnant l'entrée et la sortie des spectateurs. Le matériau sonore de l'oeuvre est principalement constitué de « crépitements de charbon de bois » transformés pour créer des nuages de sons en mouvement et rappelle la mobilité des spectateurs au moment de la diffusion [Bridoux-Michel, 2005]. Parmi les 350 haut-parleurs disposés, certains sont répartis en lignes – une centaine – et forment des « routes de sons » permettant le mouvement continu des sources sonores (en passant d'un haut-parleur à un autre), d'autres sont groupés en « clusters » afin de projeter des masses sonores [Valle & al., 2010]. En tant qu'architecte et compositeur, Xenakis a tenté de faire une même oeuvre de sa pièce et du lieu dans laquelle elle était projetée, l'une et l'autre se servant mutuellement : « L'espace architectural du Pavillon Philips fait partie de l'histoire de la conception de *Concret PH*. Iannis Xenakis imaginait pouvoir créer une « émanation réciproque de l'architecture et de la musique »¹¹¹, au moyen de la spatialisation de cette pièce électro-acoustique dans le Pavillon qu'il avait également conçu. » [Bridoux-Michel, 2005]. Le Pavillon Philips a par la suite été détruit, dès 1959. La question de rejouer l'oeuvre se pose alors. En effet, la pièce a-t-elle un intérêt à être diffusée hors du lieu pour laquelle elle a été composée ? Et de quelle façon ? Je laisse volontairement en suspend ces interrogations – bien que fortes intéressantes – engendrant des réflexions dépassant les limites du présent mémoire¹¹². J'invite cependant le lecteur à se référer, s'il le souhaite, à [Valle & al., 2010] où il est question d'une implémentation en temps réel sur 8 haut-parleurs de la spatialisation originale de *Concret PH*.

Pour aller un peu plus loin, j'aimerais évoquer Michel Redolfi et sa série de *concerts subaquatiques* de 1981 jusqu'à 2008, dans lesquels il immerge des haut-parleurs et diffuse des oeuvres spécialement créées pour l'occasion dans des lieux aussi diversifiés que la baie de San Diego dans le Pacifique (*Sonic Waters*, 1981) ou une piscine flottant dans la Seine à Paris (*Oniris*, 2006). Les auditeurs ont la possibilité de rester à la surface de l'eau ou bien de s'immerger intégralement. Le compositeur doit créer avec les conditions imposées par ce lieu insolite : « spectre haut-médium, dynamique compressée, espace monophonique et non-réverbérant »¹¹³. Le dernier point est celui qui nous intéresse le plus puisque l'espace monophonique sans aucune réverbération engendre une absence de localisation. Michel Redolfi explique que, sous l'eau, « tous les sons apparaissent spatialement centrés au milieu de la tête ou même perçus comme émis par la tête. Cette sensation, que l'on qualifiera plus précisément d'omniphonique, est renforcée par l'absence de toute

111 L'auteur cite : Xenakis, Iannis, *Concret P.H.*, Analyse, vers 1958, archives Xenakis, BNF, dans Hoffmann, Peter « L'électroacoustique dans l'oeuvre de Iannis Xenakis », dans *Portrait(s) de Iannis Xenakis*, Paris, Bibliothèque Nationale de France, 2001, p.175.

112 Voir aussi la partie III.3 dans laquelle je propose des éléments de réponse.

113 Michel Redolfi dans son article *Écouter sous l'eau (Les concerts subaquatiques)* écrit à Nice en Novembre 1991 (révision Avril 2002), mis-en-ligne sur son site : http://www.redolfi-music.com/index_n.htm (consulté le 14/06/2016).

réverbération acoustique audible. »¹¹⁴ Contrairement à tout lieu (hormis une chambre anéchoïque ou un désert de sable), l'eau est donc un espace non-réverbérant. Le compositeur va devoir déjouer ce "problème" s'il veut donner une sensation d'espace à sa musique, en faisant « l'usage de réverbérations artificielles permettant de "décoller" la perception hors du centre de la tête. En jouant de réverbérations à durées variables, [il] agrandit ou rétrécit virtuellement l'espace acoustique autour du baigneur. »¹¹⁵

Afin de faire la transition avec la partie suivante, revenons sur le cas particulier des « espaces standardisés » [Schmele, 2011], déjà évoqué en partie I.1.2 et qui sont aussi des « espaces invariables », constitués d'un système de haut-parleurs unique (fixe ou modulable) se trouvant dans un lieu dédié, avec des interfaces spécialement conçues pour le contrôler (le Klangdom au ZKM par exemple, ou encore la Satosphère à Montréal). Le premier d'entre eux à avoir été conçu est l'*Audium Theatre*¹¹⁶ de San Fransisco (1972), une salle circulaire pouvant accueillir 49 personnes assises, dans laquelle sont disposés 176 haut-parleurs au plafond, sur les côtés, dans le sol, entre les sièges, ... le tout contrôlé par une console sur-mesure. Ces « espaces standardisés », souvent en 3 dimensions, fonctionnent avec un ou plusieurs types de modélisation d'espace (voir partie II.3.2). Des résidences sont organisées pour que les artistes composent spécialement *pour* le système ou *avec* le système. Ces « espaces standardisés » sont, dans certains cas, une sorte d'instrument permettant une "interprétation spatiale" d'une pièce, dans d'autres cas ils sont un paramètre de composition de haute importance.

II.3.2 Composer pour ou avec un dispositif de haut-parleurs et/ou une technique de reproduction de l'espace

« The choice of which technology to use to achieve the compositional concept is based on several factors, such as the desired accuracy of the spatial image, as well as the performance context. »¹¹⁷
[Baalman, 2012]

Afin de construire physiquement l'espace sonore recherché, le compositeur a devant lui différentes méthodes de reproduction et toute une palette de dispositifs de haut-parleurs, dépendant

¹¹⁴ *Op cit.*

¹¹⁵ *Op. cit.*

¹¹⁶ Pour plus d'informations : <http://www.audium.org/>

¹¹⁷ « Le choix de quelle technologie utiliser pour mettre-en-oeuvre le concept compositionnel est basé sur plusieurs facteurs, tels que le niveau de précision souhaité de l'image spatiale, mais aussi le contexte de la performance. »

plus ou moins de la méthode employée. Ces choix peuvent se présenter en perspective du concert, s'ils dépendent des moyens techniques mis à disposition à ce moment, ou bien dès le début du processus de composition, s'ils sont jugés essentiels pour la composition de l'espace. C'est ce deuxième point qui nous intéresse puisqu'il s'agit de composer l'espace.

Débutons tout d'abord avec le dispositif stéréophonique. Ce choix peut sembler judicieux puisque tout studio et toute salle de spectacle possède au minimum deux haut-parleurs. L'emploi de la stéréophonie peut d'ailleurs paraître logique dans le cas d'une musique mixte, peu importe l'esthétique, où l'on a l'habitude que les instruments soient sonorisés et diffusés sur deux enceintes. De plus, cela rend possible l'écoute domestique de la pièce. Elle est donc pratique pour avoir la possibilité de faire entendre sa musique partout, sans de réelles contraintes techniques. Cependant, de part son format et la méthode de reproduction en elle-même, le choix de la stéréophonie peut limiter le compositeur dans ses possibilités à travailler la dimension spatiale du son. Une alternative est la diffusion sur Acousmonium – ou tout autre dispositif acousmatique mobile tel que The BEAST – d'une pièce stéréophonique comme le font la plupart des compositeurs de musique acousmatique. C'est alors la manipulation de l'espace externe qui entre en jeu, effectuée par un *interprète acousmatique* ou bien par le compositeur lui-même¹¹⁸.

D'autres dispositifs de haut-parleurs se sont peu à peu standardisés au cours de la deuxième moitié du XX^e siècle, cassant les codes établis du concert qui placent l'interprète face au spectateur. En effet, les haut-parleurs étant disposés en forme de cercle, carré, cube, sphère, ... ils entourent les auditeurs, ce qui permet de manipuler les sons sur le plan ou en 3 dimensions, au sein d'une œuvre. Ce sont les envies de faire bouger les sources sonores autour des auditeurs, ou de créer des environnements sonores, conjointement aux progrès technologiques, qui ont finalement mis en place, peu à peu, des standards. Nous pouvons citer la quadriphonie – composée de 4 haut-parleurs disposés au quatre coins d'un carré – et l'octophonie – composée de 8 haut-parleurs disposés en cercle ou en cube – qui sont très employés dans les musiques électroniques contemporaines, mais aussi par certains artistes de la scène *pop* et expérimentale (voir partie I.2 État de l'Art). Les formats introduits par le cinéma tels que le 5.1 Surround et sa version en 3 dimensions l'Auro3D (9.1)¹¹⁹ sont également très utilisés par les musiciens car il n'est pas hors de portée de disposer d'un tel système chez soi ou d'équiper une salle ou un studio. Ainsi, certains compositeurs semblent avoir trouvé le compromis idéal entre spatialisation en 2D ou 3D et une large diffusion auprès du public. Tous les systèmes que nous venons d'énoncer sont des dispositifs multicanaux. Une méthode

¹¹⁸ Voir aussi partie III.1.

¹¹⁹ Il existe d'autres déclinaisons de ces formats, adaptés selon les salles de cinéma : le 5.0, le 13.1, etc. Voir Périaux, B., Ohl, J.L., Thévenot, P., 2015, *Le son multicanal. De la production à la diffusion du son 5.1, 3D et binaural*, Collection Audio-Photo-Vidéo, Éditions Dunod/Ina pour de plus amples explications sur ces systèmes.

fortement utilisée est la *projection directe*, c'est-à-dire que l'on diffuse une œuvre multipiste, possédant plus de deux canaux (ou pistes) et autant qu'il y a de haut-parleurs¹²⁰. De nombreux outils existent pour réaliser la spatialisation d'une œuvre pour ce genre de dispositifs tels que les plugins ReaSurround par exemple, les GRMTools, ... (voir partie I.1.1). Ils fonctionnent généralement avec le Panning d'Amplitude ou le VBAP (Vector Based Amplitude Panning) qui sont toutes deux des méthodes de spatialisation basées sur les techniques stéréophoniques, valables pour la 2D (et la 3D pour le VBAP). Elles sont pratiques car elles fonctionnent très bien avec les systèmes standardisés énoncés précédemment et qu'un bon nombre d'outils de spatialisation fonctionnent avec ; enfin elles sont très efficaces pour simuler une source statique. Bien entendu, elles présentent certaines limites, comme le problème du *sweet-spot*¹²¹ et surtout, elles ne sont pas idéales pour qui souhaite une reproduction naturelle de l'espace.

Envisager de créer une pièce avec une technique de restitution du champ sonore dépend de ce que l'on souhaite retranscrire en terme d'espace, mais aussi du dispositif de haut-parleurs à disposition, sans oublier le matériel que l'on aura lors de la composition en studio. Dans ce qui suit, nous mettons l'accent sur la WFS et l'Ambisonie, deux méthodes qui nous semblent très pertinentes lorsqu'il s'agit de composer l'espace sonore d'une œuvre, et que nous avons eu l'occasion d'expérimenter.

La Wave Field Synthesis (WFS) est une méthode de restitution du champ sonore qui réalise la synthèse d'un front d'ondes, c'est-à-dire que les haut-parleurs vont travailler à simuler la propagation d'une onde sonore dans l'air, tel que cela se passe dans la réalité. Ainsi les haut-parleurs sont considérés comme des points du front d'ondes et la source sonore virtuelle doit être située derrière les haut-parleurs¹²². Choisir la technologie WFS implique donc de manipuler directement des sources sonores virtuelles au sein de l'espace situé en dehors des haut-parleurs : c'est ce que l'on appelle le *mixage objet*. Cette approche peut rappeler la façon de spatialiser pour un dispositif multiphonique (avec des logiciels ou plugins comme ReaSurround, GRMTools, Waves, ...), sauf que l'on est pas limité par un nombre de canaux correspondant au nombre d'enceintes, et que ce sont les sources sonores virtuelles que l'on gère. Cette méthode fonctionne très bien en 2D mais aussi en

120 1 piste = 1 haut-parleur.

121 Le *sweet-spot* est un terme d'origine anglaise que l'on peut traduire en français par "place douce", désignant la place idéale occupée par un auditeur se situant au centre du dispositif de haut-parleurs. À cet endroit, la précision avec laquelle on perçoit l'espace est maximale. Plus on s'en éloigne, moins on perçoit l'espace sonore avec précision. Le problème du *sweet-spot* est valable pour toutes les techniques de restitution du champ sonore, quel que soit le système utilisé, à des degrés différents.

122 Théoriquement, il est aussi possible de reproduire une source sonore qui se situerait à l'intérieur des haut-parleurs, dans la zone d'écoute, mais des conditions rigoureuses doivent être réunies pour cela : un très grand nombre d'enceintes est nécessaire à espacement égal le plus réduit possible, etc. Les chercheurs de l'Ircam réussissent à obtenir des holophones, mais cela est encore très instable.

3D, bien que ses applications en sont beaucoup moins précises. Le principal avantage de la WFS en ce qui concerne la composition de l'espace est qu'elle permet de créer un espace virtuel qui semble réel. L'écoute est alors très naturelle : les sons se meuvent progressivement dans l'espace virtuel, sans passer "par à coups" d'un haut-parleur à un autre, contrairement à la projection directe. On entend la source sonore et non le haut-parleur projetant cette source sonore. D'autre part, les mouvements des sources sont mieux contrôlés (par rapport aux possibilités offertes par la projection directe sur les dispositifs multicanaux) et l'on peut faire approcher ou éloigner une source avec précision [Baalman, 2010]. En revanche, le point noir de la WFS est qu'elle nécessite des centaines de haut-parleurs du même modèle¹²³, positionnés de façon stricte dans l'espace : en ligne (appelée aussi « banc de haut-parleurs ») avec un écart identique entre chaque enceinte. Mais des sociétés comme Iosono et Sonic Emotion développent des processeurs WFS capables de travailler avec un nombre très raisonnable de haut-parleurs (minimum 4 enceintes). Pour ce faire, elles se basent sur la perception humaine de l'espace, et non sur la théorie acoustique pure. Ces processeurs sont déjà commercialisés et utilisés pour sonoriser divers événements musicaux (concerts, théâtres, clubs, ...). Des interfaces simples sont mises-en-place pour faciliter le mixage en WFS.

L'Ambisonie est une autre technique de restitution du champ sonore très appréciée par les compositeurs, basée sur la décomposition du champ acoustique en harmoniques circulaires si l'on travaille en 2D, ou sphériques si l'on travaille en 3D [Guillot, 2013]. Ainsi, le « champ sonore dans le domaine ambisonique est représenté par un ensemble de signaux dépendant des harmoniques circulaires » [Guillot, 2013] ou sphériques. Plus le nombre d'harmoniques est élevé, plus la représentation du champ sonore sera précise. On distingue à ce propos l'Ambisonie de Premier Ordre (First Order) qui est idéal pour créer un espace enveloppant, et l'Ambisonie d'ordre élevé appelée HOA (Higher Order Ambisonics). Les techniques ambisoniques sont caractérisées par les étapes d'encodage dans le domaine des harmoniques (circulaires ou sphériques) et de décodage ; celui-ci va dépendre du système employé. Le choix du dispositif de diffusion est alors très flexible, bien qu'il soit préférable que les haut-parleurs soient placés au minimum en forme de cercle (ou arc-de-cercle) ou de sphère (ou demie-sphère). La bibliothèque HOA¹²⁴ disponible pour Max/MSP et

123 Par exemple, l'espace de projection de l'Ircam comptait 350 haut-parleurs.

124 Conçue en partenariat avec le CICM et l'Université Paris 8, par des enseignants-chercheurs du CICM et des étudiants de Paris 8. La bibliothèque HOA est libre d'accès et disponible sur le site : <http://www.mshparisnord.fr/hoalibrary/>.

Elle est pensée flexible pour les musiciens : « Les usages ont généralement tendance à rendre opaques certaines étapes des processus de spatialisation afin d'offrir au musicien des outils simples à utiliser et cela se justifie par les possibilités offertes par ces outils. Si notre approche ne consistait qu'à mettre une source sonore ponctuelle dans l'espace, nous aurions sûrement adopté la même approche. Cependant, nous souhaitons justement offrir aux musiciens la possibilité de prendre en main, de moduler, de jouer avec les harmoniques. Il résulte de ce choix de nombreuses possibilités musicales qui ne répondent pas aux mêmes techniques de restitution du champ sonore. Il est donc nécessaire de notre part, d'offrir aux musiciens les outils flexibles lui permettant d'adapter le processus de restitution du champ sonore en fonction de ses considérations créatives et du système de restitution qu'il a en sa

Pure Data intègre des modules permettant un décodage optimal selon le dispositif de haut-parleurs utilisé, ainsi que des manipulations du champ sonore applicables au moment de l'encodage (décorrélation des harmoniques, granulation, convolution, ...). La compositrice Natasha Barrett, adepte depuis plusieurs années des techniques ambisoniques, témoigne : « The ambisonics field gives the space a sense of reality and plausibility, even though impossible on a human scale. »¹²⁵ [Barrett, 2010] L'écoute est donc naturelle, le déplacement des sources sonores fonctionne bien et des espaces virtuels inouïs peuvent être synthétisés de façon efficace grâce à l'Ambisonie. Le mixage objet est également possible avant l'étape d'encodage¹²⁶, ainsi que la manipulation de canaux (après l'étape du décodage). En revanche, l'Ambisonie peut reproduire des sources uniquement situées au niveau des haut-parleurs [Bates, 2009]. Pour simuler une distance, il faut mettre en jeu d'autres procédés tels que le filtrage, la réverbération, etc.

Si l'on peut diffuser une pièce ambisonique via la technologie WFS (l'inverse n'est pas possible)¹²⁷, une même pièce régie par la composition de l'espace ne peut pas toujours être reproduite à la fois avec la WFS et à la fois avec l'Ambisonie si elle veut exploiter leur potentiel respectif. C'est ce que j'ai pu expérimenter avec *Miniature 2*, « mini-pièce » avec laquelle j'approche la spatialisation de manière spectrale. J'ai déjà évoqué mes choix de composition de l'espace (se référer à la partie II.2.2), je vais revenir à présent sur cette première expérience avec la WFS.

Comme dit précédemment, j'ai composé cette pièce à l'occasion du concours Mixage Fou 2016 qui met en avant la question de l'espace dans une œuvre sonore en proposant différentes catégories de participation : stéréo, binaural, quadriphonie ou 5.1, Auro 3D (9.1) et WFS Sonic Emotion. Puisque ma pièce se baserait sur un procédé de spatialisation timbrale qui permet de créer un espace sonore à partir d'un son, la WFS me paraissait le choix le plus pertinent, ayant la propriété de synthétiser des espaces virtuels que l'on perçoit de façon naturelle. De plus, et ceci n'est pas négligeable, j'avais eu l'occasion, à plusieurs reprises, d'écouter le système de Sonic Emotion à la fois en studio et en condition de concert et j'avais été étonnée devant un rendu sonore aussi naturel. C'est donc sans hésiter que j'ai choisi cette technique de restitution du champ sonore d'après mes expériences d'écoute, et surtout en fonction de l'approche compositionnelle de l'espace adoptée

possession. Ce processus de restitution consiste en deux étapes : l'application d'optimisations et le décodage. » [Guillot, 2013].

125 « Le champ ambisonique donne à l'espace une impression de réalité et de crédibilité, même si celui-ci est impossible à échelle humaine. »

126 Grâce à l'objet *hoa.map* dans la bibliothèque HOA.

127 Après l'étape du décodage, on obtient une œuvre multipiste. On peut ensuite placer chaque piste dans le champ en les considérant comme des sources ponctuelles. L'inverse est impossible puisque l'on n'obtient pas de canaux facilement maniables : une œuvre en WFS ne peut-être « lue » que par un processeur WFS.

pour ma pièce. Les trajectoires douces fonctionnant très bien avec la WFS, je me suis alors amusée à étendre le spectre de mes sons à différents endroits de l'espace, à les élargir ou bien les contracter en déplaçant et en faisant se croiser les bandes de fréquences. Lors de la diffusion¹²⁸ de cette pièce sur la WFS Sonic Emotion, il y avait 16 haut-parleurs dans la salle, disposés sur le plan, en carré. Le tout a plutôt bien marché, le rendu était homogène et la sensation d'un espace immersif et mouvant était présente. En revanche, on pourrait observer une limite due au choix de la WFS : on ne peut écouter et diffuser la pièce qu'en WFS Sonic Emotion, c'est-à-dire que l'on a besoin du processeur de Sonic Emotion pour la décoder¹²⁹.

Pour palier à ce problème, et puisque j'en ai eu la possibilité en travaillant au studio du CICM sur une demie-sphère de 16 haut-parleurs, j'ai alors tenté de re-crée ma pièce dans HOA afin de pouvoir, par la suite, la diffuser plus facilement sans être dépendante du processeur WFS, mais aussi pour tester la spatialisation timbrale en Ambisonie. Je suis partie des mêmes sons-source, et j'ai utilisé les outils de la bibliothèque HOA dans Max/MSP. L'expérience fut très intéressante et j'en ai vite conclu que la démarche à adopter était de re-penser la pièce dans son intégralité, car en changeant de méthode de restitution du champ sonore, ce n'est plus la même. Bien que l'approche compositionnelle soit toujours spectrale, que le rendu final soit toujours immersif, l'espace virtuel créé n'est en aucun cas le même. Ma pièce, telle que je l'ai conçue à l'origine, n'est donc pas reproductible dans HOA – à moins d'utiliser l'objet *hoa.map*, avant l'étape d'encodage, qui permet de localiser des sources dans l'espace ambisonique grâce à leurs coordonnées, mais dans ce cas l'intérêt de l'Ambisonie n'en est que réduit. Ce qui est intéressant est de chercher à utiliser les propriétés de l'Ambisonie (ici d'ordre élevé), car ces différentes bandes de fréquences ne sont pas localisées à des points précis de l'espace mais envoyées dans les différentes harmoniques circulaires grâce au module *hoa.biquad*, ce qui s'éloigne de la technique de base de spatialisation timbrale (cf. ANNEXE C). On peut ensuite ajouter des effets (sous forme de modules dans la bibliothèque HOA) comme la décorrélation pour reproduire l'impression de mouvement créée dans la version WFS de la pièce – effets qui, appliqués aux harmoniques circulaires, sont déjà perçues comme de la synthèse de champ sonore. Sans même aller plus loin, en envoyant simplement les bandes de fréquences constituant les sons d'origine dans les différentes harmoniques circulaires, je trouve que l'impression d'immersion, d'omniprésence du son est renforcée par rapport à mon expérience avec la WFS. J'ajouterais même que lorsque je tournais la tête d'un côté ou de l'autre, les timbres changeaient, exactement de la façon décrite par Stockhausen à propos de sa pièce *Sirius* (1975-77) : « It is [an] entirely different kind of sound experience, because you are no longer aware of speakers, of sources

128 Le 5 Mars 2016 au Point Éphémère à Paris.

129 Ceci est vrai dans ce cas, mais des étudiants et chercheurs indépendants commencent à développer des processeurs WFS en open source, qui fonctionneraient avec Max/MSP ou Pure Data.

of sound – the sound is everywhere, it is within you. When you move your head even the slightest bit, it changes color, because different distances occur between the sound sources. »^{130 131}. Je peux donc conclure que pour une même technique de composition de l'espace (ici la spatialisation timbrale), c'est une toute autre pièce à imaginer selon la méthode de restitution du champ sonore choisie.

II.4 Conclusion

Des techniques de composition de l'espace que je viens de présenter, on peut faire ressortir trois types d'espace créés : un espace très localisé qui peut s'apparenter à « l'espace source » tel que l'a défini Annette Vande Gorne [2002] ; un espace immersif (champ diffus ou « espace ambiophonique » [Vande Gorne, 2002]) très employé en musiques électroniques, et un espace "entre-deux", à la fois diffus et localisé, mouvant (cf. les techniques de décorrélation et certaines techniques de spatialisation timbrale).

Nous venons également de mesurer l'importance du système ou de la méthode de reproduction employés. Selon ce que l'on utilise, peu importe la technique de composition de l'espace, il faut bien comprendre ce qu'implique le choix d'une technologie car chacune a ses propres caractéristiques et influe à sa façon sur la composition. Il est donc très important d'en tenir compte. D'après Schmele : « [...]it shows that the technology clearly is the acousmatic composer's instrument. »¹³² [Schmele, 2011]. La technologie serait donc considérée comme un instrument, Baalman parle même de « paramètre de composition » [Baalman, 2010]. Il faut cependant faire attention à ne pas dépendre de ces technologies en pensant uniquement en fonction de leurs possibilités (ceci est également valable pour les outils de spatialisation). En effet, on peut limiter notre pensée de l'espace si l'on se contraint à n'utiliser qu'une seule technologie. Comme pour tout instrument, il est essentiel de garder en tête que l'on peut tout à fait mélanger les techniques de composition et les technologies, selon nos besoins, car elles ont chacune des propriétés intéressantes qui peuvent être utiles selon nos intentions de composition [Baalman, 2010]. Si elles ne correspondent pas à ce que l'on souhaite réaliser, c'est au compositeur d'imaginer d'autres

130 « C'est vraiment un tout autre type d'expérience sonore, parce que l'on ne se rend pas compte de la présence des haut-parleurs, des sources sonores – le son est partout, il est en vous. Quand vous bougez la tête même un tout petit peu, la couleur change, parce que différentes distances apparaissent entre les sources sonores. »

131 Stockhausen cité dans [Bates, 2009].

132 « Cela montre que la technologie est clairement l'instrument du compositeur acousmatique. »

possibilités [Baalman, 2010]. Ainsi, pour diffuser une pièce sur un système octophonique, le compositeur peut très bien employer les techniques stéréophoniques à certains moments, l'Ambisonie à d'autres, voire même certains types de WFS conçues pour un petit nombre de haut-parleurs (Iosono, Sonic Emotion, ...), en fonction de ce qui lui semble mieux adapté à une technique de composition ou pour le rendu d'un effet. Dans tous les cas, il est très important de faire des essais et surtout de prendre le temps d'écouter.

« These are all experiments methods. Analysis-based spatialization methods face both technical and aesthetic challenges in terms of choosing appropriate sounds for applying them, as well as issues of interactive control. Effective use of these techniques will likely require a great deal of testing and tuning. »¹³³ [Roads, 2015]

133 « Ce sont toutes des méthodes expérimentales. Les méthodes de spatialisation basée sur l'analyse font face à des enjeux aussi bien techniques qu'esthétiques en ce qui concerne le choix de sons appropriés à leur application, comme les problèmes du contrôle interactif. Une bonne utilisation de ces techniques requiert un temps consacré aux tests et aux ajustements. »

III. Penser la place et le rôle de l'espace dans une oeuvre par rapport au processus de composition

Dans cette partie, je propose et explicite trois manières différentes de considérer l'espace par rapport au processus de composition d'une œuvre pour un compositeur de musique électronique et ce que cela implique, en partant de l'instant du concert puis en remontant jusqu'à la conception de l'œuvre. Mes propos seront appuyés d'exemples issus de mes lectures et expériences.

III.1 L'espace comme élément *extérieur* au processus de composition

« Space was always an effect, a tool, an additive to enhance the musical experience. »¹³⁴ [Schmele, 2011]

Pour beaucoup de compositeurs, l'usage de la spatialisation du son se fait souvent dans une optique de concert, voire au moment précis du concert, une fois l'œuvre achevée en studio. C'est plutôt l'attrait du concert, le désir de livrer une autre version de l'œuvre, ou le système de diffusion proposé par l'organisateur, qui poussent le compositeur à y intégrer des procédés de spatialisation. La pensée de l'espace est alors secondaire puisqu'elle intervient *après* le processus de composition. C'est généralement ce que l'on appelle l'« espace externe » tel que le définit Michel Chion dans *La musique concrète, art des sons fixés*¹³⁵, ou encore Pierre Couprie¹³⁶ : il s'agit de la dimension spatiale de l'œuvre au moment précis de sa diffusion, qui est dépendante du lieu et du système de diffusion employé. On considère, par exemple, les effets de salle dus à l'acoustique du lieu et plus généralement tout ce qui n'a pas été fixé sur support en amont, lors de l'étape de composition – donc tout ce qui ne constitue pas « l'espace interne » de l'œuvre.

134 « L'espace a toujours été un effet, un outil, une sorte d'additif pour accroître l'expérience musicale. »

135 2009, éditions Mœmeludies (édition revue, réactualisée et augmentée).

136 Dans COUPRIE, P., 2001, *La musique électroacoustique en concert : histoire et perspectives*, « L'observatoire des pratiques musicales. Méthodes et enjeux », Actes de la journée d'étude du 28 avril 2001, Paris, Observatoire Musical Français-Université de Paris-Sorbonne, Série Conférences et séminaires n°11, pages 43-52.

« Étant un compositeur qui aime travailler avec des masses sonores souvent très denses, les accumulent les unes aux autres, j'ai vite constaté que la multiphonie s'avérait appropriée à ce genre d'approche. En effet, un espace large et ouvert permet de faire coexister simultanément un plus grand nombre de matériaux sonores, sans que ceux-ci n'interfèrent constamment les uns avec les autres. La répartition des objets sur plusieurs plans permet de désaturer l'espace et le spectre, les sons respirent et gagnent en clarté, sans que les éléments les plus forts ou les plus riches en contenu fréquentiel ne viennent systématiquement obstruer les autres. » [Néron Baribeau, 2014]

L'étape du mixage de l'oeuvre, si elle intervient *après* la composition, qu'elle se déroule en studio ou en concert, est très représentative de cette utilisation de la spatialisation comme élément secondaire, ajouté en fin de chaîne. Au moyen de panoramisations d'amplitude, on va régler les effets de masquages par exemple : c'est-à-dire que l'on va éviter la superposition de sons dont l'énergie fréquentielle se trouve au même endroit dans le spectre, en les localisant à différents endroits de l'espace. La spatialisation devient alors un outil de "démasquage". Plus encore, il est possible d'ajouter de la réverbération, des mouvements, et de "redonner vie" à une pièce "plate" ou non aboutie. Dans son mémoire, le compositeur Néron Baribeau [2014] s'intéresse à la spatialisation intégrée au processus de composition, mais ce qu'il exprime ici est une pensée de mixage intervenant à la fin (voir citation ci-dessus) : il évoque le *panning* (panoramisation d'amplitude), la répartition des sources dans l'espace disponible pour un bon équilibre des masses sonores, pour éviter l'effet précédemment évoqué de masquage. La spatialisation est alors associée à la technique du mixage et devient une sorte d'ornement puisqu'elle sert à "augmenter" l'oeuvre, à la rendre plus lisible, plus agréable à l'écoute. L'espace est donc traité ici comme un simple module d'effet. On est proche de la vision que se faisait Pierre Schaeffer de l'espace dans les années 50 : « La spatialisation [...] a pour but essentiel d'améliorer la définition des objets par leur répartition dans l'espace, puisqu'il se trouve que l'oreille sépare mieux deux sons simultanés si l'un vient de droite et l'autre vient de gauche. Il ne s'agit pas d'un luxe qui viendrait s'ajouter à l'audition mais d'une facilité qui lui est offerte. »^{137 138} C'est également la raison qui guide le compositeur Néron Baribeau à choisir le dispositif octophonique pour la diffusion de sa pièce. Ainsi, à l'occasion d'un concert, il est possible d'utiliser un système de diffusion différent de celui pour lequel l'oeuvre a été composée à l'origine, par choix ou bien par obligation : le compositeur devra alors s'adapter au dispositif mis-à-

¹³⁷Pierre Schaeffer tel qu'il est cité dans Solomos, M., 2013, *De la musique au son. L'émergence du son dans la musique des XX^e-XXI^e siècles*, p.434.

¹³⁸On peut citer aussi : « La plupart des musiques sur bande sont réalisées à plusieurs pistes. C'est le moyen de donner à la musique une dimension supplémentaire, l'espace, mais aussi de permettre à l'oreille de séparer et distinguer plus facilement les éléments répartis dans l'espace. » dans [Chion&Reibel, 1976] p.228.

disposition. Il s'agit donc de mixer l'oeuvre pour un système de diffusion dont va dépendre la spatialisation. La spatialisation du son n'est pas *inhérente* à l'oeuvre si elle est *fonction* d'un mixage stéréophonique, multicanal, etc. À cet instant, elle devient un élément d'*interprétation* de l'oeuvre, et/ou un effet (une ornementation). Dans ce deuxième cas – nous reviendrons sur le premier par la suite – on peut aisément imaginer qu'une pièce composée à l'origine en stéréo, une fois adaptée pour un système de huit haut-parleurs, remplira tout l'espace de projection à l'aide de mouvements, de duplications des sons. Ce geste d'adaptation peut être appelé une « orchestration spatiale ». La spatialisation est alors employée pour donner de l'emphase à l'oeuvre, pour créer un effet grandiose au moment du concert. Flo Menezes parle de spatialité « revigorante » : la pièce est rendue plus dynamique au moyen de la spatialisation [Menezes, 1998].

Ce qui nous emmène vers le sujet du « up/down-mixing », terme anglophone désignant le fait d'adapter une pièce à un système de diffusion différent de celui pour lequel l'oeuvre est mixée, le « up-mixing » étant employé pour le passage à un format comportant un nombre supérieur de canaux (de la stéréo à l'octophonie, par exemple), et le « down-mixing » pour le passage à un format comportant un nombre inférieur de canaux (de l'octophonie à la stéréo, par exemple). Nous sommes face, ici, à une technique d'adaptation plutôt qu'à un choix délibéré de spatialisation, ce qui pose problème lorsque l'espace est au cœur de la composition. « Composers of spatial music are often asked to provide "stereo mixes" of their works. What does it mean to the spatial composer if his pieces are reduced in spatial dimensionality, spatial freedom? »¹³⁹ [Schmele, 2011] Schmele va jusqu'à comparer le cas – improbable – où une œuvre de Mozart serait jouée en une seule tonalité car un instrumentiste apporterait un Djéradoo, "parce que c'est tout ce qu'il a". Est-ce que l'on pourrait dire alors qu'il s'agit de la même pièce ? De même, on imagine des œuvres où la spatialisation en constitue l'essence (voir la partie III.3 qui traite de ce sujet) ; ce genre de procédés ne pourrait certainement pas leurs convenir. Dans les deux cas, il faut se demander si l'intention globale (musicale et spatiale) du compositeur est conservée. D'autres compositeurs, tels que Stockhausen, ne sont pas du même avis notamment concernant ce que l'on appelle la « réduction stéréophonique » d'une œuvre multicanale qu'ils pensent être stratégique puisqu'elle permet de toucher un plus grand nombre d'auditeurs, ne disposant pas tous du dispositif d'enceintes requis : « [...] Il vaut mieux voir une photographie d'une sculpture que ne rien voir ; l'envie de la connaître dans son original naîtra peut être ainsi. »¹⁴⁰ Nous pouvons alors nous demander si l'usage du « up/down-mixing » implique nécessairement que l'intention du compositeur n'est pas gardée. Si la

139« On demande souvent aux compositeurs de musique spatiale de faire des mixages stéréo de leurs œuvres. Qu'est-ce que cela signifie pour le compositeur de musique spatiale si la dimension et la liberté spatiales de ses pièces sont réduites ? »

140Stockhausen cité chez [Menezes, 1998].

réponse est « non », l'espace ne jouerait donc pas un rôle essentiel dans la composition de l'oeuvre, puisque ne ferait pas partie de l'intention globale. Cette question très intéressante et qui fait débat mérite plus de recherches et sera traitée, je l'espère, dans de futurs travaux. Nous verrons d'ailleurs, dans la suite de ce mémoire, que même à travers l'étape du « up/down-mixing » il est possible de tenter de conserver la spatialisation recherchée.

« [...] the spatialization process is mostly improvised to react to the changing localities. »¹⁴¹
[Schmele, 2011]¹⁴²

Enfin, le passage du studio au concert ne se fait pas toujours sans encombre. En effet, l'acoustique des studios étant généralement traitée pour avoir le moins de réflexions possibles, le compositeur est dans une situation d'écoute optimale et peut se concentrer uniquement sur la composition de sa pièce, contrairement à la situation de concert où, selon la taille et l'architecture du lieu ainsi que les matériaux de construction, nous allons plus ou moins entendre la réverbération de la salle lors de la diffusion. Dans le meilleur des cas, cela pourra créer une sorte de liant entre les sons et venir sublimer la pièce ; dans d'autres cas, les sons seront comme noyés dans la réverbération et le rendu sonore sera très éloigné de l'intention du compositeur. On ne distinguera plus l'espace interne de l'oeuvre pourtant si soigneusement et longuement composé, et des retouches en *live* au niveaux du spectre et de la spatialisation de la pièce seront alors inévitables. C'est pourquoi de nombreux compositeurs font le choix de contrôler l'espace de l'oeuvre en direct pour s'adapter à l'acoustique du lieu, et ainsi pallier les problèmes qui peuvent intervenir au moment de la projection. La spatialisation est en quelque sorte improvisée, selon les représentations, et devient un élément d'interprétation de l'oeuvre en concert. La compositrice Natasha Barret préfère ainsi l'interprétation spatiale en concert d'un fichier stéréophonique, que de risquer une diffusion d'un multipiste sur système multicanal, car le succès dépendrait de l'acoustique du lieu et non d'elle-même [Otondo, 2007]. La compositrice est d'ailleurs adepte du système BEAST (voir I.1.2), proche d'un acousmonium. Je fais ainsi le lien avec le vaste sujet qu'est l'interprétation des œuvres acousmatiques en concert. Nous considérons principalement le cas où ce n'est pas le compositeur lui-même qui joue le rôle de l'interprète acousmatique, mais une personne extérieure à l'oeuvre, choisie ou non par le compositeur. En effet, certains d'entre eux affirment qu'ils achèvent leur composition en concert, qu'il s'agit de la dernière étape du-dit processus et dans ce cas, nous pouvons dire que la spatialisation *est* un élément de composition.

141« Le processus de spatialisation est souvent improvisé pour réagir aux changements de lieux [de diffusion]. »

142À propos du travail de Normandeau.

« Cet espace mouvement, s'il n'est pas gratuit, aurait donc surtout une fonction ornementale ou métaphorique à l'appui expressif des sons eux-mêmes auxquels il offre un support spatial. Au XIX^e siècle, le timbre et la ligne mélodique entretenaient le même rapport. » [Vande Gorne, 2014]

D'après Anette Vande Gorne, l'espace est un élément qui renforce l'expressivité de l'oeuvre musicale, sa dramaturgie. La spatialisation du son en direct par l'interprète acousmatique sert donc à souligner voire révéler certaines structures de l'oeuvre, ainsi que son caractère. On part d'une version généralement stéréophonique, dans laquelle l'espace interne est fixé et reste inchangé. C'est l'espace externe qui va être géré en direct via des techniques de spatialisation pour renforcer l'intention du compositeur, déjà claire dans la version studio. On peut dire ici que la spatialisation en *live* est secondaire par rapport au processus de composition, car la pièce existe et peut être appréhendée sans cette intervention. Comme le dit Vincent Guiot [2014], il s'agit en définitive de « composer l'écoute » au moyen de l'espace, afin de guider l'auditeur qui assiste à la diffusion de la pièce dans le noir¹⁴³, sans autre vision que celle des haut-parleurs et de l'interprète acousmatique, selon sa position. L'interprète endosse alors le rôle d'intermédiaire entre le compositeur et l'auditeur. Comme dit précédemment, le compositeur peut d'ailleurs être lui-même interprète de sa propre musique, exactement comme pour les musiques instrumentales « populaires ».

Cette démarche d'interprétation n'est pas sans rappeler les artistes de musiques électroniques dites « populaires » qui ont l'habitude de gérer différents paramètres en direct, y compris la spatialisation, et qui accordent de l'importance à l'interprétation de leur musique en *live*. Cette pratique vient des musiques instrumentales où il est nécessaire qu'un ou plusieurs instrumentistes – ou le compositeur lui-même – exécutent la pièce en direct afin que celle-ci soit entendue. L'auditeur a de ce fait, lorsqu'il assiste à un concert, l'habitude d'être tourné vers la scène et de *regarder* la musique être exécutée. Il n'est donc pas toujours facile pour lui de concevoir qu'il n'y a rien à *regarder* mais seulement à *écouter*. Ainsi la spatialisation des musiques électroniques peut être un moyen d'interprétation et donc utilisée *uniquement* pour le concert, mais aussi une manière d'apporter quelque chose de différent en *live* par rapport à l'écoute domestique. Pour l'artiste Robert Henke (Monolake), il s'agit d'un paramètre d'improvisation essentiel, dont il ne pourrait se passer : « It was clear to me, that I want to present it in surround, because I want it to be as immersive as possible. It was also clear that I want to find a way to transfer all the work I made in the studio on stage in a way that allows me to improvise. I need to have fun during a concert, too, and simply

¹⁴³Certains concerts de musiques acousmatiques présentent aussi des jeux de lumières, des ambiances tamisées, ... comme les séances Akousma, organisées par le GRM à la MPAA, Paris.

pressing play and dance behind the laptop is not an option. »^{144 145}. La spatialisation en direct permet de répondre au besoin d'interprétation des musiques électroniques, notamment de celles dites « populaires ».

Pour finir, j'aimerais récapituler l'ensemble des rôles tenus par la spatialisation du son lorsque celle-ci intervient *après* le processus de composition : elle peut être vue comme un outil pour structurer l'écoute, soutenir la forme de l'oeuvre déjà présente sur la version studio, ou la mettre en évidence si celle-ci est peu claire ; elle peut être employée comme outil de "démixage" et permettre ainsi de distinguer les sons, de clarifier l'oeuvre et donc l'écoute ; la spatialisation peut également servir d'effet (ou ornementation), pour donner de l'emphase, de l'importance à quelque chose qui n'en avait peut-être pas, pour rattraper une oeuvre médiocre ou sublimer une oeuvre de qualité, ou bien pour appuyer la dramaturgie de la pièce voire même en apporter [Schmele, 2011]. Enfin, la spatialisation est aussi un moyen d'interprétation de l'oeuvre électronique qui existe déjà sur support, un moyen d'improvisation, afin d'apporter un intérêt en concert, au même titre qu'un instrumentiste offre sa propre version de l'oeuvre, au-delà de la partition fournie par le compositeur. On peut noter que les moyens techniques développés pour le *live* ouvrent peut être moins de possibilités par rapport à ceux disponibles en studio, et que le fait d'interpréter en direct, "à la main", réduit le niveau de complexité de la spatialisation, et oblige à employer des techniques plus basiques. Il est important de noter que le contrôle de l'espace de l'oeuvre musicale en direct n'implique pas nécessairement que la spatialisation ne fait pas partie du processus de composition (voir parties III.2 et III.3).

III.2 L'espace comme *paramètre composable*

« L'espace fait intégralement partie du langage, du contenu, et du sens de l'oeuvre musicale, au même degré que les autres composantes. » [Vande Gorne, 2010]

144« C'était clair pour moi que je voulais présenter cela en *surround*, parce que je veux que ce soit aussi immersif que possible. C'était également clair que je voulais trouver un moyen de transférer tout le travail effectué en studio sur scène d'une façon qui me permet d'improviser. J'ai aussi besoin de m'amuser pendant un concert, et presser seulement la touche *play* et danser derrière l'ordinateur n'est pas une option. »

145Extrait de l'interview de Robert Henke *Ghosts In Surround* dans Bleep (Février 2012) disponible en ligne : <http://roberthenke.com/interviews/ghosts.html> (consultée le 27/05/2016).

Composer l'espace en même temps que le son, ceci n'est pas sans rappeler la démarche *concrète* de Pierre Schaeffer : on enregistre un son puis on lui applique des transformations, on fait des essais, on écoute. Cela suppose d'avoir un système de haut-parleurs compatible dès le studio, au moment de la composition (voir citation d'Annette Vande Gorne p.58). Ainsi, la composition de l'oeuvre et l'étape du mixage sont confondus. Le compositeur de musique électronique va transformer ses sons, les agencer, les spatialiser, le tout en même temps. La « sérialisation de l'espace », initiée par Stockhausen avec l'oeuvre *Gesang der Jünglinge* (1956), est très représentative de cette considération de l'espace comme paramètre compositionnel. Inspirée du « sérialisme intégral », technique de composition qui consiste à attribuer différentes valeurs de hauteurs, durées et nuances dans un ordre précis (une série) et qui sont par la suite modulées, Stockhausen va définir six techniques de spatialisation en relation avec le mouvement des sons : les rotations, les mouvements en boucle, les altérations, les sources fixes dispersées ou au contraire concentrées, et les points isolés. À propos de sa pièce *Kontakte* (1958-60) : « [...] Miller (2009)¹⁴⁶ notes that « [...] Stockhausen appears to have composed the spatial movements at the same time as other parameters, which is unusual for him. » This would indicate that the physical space in *Kontakte* has a much higher musical responsibility than in any other work. »¹⁴⁷ [Schmele, 2011]. L'espace est ainsi complètement intégré au processus de composition et devient donc un paramètre compositionnel, au même titre que la hauteur, le rythme, les nuances et le timbre [Vande Gorne, 2010 ; 2014].

Penser l'espace en même temps que la composition, c'est aussi un moyen de mettre en valeur les propriétés inhérentes au son – les « spectromorphologies » [Smalley, 1997] – sous-entendues spectrales et temporelles, afin de sublimer le son ou pour lui donner un caractère [Smalley, 1991]. C'est ainsi que les techniques de décorrélation (cf. partie II.2.1) sont souvent utilisées pour contrôler la taille d'un son dans l'espace¹⁴⁸, par exemple. Outre le fait d'enrichir ces « spectromorphologies », Smalley met en avant un autre rôle assumé par l'espace au sein de la composition, qui est celui d'apporter de l'expression à une oeuvre musicale [Smalley, 1997] : « Smalley coined the term *spatiomorphology*, referring to space as an appreciative experience in itself. He distinguishes spatiomorphology from using space only as means to enhance the spectromorphology. Simply put, this is where he delineates space from being a mere effect as opposed to a parameter suitable for

146 Il fait référence à Miller, Puckett, 2009, *Stockhausen and the Serial Shaping of Space*, thèse de Doctorat, University of Rochester.

147 « [...] Miller (2009) remarque que : « [...] Stockhausen semble avoir composé les mouvements spatiaux en même temps que les autres paramètres, ce qui n'est pas habituel. » Cela pourrait indiquer que l'espace physique de *Kontakte* a une plus grande responsabilité musicale que dans ses autres travaux. »

148 Technique stéréophonique très utilisée dans les musiques électroniques dites « populaires ». Voir aussi Potard, G., Burnett, I., 2004, *Decorrelation techniques for the rendering of apparent sound source width in 3D audio displays*, in Proceedings of the 7th Int. Conference on Digital Audio Effects, Naples, Italy et [Vaggione, 2002].

musical expression. »¹⁴⁹ [Schmele & Gomez, 2012]. Le duo de musique électronique expérimentale Autechre utilise la spatialisation du son au moment de la composition tel que le décrit Smalley, dans l'album *Quaristice* (2008) : « ...if we're using effects that are designed to generate reverbs or echos the listener is going to perceive certain sized spaces, so you can sort of dynamically evolve these shapes and sounds to actually evoke internal spaces or scales of things »¹⁵⁰ ¹⁵¹ On comprend ici que c'est l'utilisation de techniques de spatialisation appliquées aux sons qui va servir à conduire l'écoute (voir partie I.2.2). L'auditeur se doit donc d'être attentif à la composition de l'espace afin de suivre la narration de la pièce. L'artiste electronica Björk, dans ses albums *Vespertine* (2002) et *Medulla* (2004), va travailler à donner un caractère "intimiste" à ses morceaux, en usant également de « spatiomorphologies » : dans *Desired Constellation*¹⁵², la position de la voix dans l'espace stéréophonique alterne la gauche et la droite et donne l'impression d'un murmure au creux de l'oreille ; dans *Cocoon*¹⁵³, au contraire, l'espace quasiment monophonique est tellement resserré et avec peu de réverbération qu'il en devient étouffant. Nous avons d'ailleurs vu, dans la partie I.2.2, que Björk a souhaité un dispositif particulier de haut-parleurs lors de sa tournée *Vespertine*, afin de conserver ses intentions de spatialisation composées en studio et qui semblent essentielles au caractère intimiste de ses morceaux. La spatialisation fait donc partie de ses intentions de composition.

« Les mêmes figures spatiales se retrouvent évidemment fixées lors de la composition d'une œuvre multiphonique. Elles prennent alors statut non plus de renforcement ou d'interprétation d'une écriture préexistante, mais, considérées comme éléments musicaux en soi, elles sont au cœur même de la recherche compositionnelle, corrélées ou non aux mouvements énergétiques propres des figures sonores. Cela suppose la présence, dans le studio de composition, d'autant de haut-parleurs de contrôle qu'il y a de canaux de sortie, de préférence mobiles, pour permettre leur configuration géographique réduite aux dimensions du studio, à l'image de ce que le compositeur prévoit en « grandeur nature » en concert. » [Vande Gorne, 2002]

Cette citation d'Annette Vande Gorne démontre bien que l'espace interne de l'œuvre est lui aussi pensé en même temps que la composition dans la musique acousmatique – et non hors de la

149 « Smalley a inventé le terme *spatiomorphologie* en référence à l'espace comme expérience que l'on peut apprécier pour elle-même. Il distingue la spatiomorphologie d'une utilisation de l'espace qui serait uniquement pour mettre en valeur la spectromorphologie. Autrement dit, c'est de cette façon qu'il distingue l'espace comme étant principalement un effet, de l'espace comme paramètre approprié à l'expression musicale. »

150 « ... si nous utilisons des effets qui ont été créés pour générer des réverbérations ou des échos, l'auditeur sera amené à percevoir des espaces d'une certaine taille, et donc vous pouvez en quelque sorte faire évoluer ces formes de façon dynamique et les faire sonner pour évoquer des espaces internes, ou des choses de façon graduelle. »

151 Autechre tel que cité dans [Ramsey, 2013].

152 Album *Medulla* (2004).

153 Album *Vespertine* (2002).

composition comme vu en partie III.1. Il peut s'agir d'un élément formel de l'oeuvre, d'un élément de narration (comme vu précédemment) mais surtout, la spatialisation est considérée comme un réel « objet musical » et non un simple soutien à l'oeuvre [Vande Gorne, 2002]. Le compositeur donne alors des directives s'il n'est pas l'interprète acousmatique de sa propre pièce. L'espace interne ainsi composé doit être respecté et guide l'interprétation spatiale. L'espace est donc un paramètre compositionnel de l'oeuvre acousmatique, légèrement modifiable, adaptable, mais néanmoins essentiel à l'oeuvre.

Grâce à la rapide avancée de la technologie, nous pouvons aisément intégrer les techniques de spatialisation les plus complexes dès le processus de composition, en studio. Il existe un grand nombre d'outils de spatialisation sous forme de logiciels indépendants, de plugins à manipuler dans un DAW, ou encore sous forme d'objets Max/MSP ou Pure Data, par exemple (voir partie I.1.2). Le choix de ces outils est très important afin de « rendre possible la composition de la spatialisation en même temps que la composition du temps. Et non pas d'ajouter de l'espace après que la partie temporelle de l'oeuvre ait été fixée. » [Normandeau, 2012] En effet, l'espace est considéré comme un paramètre compositionnel uniquement si sa composition se fait *en même temps* que la composition des sons, et non une fois que l'oeuvre dans son développement temporel a été fixée. Bien entendu, posséder un dispositif adéquat en studio est aussi indispensable [Vande Gorne, 2002] [Normandeau, 2009], mais cela n'est malheureusement pas toujours à la portée de tout compositeur désireux de travailler la composition de l'espace au sein de leurs oeuvres. Dans sa pièce *Fondations*, Raphaël Néron-Baribeau [2014] utilise l'outil ReaSurround¹⁵⁴ proposé par le logiciel audio Reaper¹⁵⁵ qui permet de localiser des sources dans un espace délimité par la configuration du système de haut-parleurs choisie, puis d'enregistrer ces courbes d'automations dans le DAW. Sa pièce est directement pensée en multiphonie, idéalement pour 8 haut-parleurs, mais il souligne qu'il ne dispose que de 6 haut-parleurs dans son studio personnel. Grâce à l'outil ReaSurround, il va pouvoir travailler la spatialisation de sa pièce sur 6 haut-parleurs, enregistrer ses choix et le moment venu, la diffuser sur 8 haut-parleurs simplement en informant le logiciel du changement de configuration. Cet outil très pratique permet aux compositeurs de travailler la spatialisation de leurs pièces en même temps que la composition des sons sur des systèmes plus réduits que le système final, ou inversement. On peut alors aisément gérer l'espace comme un élément de composition dont on conserve l'idée générale selon le dispositif de projection : « L'écriture spatiale ne devient donc pas strictement liée à un format précis, tel 5.1, 7.1, etc. mais peut être pensée comme un paramètre de composition, dont la résolution et la précision de la restitution seront proportionnelles à celles du

¹⁵⁴ Plugin directement intégré au séquenceur audio Reaper (depuis 2011). Il permet la spatialisation en 2D et 3D et peut gérer jusqu'à 64 canaux en entrées et sorties.

¹⁵⁵ Site-web : <http://www.reaper.fm/>

système de diffusion. » [Néron-Baribeau, 2014]. Bien que cette idée de liberté, de ne pas être attaché à un format, semble très séduisante, nous pouvons cependant émettre quelques réserves concernant ce type de procédés qui laisse seul l'outil technologique maître de l'adaptation de la spatialisation composée de l'oeuvre, selon le dispositif d'enceintes. En effet, si l'on se place du côté de l'auditeur, nous ne pouvons pas toujours simplement transposer des trajectoires, par exemple, sur n'importe quel système. Dans certains cas, selon les choix de spatialisation effectués par le compositeurs avertis, cette méthode ne posera pas de problème. À d'autres moments en revanche, le rendu final sera plus ou moins précis certes, voire flou, et même illisible. Il ne mettra pas en valeur le travail de composition. Pour empêcher cela, il est souvent préférable de se laisser une marge de rectifications à l'aide de potentiomètres, par exemple, au cas où le rendu spatial serait différent de l'intention recherchée par le compositeur, voire de repenser intégralement la spatialisation. Ce genre d'outils permettant l'adaptation des techniques de spatialisation sur différents systèmes de haut-parleurs nous renvoie à la notion de « up/down-mixing » que nous avons évoquée dans la partie précédente et qui peut faire débat lorsque l'on traite d'*intention* de spatialisation. Dans ce qui suit, je donne un exemple de « down-mixing » (quadriphonie vers stéréophonie) qui tente de conserver le rôle donné à la spatialisation dans la pièce, et qui témoigne de l'espace comme élément de composition (presque) non modifiable : « Une projection de l'espace quadriphonique dans l'espace stéréophonique habituel est devenue nécessaire dans le cas, par exemple, de l'enregistrement des œuvres radiophoniques sur disque compact. [...] Dans ce but, l'espace acoustique interne entre la piste 1 (extrême gauche) et la piste 2 (extrême droite) est rempli par les pistes 4 et 3, projetées donc de leur position en arrière à la ligne frontale stéréophonique constituée par les pistes 1 et 2. L'ordre des pistes reste alors le suivant 1, 4, 3, 2, sans que l'on perde donc l'effet rotatif. » [Menezes, 1998]. Le mouvement composé, dans le cas évoqué, semble conservé ; l'intention spatiale reste alors intacte. Si le dispositif utilisé lors de la diffusion est différent de celui pour lequel la pièce a été composée, et que l'espace est un élément de composition, l'important est de conserver l'intention globale du compositeur (musicale et spatiale) pour ne pas que la nature de l'oeuvre soit altérée, et notamment l'intention spatiale puisque c'est elle qui pourrait être amenée à subir des modifications. Garder l'intention spatiale ne veut donc pas nécessairement dire que la spatialisation est non modifiable, il faut simplement faire attention de ne pas tomber dans une interprétation de la pièce. Je citerai la compositrice et chercheuse Baalman pour appuyer mes propos : « Thus, while a common standard will ease the reproduction of compositions on systems other than those for which they were composed, it has to be noted that a transfer to another system is a different interpretation of the piece and that – while making the transfer – the compositional techniques used in the work

should be taken into account in order to stay faithful to the compositional concept. »¹⁵⁶ [Baalman, 2010]. On pourrait d'ailleurs envisager qu'il existe des "arrangeurs d'espace" qui auraient pour rôle d'adapter la spatialisation d'une œuvre aux dispositifs, lieux et techniques de restitution du champ sonore employés tout en gardant l'intention spatiale du compositeur, tel un arrangeur adapte une pièce instrumentale à différentes formations tout en conservant l'intention musicale du compositeur.

Dans cette partie, nous venons de considérer des cas de figures dans lesquels la spatialisation est plus consciente de la part du compositeur que dans la partie précédente (III.1), et totalement intégrée au processus de composition de l'œuvre, mais qui pourrait tout de même être amenée à être modifiée pour se plier aux besoins d'un système de diffusion, d'un lieu, etc. Même si elle est pensée en même temps que la composition, elle sera toujours *fonction* des sons, car elle n'est pas forcément essentielle sous la forme présentée.

III.3 L'espace à l'origine du processus de composition

« Indeed, the central focus of a composition can be the evolution of its spatial morphology. »¹⁵⁷
[Roads, 2015]

Et si l'espace régissait intégralement la composition ? Nous venons d'aborder différentes façons d'envisager l'espace dans une œuvre musicale : l'espace ajouté à l'œuvre comme ornement, comme paramètre d'improvisation, ... et l'espace en tant que paramètre compositionnel. Imaginons à présent l'espace comme élément indéfectible à l'œuvre, immuable. La pièce serait construite sur une conception de l'espace formulée en amont par le compositeur et guiderait la composition. L'espace serait composé en même temps que l'élaboration temporelle de l'œuvre, par le biais des sons. En revanche, le choix des sons serait ici *secondaire* : il se ferait *en fonction* de leurs caractéristiques spectrales et temporelles afin de mettre en valeur au mieux l'espace ainsi composé. Si celui-ci était amené à être modifié, l'intention globale du compositeur serait changée : ce ne serait plus la même pièce puisque la nature de l'œuvre serait altérée. Ainsi, l'espace serait le "pilier central" sur lequel toute la composition repose ; il serait inaltérable. Cette vision très extrême et

156 « Ainsi, alors qu'un standard commun faciliterait la reproduction de compositions sur des systèmes autres que ceux pour lesquels elles ont été composées, il faut noter qu'un transfert vers un autre système est une différente interprétation de la pièce et que – pendant que l'on fait le transfert – les techniques de composition utilisées pour la pièce doivent être prises en compte afin de rester fidèle au concept compositionnel. »

157 « En effet, le point central d'une composition peut être l'évolution de sa morphologie spatiale. »

peut-être idéaliste du rôle que peut jouer l'espace au sein d'une œuvre musicale ne me semble pourtant pas dénuée de sens lorsque l'on s'intéresse au travail de compositeurs comme Xenakis, Vaggione ou encore Normandeau. On peut se demander par exemple comment une pièce comme *Concret PH* de Iannis Xenakis existe hors du Pavillon Philipps (voir partie II.3.1). En effet, composer pour un lieu ou pour un dispositif de haut-parleurs précis est une façon de considérer l'espace comme une fin en soi. Cela oblige nécessairement le compositeur à penser l'espace de l'œuvre en amont de la composition. Comme nous l'avons vu en partie II.3.1, c'est tout à fait ce qu'il s'est passé pour Iannis Xenakis, étant à la fois le compositeur de l'œuvre et l'architecte du lieu, il a tenté de créer une unité à partir de ces deux entités. Pourtant, si l'on écoute l'œuvre en version stéréo par exemple, cela a-t-il un sens ? L'intention du compositeur est-elle gardée ? Je pourrais répondre que l'intention musicale du compositeur est tout de même perçue, du moins en partie : on comprend la transformation du matériau sonore constitué d'un crépitement de charbon de bois granulé pour devenir un « nuage de poussière de sons ». Pourtant, d'après Bridoux-Michel [2005], cette transformation constitue le matériau sonore de la pièce qui doit être considéré comme un seul son, sans début ni fin, l'évolution temporelle de la pièce étant uniquement liée à la spatialisation composée par Xenakis. L'intention musicale du compositeur, pour qu'elle soit comprise dans sa totalité, dépendrait alors de l'intention spatiale. Ainsi, sans les informations de spatialisation imaginée par Xenakis (techniques et espace de diffusion d'origine), la pièce serait réduite à son seul matériau sonore dont la transformation, via les techniques de granulation, entre autres, constituerait l'évolution temporelle, et sa compréhension en serait erronée.

De même, on imagine difficilement les pièces de Vaggione sans l'emploi des techniques de décorrélation micro-temporelle ; il en va de même pour certaines œuvres de Normandeau sans le procédé de spatialisation timbrale. En effet, ces différentes méthodes de spatialisation peuvent être à l'origine d'une œuvre musicale [James&Hope, 2013] (et voir partie II). À ce propos, j'ai pu expérimenter, comme nous l'avons vu en partie II, le fait de concevoir une œuvre dans sa totalité uniquement à partir de ces techniques en composant mes pièces *Miniature 1* en stéréo, basée sur la décorrélation micro-temporelle, et *Miniature 2* pour la WFS Sonic Emotion, basée sur un procédé de spatialisation timbrale. Dans les deux cas, le choix des sons s'est fait par rapport à mes choix de spatialisation, afin de rendre audible ces « spatiomorphologies » composées. Le son est donc inévitable pour percevoir l'espace, mais peut-on parler d'une véritable intention musicale ?

« Spatial appreciation can be acquired by consciously listening to the spaces in works as distinct from regarding space only as spectromorphological enhancement. I use the term *spatiomorphology* to highlight this special concentration on exploring spatial properties and spatial change, such that

they constitute a different, even separate category of sonic experience. In this case *spectromorphology* becomes the medium through which space can be explored and experienced. »¹⁵⁸ [Smalley, 1997]

D'après Smalley [1997], les « spectromorphologies » servent finalement à faire entendre les « spatiomorphologies ». On comprend que le son est essentiel puisque sans lui, on ne peut percevoir d'espace. En revanche, le son est choisi *en fonction* de ce que l'on veut faire entendre au niveau de l'espace ; c'est-à-dire que le son est choisi *en fonction* de ses caractéristiques spectrales et temporelles afin de mettre en valeur au mieux l'espace composé. Le son est donc au service de l'espace. Ainsi, uniquement la composition de l'espace régie la pièce, le matériau sonore et son évolution temporelle en dépendent, et l'intérêt pour l'auditeur réside dans l'écoute de ces « spatiomorphologies » [Roads, 2015]. On peut se demander alors si l'on doit réellement considérer la pièce comme une œuvre musicale et si l'intention globale du compositeur ne serait finalement pas qu'une intention spatiale. Pour sa pièce *StrinGDborg* (2001-2003), reposant sur un procédé de spatialisation timbrale, Normandeau parle de « full body experience »¹⁵⁹ [Normandeau, 2009]. Il propose en effet aux auditeurs de « s'immerger dans le son » en se déplaçant dans un lieu entouré de 16 haut-parleurs. Cette importance donnée à la notion d'immersion, de corps dans un espace, renvoie à la notion de "sensation". Il s'agit d'une expérience vécue par le corps aussi bien que par les oreilles puisque le corps se trouve dans cet espace sonore. Finalement, cette œuvre sonore serait comprise via la perception de l'espace par les oreilles et le cerveau, mais aussi via l'expérience du corps dans cet espace. Ceci n'est pas sans rappeler le travail de Bernhard Leitner que nous avons évoqué en partie I.1.3. L'œuvre musicale en est-elle encore une et ne se rapprocherait-elle pas plutôt d'un genre proche de l'installation sonore ?

« Space is therefore often composed through discovery and empirical exploration rather than as the result of a conscious strategy planned from the outset. »¹⁶⁰ [Smalley, 1991]

Pour Denis Smalley, l'espace est avant tout une affaire d'expérimentation, et non une démarche uniquement cérébrale. Il est impossible de baser la composition sur une conception de l'espace. Il est vrai que la notion d'espace engendre d'autres notions importantes telles que la

158« Une appréciation de l'espace s'acquiert en développant une écoute consciente des espaces dans les œuvres plutôt qu'en considérant l'espace comme une mise en valeur spectromorphologique. Le terme *spatiomorphologie* veut souligner cette attention particulière portée à l'exploration des propriétés et des modifications de l'espace qui forment une catégorie différente et une tout autre d'expérience sonore. La *spectromorphologie* devient, dans ce cas, le médium permettant l'exploration et l'expérimentation de l'espace. »

159 « expérience entièrement corporelle ».

160 « L'espace est majoritairement composé à travers la découverte et les expérimentations empiriques plutôt que d'être le résultat d'une stratégie consciente planifiée à l'avance. »

perception du son dans l'espace par l'oreille humaine (la psycho-acoustique). Même si l'on suit à la lettre les théories acoustiques, les résultats au moment de l'audition ne sont pas toujours ceux que l'on attend, car il faut prendre en compte la perception humaine de l'espace¹⁶¹. J'apporterai cependant une nuance aux propos de Smalley en disant qu'il est essentiel que la conception soit accompagnée d'expérimentations. En effet, se baser uniquement sur l'expérimentation peut amener le compositeur à se laisser séduire facilement par des choses peu évoluées, naïves, banales ; et inversement une pensée uniquement conceptuelle de l'espace peut aboutir à des « spatiomorphologies » trop compliquées et inaudibles à l'oreille. Il est donc nécessaire de trouver le juste milieu.

161 Voir Blauert, J., 1997, *Spatial hearing: the psychophysics of human sound localization*, MIT press.

Conclusion

« La mise en espace du son n'est plus seulement une affaire de panoramisation, un effet, c'est un traitement constitutif des objets, des formes, des "substances propres du son" données à entendre. La spatialisation met en évidence des traitements temporels, multi-échelle. Elle a un potentiel sur le plan de la polyphonie, liée au multicanal. Une approche multi-voix, comme on a une approche multipiste dans un mixage stéréo. »¹⁶²

L'objectif de ce mémoire est de présenter la diversité du travail de l'espace au sein d'une œuvre de musique électronique en se plaçant du point de vue du compositeur, et surtout en essayant d'approcher d'autres thèmes que ceux qui sont les plus récurrents (c'est-à-dire la panoramisation, l'octophonie, ...). Car, si c'est de cette façon que j'ai commencé à m'intéresser à la spatialisation, j'ai par la suite découvert, au fil de mes études, un univers entier que je suis loin d'avoir terminé d'explorer. Ce travail de recherche est donc en particulier destiné à des compositeurs intéressés par la spatialisation, et qui souhaitent en apprendre davantage sur le sujet. C'est pourquoi la partie I m'a semblé importante, d'une part, pour soulever les questions auxquelles j'ai tenté de répondre dans la suite du mémoire et pour considérer comme acquis certains points sur lesquels je ne suis pas revenue par la suite ; d'autre part, pour donner des pistes au lecteur désireux d'en apprendre plus sur la spatialisation, en citant un grand nombre de technologies, d'artistes travaillant avec la spatialisation, etc.

Dans ma deuxième partie, je répertorie différentes manières de composer l'espace, selon divers critères. Le premier est ce que j'appelle « le son dans l'espace », où il s'agit de placer le son dans un espace, de le faire bouger, évoluer dans cet espace. Le son délimite l'espace de part sa trajectoire, apporte des informations sur son étendue (largeur, profondeur, sec ou très réverbérant, etc.) On entend donc le son situé dans un espace. J'associe cela aux techniques de spatialisation permettant de gérer la localisation d'un son et ses trajectoires. Le deuxième critère est « le son qui devient l'espace », le son qui constitue l'espace. À partir d'un travail sur la matière sonore, sur les

¹⁶² Anne Sèdes dans Colafrancesco, J., 2015, *Spatialisation de sources auditives étendues. Applications musicales avec la bibliothèque HOA*, thèse de Doctorat, Université Paris 8.

composantes spectrales et temporelles d'un son (généralement suite à une étape d'analyse), on va pouvoir composer un espace sonore. On n'entend pas, cette fois, le son placé dans un espace mais plutôt le son qui constitue lui-même cet espace. Enfin, je m'arrête sur une toute autre démarche consistant à composer pour ou avec un lieu ou une technologie, afin de soulever la question de la "technologie-instrument" ou paramètre de composition, et de voir ainsi de quelle manière un lieu ou une technologie peut influencer le compositeur au moment de la composition. Et inversement, pourquoi le compositeur choisirait-il tel lieu ou telle technologie. Au final, tout au long de cette deuxième partie, j'ai dégagé trois types d'espaces sonores ainsi composés : un espace très localisé, un espace immersif et un espace "entre-deux", à la fois diffus et localisé, mouvant. J'aimerais m'arrêter quelques instants sur la notion d'immersion, qui revient très fréquemment lorsque l'on parle de spatialisation car elle intéresse de nombreux compositeurs issus de tout type de musique électronique, comme nous avons pu le constater en partie I, pour noter que l'envie de créer un espace immersif pourrait constituer un point commun entre l'ensemble des musiques électroniques.

La dernière partie de ce présent mémoire regroupe en quelque sorte mes réflexions quant aux diverses façons de penser la place et la fonction ainsi engendrée de l'espace par rapport au processus de composition, suite à de nombreuses lectures et écoutes de pièces, mais aussi suite à mes propres expérimentations. J'ai ainsi discuté de l'espace comme élément *extérieur* à la composition. Dans ce cas, il est souvent employé comme effet ou ornementation, la spatialisation peut servir également à réaliser une orchestration spatiale (ou "démixage") des sons, et surtout, l'espace peut-être un moyen d'interprétation de l'oeuvre. Il est utilisé pour mettre en valeur les « spectromorphologies » une fois que celles-ci ont été composées. Il ne fait aucunement partie de l'élaboration temporelle de la pièce, il est simplement *ajouté*. Puis j'ai abordé, dans un deuxième temps, la notion d'espace comme *paramètre composable*. Ainsi, l'espace est composé en même temps que les sons et prend part aux traitements temporels. Les « spatiomorphologies » composées sont alors importantes pour la compréhension de l'oeuvre. Il est possible de les modifier pour adapter l'oeuvre à un système de haut-parleurs différent de celui pour lequel elle était destinée, mais il faut veiller à conserver l'intention spatiale du compositeur, pour ne pas risquer de tomber dans une interprétation de l'oeuvre [Baalman, 2010]. J'ai finalement terminé par le fait de concevoir l'espace *en amont* du processus de composition, c'est-à-dire que l'espace est en définitive le prétexte à la composition. L'intention spatiale du compositeur est égale voire prédomine l'intention musicale. L'évolution temporelle de la pièce est déterminée par le travail de l'espace, comme nous l'avons vu dans la pièce *Concret PH* de Xenakis, par exemple. La compréhension de l'oeuvre passe alors par l'écoute des « spatiomorphologies ». Le son est donc au service de l'espace.

J'aimerais faire le lien, ici, avec la notion de "technologie-instrument" dont nous avons déjà

parlé précédemment. Concevoir l'espace avant de démarrer le processus de composition, signifie en outre penser un système, penser une technique de reproduction de l'espace, un lieu. Cela peut faire partie du jeu de la composition : mettre des règles. Le processus de composition s'adapte ensuite. On peut, au contraire, choisir de mélanger différentes techniques de reproduction du champ sonore, par exemple, selon leurs caractéristiques propres, afin de coller au mieux à notre intention de composition [Baalman, 2010]. Mais qu'advient-il lorsque, une fois la composition achevée, on doit tout repenser pour un autre système ? Stefan Robbers, en parlant de son système MASE, affirme qu'il s'agit d'un réel instrument et qu'il faut composer pour ou avec ce système¹⁶³. Il en va de même pour le système 4DSOUND. Murcof, un compositeur de musique électronique qui a eu l'opportunité de travailler avec ce dispositif, raconte : « I wasted almost two days trying to adapt one of my existing pieces to the system only to discard it completely and restart from scratch. The system really demands to be heard before writing down any ideas for it, and it also pushes you to change your approach to the whole composition process. »¹⁶⁴ ¹⁶⁵ Cela atteste que la technologie peut réellement influencer la composition, ouvrir des possibilités inattendues au compositeur, ou bien le limiter.

Tout compte fait, nous avons avancé, en introduction, que les compositeurs manquaient d'idées dans le domaine de l'espace face à un progrès technologique pourtant conséquent. Mais nous venons d'observer que les technologies permettant la spatialisation du son peuvent également limiter les compositeurs dans leur conception de l'espace. Le développement de nouveaux outils de spatialisation est donc primordial car ce sont eux qui font le pont entre les concepts compositionnels et les technologies de reproduction [Baalman, 2010] et il est nécessaire qu'ils soient conçus en fonction des besoins des compositeurs [Peters & al, 2011]. Les outils doivent être en quelques sortes "transparents", c'est-à-dire qu'ils puissent offrir une multitude de possibilités sans limiter le compositeur, afin que celui-ci se concentre uniquement sur la composition de l'espace. Actuellement, un grand nombre de compositeurs de musique électronique dite « savante » développent leurs propres outils pour contourner les limites technologiques auxquelles ils peuvent faire face¹⁶⁶. En revanche, pour beaucoup de compositeurs de musique dite « populaire », la spatialisation est *fonction* des outils proposés (cf. partie I), ce qui peut expliquer l'écart de

163 « MASE is actually more an instrument, or a composing tool rather than an effects unit. It works best with music, composed for the system [...] » Stefan Robbers lors de notre échange de mails (Mars-Avril 2016).

Traduction : « Le MASE est en fait plus un instrument, ou un outil de composition, plutôt qu'un module d'effets. Il fonctionne mieux avec de la musique composée pour le système. »

164 « J'ai perdu au moins deux jours à essayer d'adapter une de mes pièces existantes sur le système, tout cela pour ne rien garder et tout recommencer de zéro. Le système demande vraiment d'être écouté avant de commencer à écrire ne serait-ce qu'une idée, et cela vous pousse à changer votre approche par rapport au processus de composition. »

165 Propos datant de 2014, retranscrits par Paul Oomen. Lien vers l'article : <http://www.4dsound.net/blog/a-retrospective-by-paul-oomen>

166 La bibliothèque HOA, le plugin octoGRIS, ...

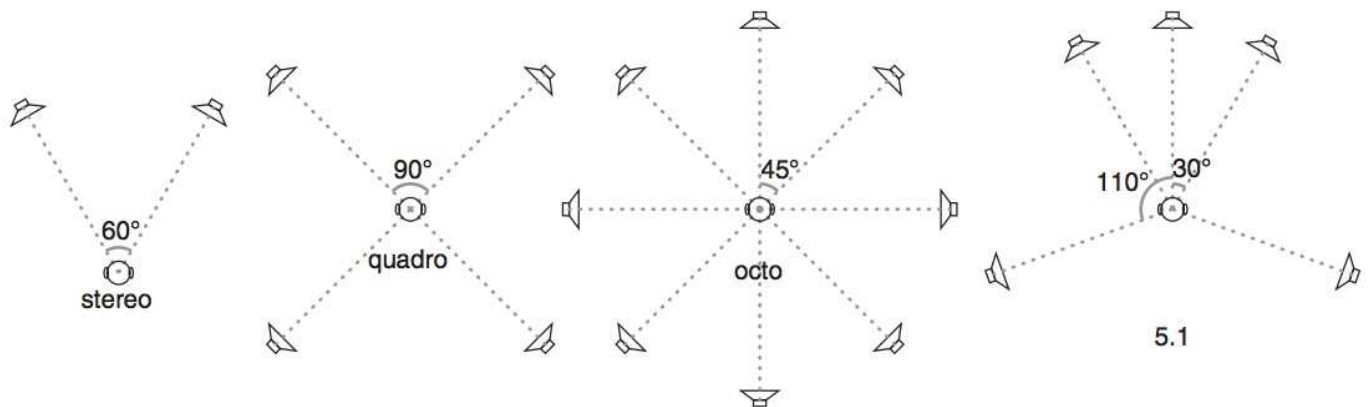
complexité entre les techniques de spatialisation employées. Quoi qu'il en soit, on peut se demander si l'espace serait, avec les mêmes outils et le même niveau de maîtrise, exploité de la même manière dans tous les types de musiques électroniques. On peut imaginer que la réponse est non : les démarches compositionnelles seraient naturellement très différentes, et motivées par des critères très variés (recherche, rentabilité, etc.).

« However, it is argued that before effective spatialisation approaches can be formulated, it is first necessary to understand how spatial audio is perceived. »¹⁶⁷ [Lynch, 2014]

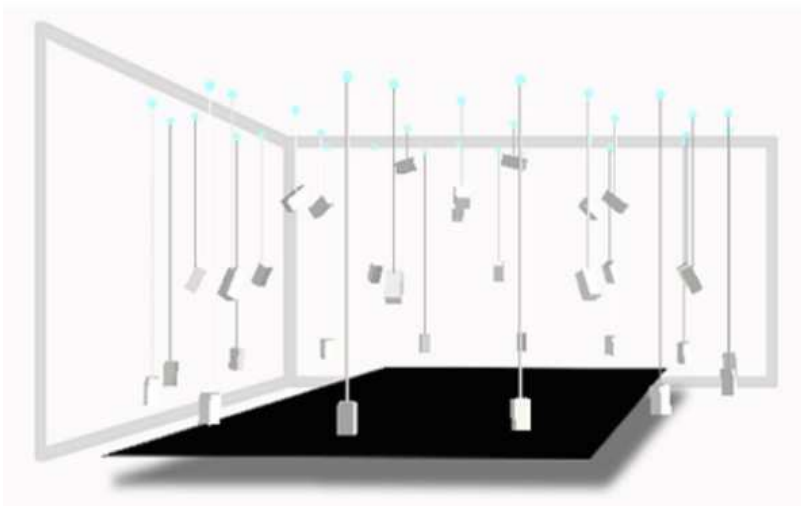
Enfin, je souhaite terminer sur une notion entrevue en introduction qui est celle de la perception auditive. Composer l'espace n'est pas uniquement lié à la formulation de concepts, c'est aussi et surtout expérimenter et écouter le rendu sonore [Smalley, 1991]. Il devient alors nécessaire de comprendre certains principes du fonctionnement de la perception auditive humaine pour travailler l'espace dans la musique. Pourtant, si je n'en ai pas parlé dans ce présent mémoire, c'est parce que je compte lui consacrer une partie de mes recherches futures, afin de pouvoir me placer du côté de l'auditeur cette fois, et d'étudier l'expérience du concert de musique électronique spatialisée. En effet, je pense qu'il est indispensable, pour tout compositeur souhaitant travailler l'espace dans sa musique, d'étendre ses connaissances à la perception auditive.

167 « Cependant, il est souvent défendu qu'avant de formuler des approches de spatialisation claires, il est d'abord nécessaire de comprendre comment l'espace sonore est perçu. »

ANNEXE A : Systèmes de diffusion



*Figure1 : De gauche à droite : la stéréophonie, la quadraphonie, l'octophonie circulaire, le 5.1
(source : [Baalman, 2010])*



*Figure2 :
Shéma du Klangdom, ZKM
(source : issu du site-web du ZKM
<http://zkm.de/>)*

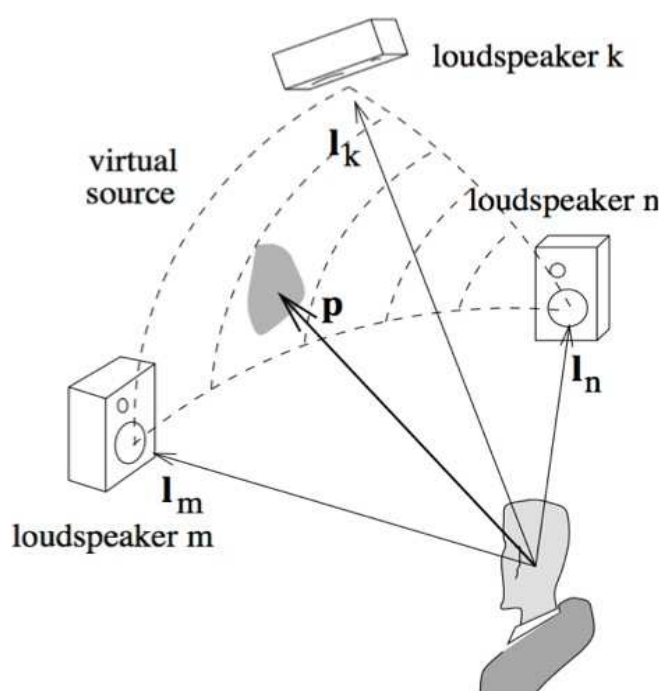
*Figure3 :
Photographie de l'intérieur
de l'Audium Theatre
(photographie issu du site-web :
<http://www.audium.org/index.html>)*



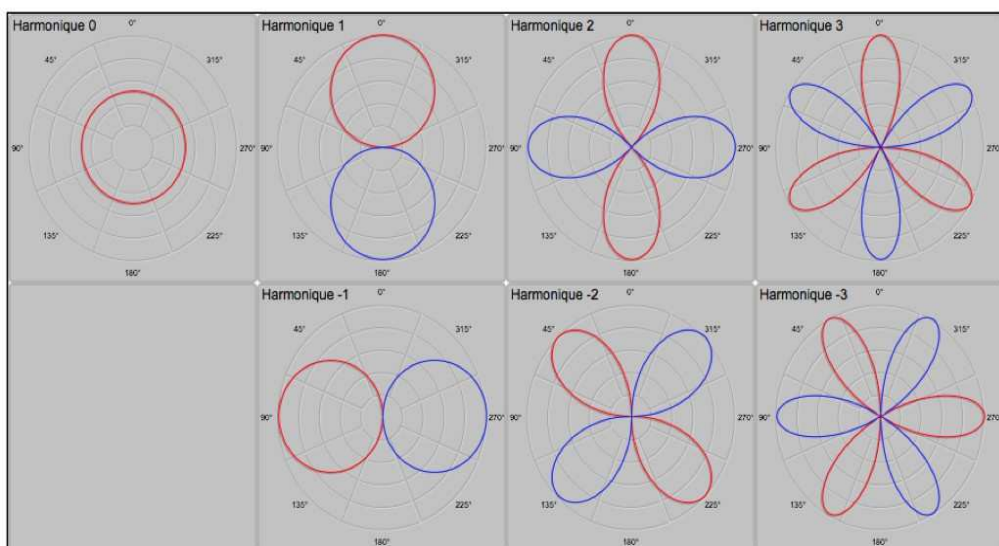


Figure4 : Photographie du système 4DSOUND (photographie issu du site-web : <http://cdm.link/2014/03/full-immersion-audio-artists-explore-4dsound-spatial-grid-omni-speakers-ableton-max-lemur/>)

ANNEXE B : VBAP, HOA, WFS

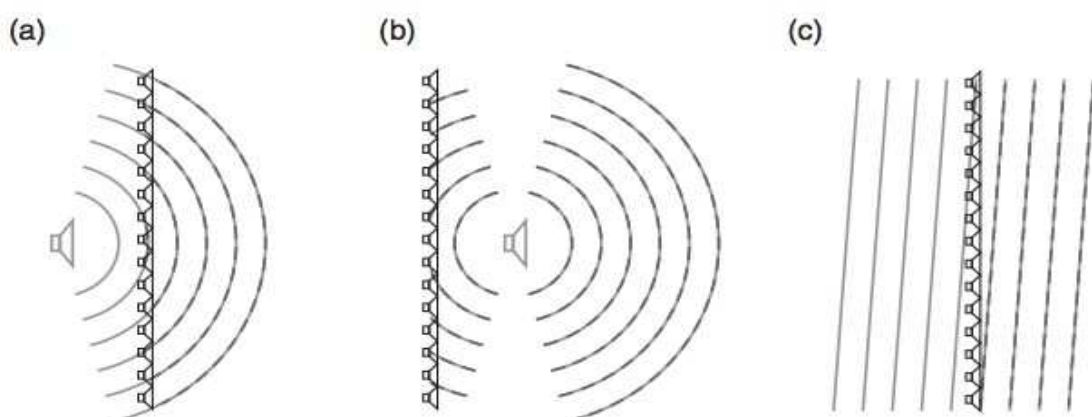


*Figure 1 :
Schéma de la représentation de l'algorithme de VBAP
(source : Pulkki, V., 2001, Spatial Sound Generation
And Perception By Amplitude Panning Techniques,
Thèse de Doctorat, Helsinki University of Technology)*



*Figure 2 :
Représentation des harmoniques
circulaires dans la bibliothèque
HOA jusqu'à l'ordre 3. Les
harmoniques positives sont en
rouges, les négatives sont en bleu.
(source : [GUILLOT, 2013])*

Figure 3 : Implémentations de sources sonores en WFS : (a) source ponctuelle derrière les haut-parleurs, (b) source ponctuelle devant les haut-parleurs, (c) ondes planes (source : [Baalman, 2010])



ANNEXE C : Mes outils de spatialisation pour *Miniature 2*

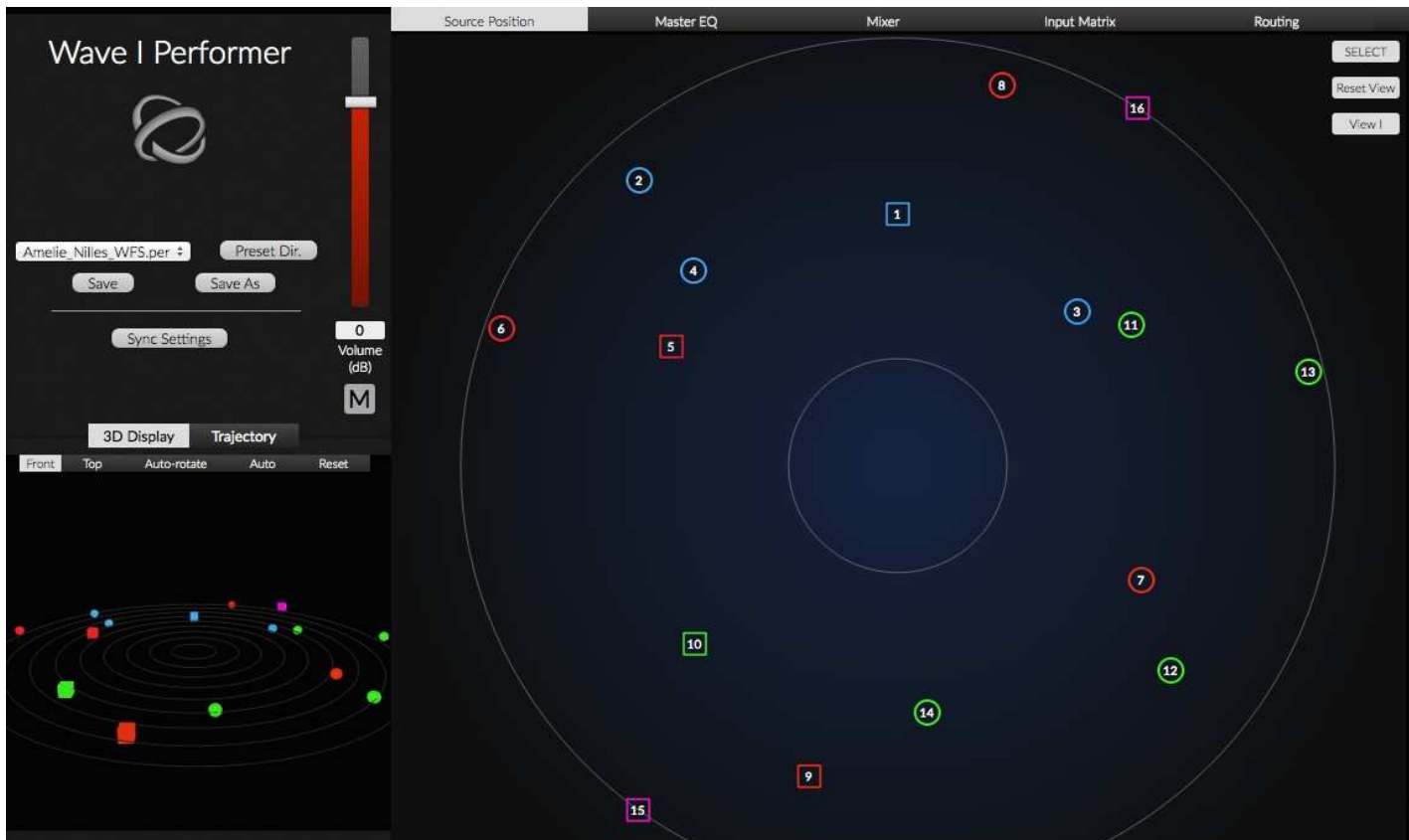
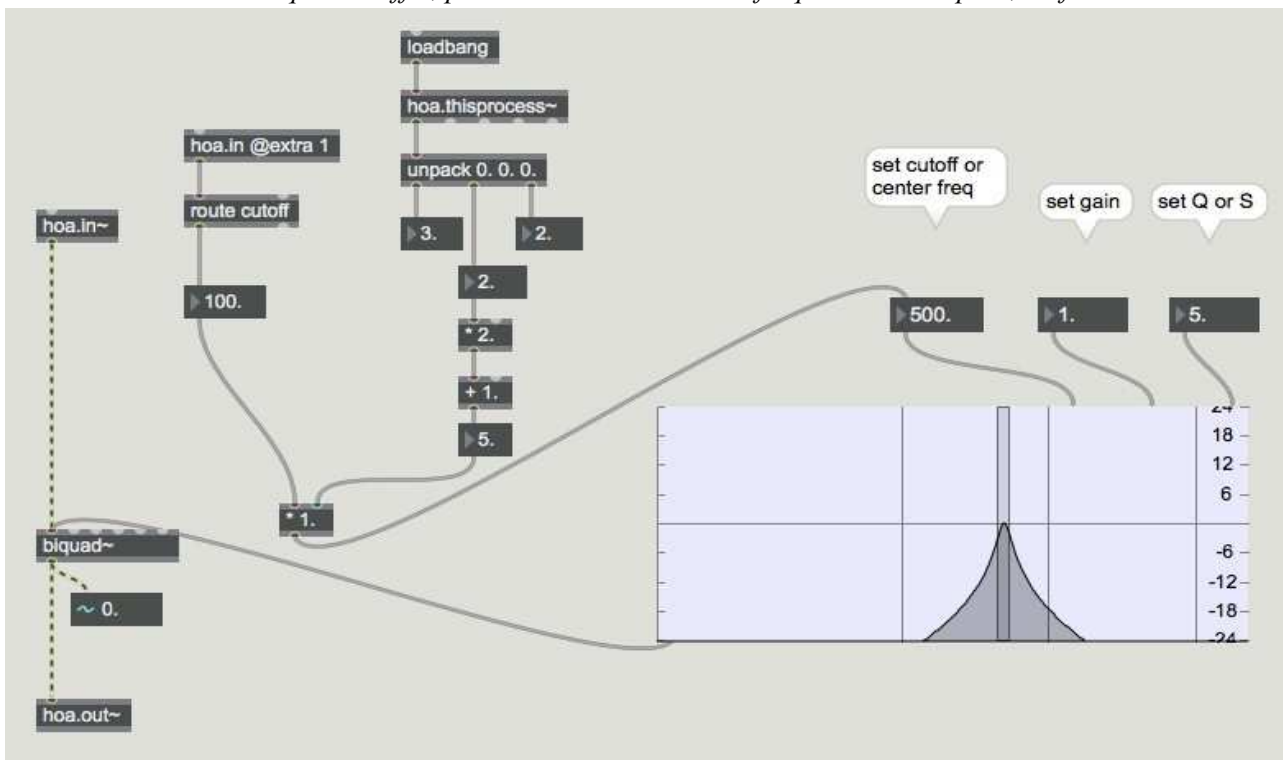


Figure1 : Capture d'écran de ma session de travail avec le logiciel WavePerformer. Chaque numéro correspond à une source sonore. Chaque source d'une même couleur représente ici une bande de fréquence d'un même son.

Figure2 : Capture d'écran depuis le logiciel Max/MSP d'un de mes sous-patches patches d'essai *hoa.biquad*. On voit que chaque contenu d'harmonique est récupéré puis filtré différemment selon la valeur N de l'harmonique. En effet, pour obtenir une nouvelle fréquence de coupure, on fait : $N*2 + 1$.



Bibliographie

AUSTIN, Larry, 2000, *Sound Diffusion in Composition and Performance: An Interview with Denis Smalley*, Computer Music Journal 24(2):10–21.

BAALMAN, Marije A.J., 2010, *Spatial Composition Techniques and Sound Spatialisation Technologies*, Organised Sound 15(3), pages 209–218, Cambridge University Press.

BAALMAN, Marije A.J., 2012, *Spatialization with Wave Field Synthesis for Electro-Acoustic Music*, dans [Pottier, 2012].

BARRETT, Natasha, 2010, *Ambisonics and acousmatic space: a composer's framework for investigating spatial ontology*, Proceedings of the Sixth Electroacoustic Music Studies Network Conference, Shanghai.

BARRETT, Natasha, 2010bis, *Kernel expansion: A three-dimensional ambisonics composition addressing connected technical, practical and aesthetical issues*, Proceedings of the 2nd International Symposium on Ambisonics and Spherical Acoustics, Paris, France.

BATES, Enda, 2009, *The Composition and Performance of Spatial Music*, Thèse de Doctorat, Trinity College Dublin.

BRIDOUX-MICHEL, Séverine, 2005, *Autour de Concret PH de Xenakis*, dans Solomos, M., Georgaki, A., Zervos, G., Definitive Proceedings of the International Symposium Iannis Xenakis, Athènes, Grèce.

CHION, Michel et REIBEL, Guy, 1976, *Les musiques électroacoustiques*, Éditions Édisud.

COLAFRANCESCO, Julien, 2012, *L'Ambisonie d'ordre supérieur et son approbation par les musiciens : présentation de la bibliothèque Max/MSP hoa.lib*, Actes des Journées d'Informatique Musicales 2012, Mons, Belgique.

FERREYRA, Béatriz, 2011, « Oh ! espace... espace... », dans *L'Espace du Son III*, sous la direction d'Annette Vande Gorne, Éditions Musique & Recherches, éditions numériques, 2011.

GUILLIEN, Mathieu, 2005, *Jeff Mills. Évolution stylistique d'un compositeur électro*, Mémoire de Master 2, Université Paris-Sorbonne.

GUILLOT, Pierre, 2013, *Les traitements musicaux en Ambisonie*, mémoire de Master 2, Université

Paris 8.

GUIOT, Vincent, 2014, *L'interprétation acousmatique. Comment ? Pourquoi ?*, Mémoire de Master 1, Université Paris 8.

JAMES, Stuart G., 2012, *From Autonomous to Performative Control of Timbral Spatialisation*, Proceedings of Austral-asian Computer Music Conference (ACMC), pages 31-38.

JAMES, Stuart G. & HOPE, (Dr) Cat, 2013, *2D and 3D timbral spatialisation : spatial motion, immersiveness, and notions of space*, International Computer Music Associations (ICMA 2013).

KENDALL, Gary S., 1995, *The Decorrelation of Audio Signals and Its Impact on Spatial Imagery*, Computer Music Journal 19(4), pages 71-87.

KENDALL, Gary S., ARDILA, Mauricio, 2007, *The Artistic Play of Spatial Organization: Spatial Attributes, Scene Analysis and Auditory Spatial Schemata*, ICMC 2007 Proceedings, Copenhagen.

KIM-BOYLE, David, 2006, *Spectral and Granular Spatialization with Boids*, dans Proceedings of the 2006 International Computer Music Conference, Presented at the International Computer Music Conference, New Orleans, pages 139–142.

KIM-BOYLE, David, 2008, *Spectral spatialization – An overview*, dans « Proceedings of the 2008 International Computer Music Conference », présenté à l'International Computer Music Conference, Belfast.

KOSMICKI, Guillaume, 2006, *Musiques savantes, musiques populaires : une transmission ?*, Conférence donnée pour la Cité de la Musique dans le cadre des « Leçons magistrales » le 28 novembre 2006, disponible en ligne [consulté le 30/12/2015] : <http://guillaume-kosmicki.org/pdf/musiquespopulaires&musiquessavantes.pdf>

LENNOX, Peter, 2009, *The emotional contents of the 'space' in spatial music*, International Conference on Music and Emotion, Durham, Royaume-Uni.

LOPEZ, Oscar, 2011 *Bernhard Leitner: Sound Spaces*, Article disponible à l'URL [consulté le 1/07/2016] : <http://www.archdaily.com/168979/bernhard-leitner-sound-spaces>

LYNCH, Hugh Adam, 2014, *Space in Multi-channel Electroacoustic Music: Developing Sound Spatialisation Techniques for Composing Multi-channel Electroacoustic Music with Emphasis on Spatial Attribute Perception*, Thèse de Doctorat, University of Limerick.

MENEZES, Flo, 1998, *La spatialité dans la musique électroacoustique*, dans CHOUVEL, J.M. et SOLOMOS, M., 1998, *L'espace : Musique/ Philosophie*, l'Harmattan, Paris.

NÉRON BARIBEAU, Raphaël, 2014, *Méthodes de spatialisation sonore et intégration dans le processus de composition*, Mémoire de Master 2, Université de Montréal.

NORMANDEAU, Robert, 2009, *Timbre Spatialisation : The medium is the space*, dans *Organised Sound*, 14(03), pages 277-285.

NORMANDEAU, Robert, 2012, *La spatialisation timbrale où le médium, c'est l'espace*, Actes des Journées d'Informatique Musicale (JIM 2012), Mons, Belgique.

OTONDO, Felipe, 2007, *Creating Sonic Spaces: An Interview with Natasha Barrett*, *Computer Music Journal*, 31:2, pages 10–19, Massachusetts Institute of Technology.

OTONDO, Felipe, 2008, *Contemporary trends in the use of space in electroacoustic music*, *Organised Sound* 13(1): 77–81, Cambridge University Press.

PETERS, Nils, MARENTAKIS, Georgios & MCADAMS, Stephen, 2011, *Current Technologies and Compositional Practices for Spatialization : A Qualitative and Quantitative Analysis*, *Computer Music Journal*, 35:1, p. 10–27, Spring 2011, Massachusetts Institute of Technology.

POTTIER, Laurent (direction), 2012, *La spatialisation des musiques électroacoustiques*, Publications de l'Université de Saint Etienne.

RAMSAY, Ben, 2013, *Social spatialisation : exploring links within contemporary sonic art*, article en ligne [consulté le 3/01/2016] :
http://eprints.staffs.ac.uk/743/1/Ramsay_Social%20spatialisation%20EDITED%20FINAL.pdf

ROADS, Curtis, 2015, *Composing Electronic Music*, Oxford University Press.

SCHMELE, Timothy, 2011, *Exploring 3D Audio as a New Musical Language*, Mémoire de Master 2, Universitat Pompeu Fabra.

SCHMELE, Timothy, et GOMEZ, Imanol, 2012, *Exploring 3D audio for brain sonification*, Proceedings of the 18th International Conference on Auditory Display, Atlanta, GA, USA.

SÈDES, Anne, 2015, *Approche musicale de la décorrélation microtemporelle dans la bibliothèque HOA*, Actes des Journées d'Informatique Musicale (JIM 2015), Montréal, Canada : Université de Montréal. Article en ligne : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01199014/document> [consulté le 30/11/2015].

SMALLEY, Denis, 1991, *Spatial experience in electro-acoustic music*, dans *L'Espace du Son II*, sous la direction d'Annette Vande Gorne, Éditions Musique & Recherches, éditions numériques, 1991.

SMALLEY, Denis, 1997, *Spectromorphology : explaining sound shapes*, dans *Organised Sound* 2(2), p.107–26, Cambridge University Press, Royaume-Uni.

VAGGIONE, Horacio, 2002, *Décorrélation microtemporelle, morphologies et figurations spatiale*, Actes des Journées d'Informatique musicale (JIM 2002), Marseille, France.

VALLE, Andrea, TAZELAAR, Kees, & LOMBARDO, Vincenzo, 2010, *In a concrete space. Reconstructing the spatialization of Iannis Xenakis' Concret PH on a multichannel setup*. Proceedings of the Sound and Music Computing Conference (SMC-2010).

VANDE GORNE Annette, 2002 (mis à jour le : 09/10/2014), *L'interprétation spatiale. Essai de formalisation méthodologique*, Revue DEMéter, Université de Lille-3.

URL : <http://demeter.revue.univ-lille3.fr/lodel9/index.php?id=466> [consulté le 20/12/2015].

VANDE GORNE, Annette, 2010, « L'Espace pour quoi faire ? », dans *L'Espace du Son III*, sous la direction d'Annette Vande Gorne, Éditions Musique & Recherches, édition numérique, 2011.

VANDE GORNE Annette, 2012, *L'espace comme cinquième paramètre musical*, dans [Pottier, 2012].

ZELLI, Bijan, 2009, *Spatialization as a Musical Concept*, dans « IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2009 Arts, Media and Humanities Proceedings », Orlando, FL, USA, pages 35–38.

ZELLI, Bijan, 2010, *Musique Acousmatique and Imaginary Spaces*, Sounding Out 5, Bournemouth, Royaume-Uni.

ZVONAR, Richard, 1999-2005, *A History of Spatial Music : historical antecedents from Renaissance antiphony to strings in the wings*. Article en ligne [consulté le 27/12/2015].

URL : http://econtact.ca/7_4/zvonar_spatialmusic.html