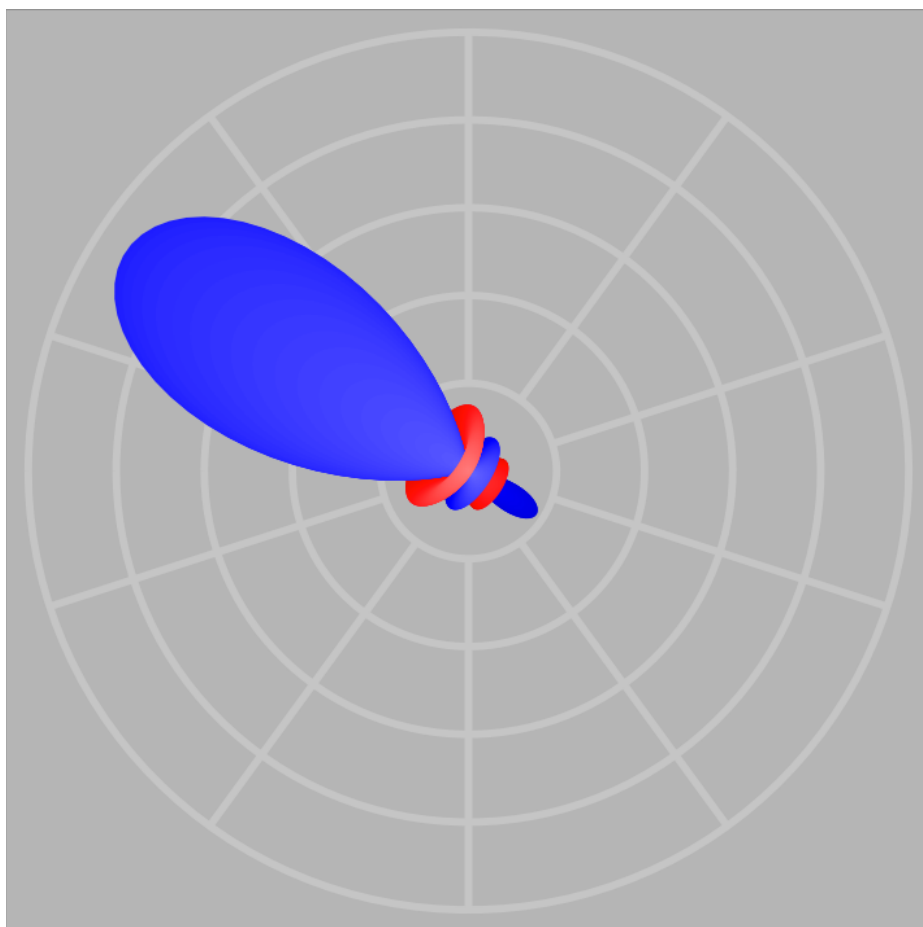


**Pour une écriture de l'espace en musique :**

**Un outil ambisonique de mise en espace & de création de morphologies spatiales.**



## Table des matières :

### Introduction

<b><u>1. L'espace, une dimension du langage compositionnel</u></b>	<b>p3</b>
<b><u>1.A.1. Espace composable</u></b>	<b>p3</b>
<b><u>1.B. Espace concret</u></b>	<b>p5</b>
<b><u>1.C. Jeux &amp; Figures d'espaces</u></b>	<b>p6</b>
<b><u>2. Outil &amp; instruments de mise en espace</u></b>	<b>p9</b>
<b><u>2.A.1 Paramètres physiques et psycho-acoustiques</u></b>	<b>p10</b>
<b><u>2.A.2 Caractérisation de l'espace</u></b>	<b>p11</b>
<b><u>2.B Techniques de spatialisation</u></b>	<b>p12</b>
<b><u>2.B.1 Instrument de projection stéréophonique sur sources multiples.</u></b>	<b>p12</b>
<b><u>2.B.2 Techniques multicanal</u></b>	<b>p13</b>
<b><u>2.B.3 Technologies de mixage objet</u></b>	<b>p13</b>
<b><u>2.B.4 Technologies de simulations spatiales</u></b>	<b>p14</b>
<b><u>2.B.5 Techniques binaurales et transaurales</u></b>	<b>p15</b>
<b><u>2.B.6 Autres approches</u></b>	<b>p15</b>
<b><u>2.C Ecriture &amp; créations d'espaces</u></b>	<b>p16</b>
<b><u>2.C.1 Edition de trajectoire</u></b>	<b>p16</b>
<b><u>2.C.2. Processus technique de création de morphologies sonores</u></b>	<b>p17</b>
<b><u>3. Ambisonie, apports créatifs &amp; outil personnel.</u></b>	<b>p17</b>
<b><u>3.1 Ambisonie - apports créatifs</u></b>	<b>p18</b>
<b><u>3.1.1 Introduction à l'ambisonie</u></b>	<b>p18</b>
<b><u>3.1.2 Ambisonie - Paramètres techniques &amp; créatifs</u></b>	<b>p19</b>
<b><u>3.B Conception d'un outil de mise en espace &amp; de création de morphologies sonores</u></b>	<b>p23</b>
<b><u>3.B.1 Architecture de l'outil</u></b>	<b>p23</b>
<b><u>3.B.2 Architecture de l'outil - technique</u></b>	<b>p24</b>
<b><u>3.B.3 Flexibilité &amp; Ouverture</u></b>	<b>p25</b>
<b><u>Conclusion</u></b>	<b>p26</b>
<b><u>Annexe 1 : Outils techniques - éléments de compréhension</u></b>	<b>p28</b>
<b><u>Annexe 2 : Schéma de l'architecture de l'outil</u></b>	<b>p29</b>
<b><u>Bibliographie</u></b>	<b>p30</b>
<b><u>Remerciements</u></b>	<b>p31</b>

## Introduction

Dans ce mémoire je m'intéresse à la question de l'espace en musique contemporaine, et plus particulièrement dans le champ des musiques concrètes acousmatiques. La musique concrète se définit par son processus de pensée et de création qui se distingue de l'abstraction des musiques écrites sur partition conventionnelle. Ce processus se caractérise par un va-et-vient entre une écriture musicale d'un discours, d'une pensée, et l'écoute, le modelage et l'appropriation d'une matière sonore. C'est une musique dite de support, sur lequel elle se fixe (s'enregistre) de manière définitive et qu'elle utilise pour sa création ainsi que sa réécoute. En studio on pratique l'écoute réduite, on s'intéresse aux spécificités internes des objets sonores que l'on manipule, concentré sur leurs caractères propres en tant que son. Faisant abstraction de notre capacité d'interprétation, on met de côté leurs causalités et leurs sens.

La situation acousmatique, elle, se définit comme la posture d'écoute où seuls les éléments sonores sont porteurs du discours. La dimension visuelle n'y a plus d'intérêt, on peut fermer les yeux et se concentrer sur les seuls stimuli sonores. En tant qu'art acousmatique, la musique nous parvient uniquement à travers les haut-parleurs.

L'espace, en tant que milieu de propagation acoustique est inhérent à tout phénomène sonore. Le son, fait de temps et d'espace ne sait s'apprécier autrement que dans le moment de son apparition, et dans l'espace de son audition. Ainsi, toute écoute du musical, en tant qu'art sonore, est empreint d'une spatialité. En musique occidentale, on relève des utilisations de l'espace très tôt, que ce soit à l'Antiquité Grecque lors de l'élaboration des théâtres ou au XVI<sup>e</sup> siècle avec l'utilisation des caractéristiques acoustiques des monuments religieux. Dès 1950, en musique électroacoustique, on s'intéresse à l'espace avec le pupitre potentiométrique de relief (Schaeffer, Henry, Poullin, Leroux). Pour certains, l'espace sonore est un élément ornemental, qui peut accentuer telle ou telle intention mais qui n'est pas porteur d'un discours ; pour d'autres, il est considéré avec le timbre, la hauteur, le temps et la nuance, comme la cinquième dimension de l'écriture musicale.

Je m'intéresse à la façon dont on peut composer l'espace, c'est-à-dire le penser, d'abord, et l'inscrire ensuite sur un support. En musique de support on parle de deux niveaux d'espaces : « l'espace interne » comme l'espace inscrit sur le support et « l'espace externe », perçu lors du concert, lié aux conditions d'écoute et non prévu ni composé par le compositeur. Dans ce mémoire je préférerai parler « d'espace composé », terme qui regroupe l'ensemble des choix effectués par le compositeur en termes d'espaces, notamment en termes de dispositif de projection sonore nécessaire à la restitution de l'oeuvre. J'associe espace interne et espace externe dans une même pensée de l'espace, dans laquelle le dispositif de restitution sonore participe à l'écriture. En m'intéressant aux espaces composés, je cherche une alternative aux outils de mise en espace qui agissent a posteriori du processus de composition et d'écriture.

Pour cela, je m'intéresse aux différentes recherches technologiques qui sont en cours à propos de l'espace en musique. Avec une démarche de compositeur concret, je cherche des outils qui permettent la fixation de l'ensemble des paramètres musicaux, en y incluant l'espace. Je m'intéresse donc aux outils qui permettent l'écriture de l'espace - dès la composition - et l'écriture avec l'espace - avec la création de morphologies spatiales (c'est-à-dire le comportement du son dans l'espace et son développement au cours du temps). Je me concentre en particulier sur l'usage des technologies ambisoniques d'ordres élevés (HOA – *High Order Ambisonic*). Ce sont des technologies de projection du son immersives, qui permettent de plonger l'auditeur dans une sphère sonore composable

en trois dimensions et à 360°. Je m'intéresserai à leurs apports en termes de création sonore, d'écriture, et de transmission.

Je me demande en quoi l'espace sonore est-il un espace musical ? Je fais l'hypothèse que l'espace est une dimension compositionnelle et qu'il participe au discours musical. Avec ce parti pris, j'étudie plus particulièrement des technologies qui permettent la fixation de la dimension spatiale lors du processus de composition.

1 Tout d'abord je m'intéresserai aux différentes pratiques et approches de l'espace par des compositeurs qui l'ont intégré dans leurs écritures. Je m'intéresserai aux écritures de l'espace, avec les notions de figures spatiales et d'espaces concrets.

2 Ensuite, je m'intéresserai aux techniques de mise en espace, en mesurant la façon dont elles influencent l'écriture et la pensée musicale. Je ferai un résumé non-exhaustif des techniques de mise en espace actuellement développées par le monde musical.

3 Pour finir, je mettrai en écho la conception d'un outil de mise en espace avec mes expériences et préoccupations de compositeur concret. J'ai choisi de me concentrer sur les techniques ambisoniques d'ordres élevés et j'en relèverai les spécificités et les apports en termes musicaux.

## **1. L'espace, une dimension du langage compositionnel**

### **1.A.1. Espace composable**

L'espace est parfois considéré comme la cinquième dimension du musical. Aux côtés du timbre, de la hauteur, de l'intensité et du temps il compléterait la palette d'outils d'écriture du musical. En musique occidentale, on trouve de rares traces de compositions de l'espace dès le XVIe siècle avec des compositions de Giovanni Gabrielli (1557-1612). Le compositeur écrit alors en prenant en compte l'architecture de la basilique San Marco. Dans ces oeuvres, il donne à entendre de multiples chœurs se répondant d'une tribune à l'autre. Il fait du lieu le support d'une écriture spatiale, et de l'espace une dimension musicale composée. Néanmoins, la question de l'espace en tant que dimension composable se pose réellement à partir du XXe siècle et en particulier avec l'usage du haut-parleur.

L'espace serait donc un territoire sonore à s'approprier, terrain d'expérimentation, d'expression, afin de le faire devenir territoire musical. « *Les compositeurs contemporains explorent aujourd'hui dans ses multiples dimensions les modalités spatiales inhérentes à la production/réception du phénomène sonore, jouant à la fois sur les caractéristiques architecturales de l'espace musical, sur la disposition des sources émettrices, sur l'usage des haut-parleurs, sur la place des auditeurs et sur l'interaction entre ces différents paramètres.* »<sup>1</sup>

Le concert de musique concrète induit une nouvelle modalité d'écoute, c'est un art acousmatique où l'auditeur est invité à fermer les yeux et à se laisser porter. Il pénètre

---

<sup>1</sup> Pinard Dominique. « *L'espace sonore à la croisée des champs culturels : enjeux et perspectives.* » Sciences Humaines Combinées [en ligne], Numéro 13 - Espace en question(s), 13 février 2014. Disponible sur Internet : <http://revuesshs.u-bourgogne.fr/lisit491/document.php?id=1206> ISSN 1961-9936

dans un univers sonore, il explore les sons, leurs timbres, leurs soubresauts et leurs spatialités.

« (...) *Dans la salle de concert, quand je rouvre les yeux, l'espace visible me paraît étroit en regard de cet autre espace où tout à l'heure la musique se déployait, et même si je garde les yeux ouverts pendant que l'on joue le morceau, il me semble que la musique n'est pas vraiment contenue dans cet espace précis et mesquin. Elle insinue à travers l'espace une nouvelle dimension où elle déferle ; comme, chez les hallucinés, l'espace clair des choses perçues se redouble mystérieusement d'un « espace noir » où d'autres présences sont possibles.* »<sup>2</sup>

La situation acousmatique ouvre le cadre autrefois dicté par notre perception visuelle. Les bordures perceptives disparaissent et le son se déploie. En concert de musique électroacoustique, on profite de ce nouvel espace en tant que territoire à s'approprier.

« *La projection spatiale du son introduit une mise en scène, qui est très intéressante parce qu'elle peut fonctionner selon plusieurs registres (le près et le loin, ce qui bouge et ce qui est immobile, les « gros » et les « petits » sons, etc.). Dans le concert traditionnel, la musique se tient dans une aire bien circonscrite, que l'on « cale » avec ses yeux et sa conscience et devant laquelle on se situe comme quelqu'un qui observe cette situation avec distance, compétence et qui se laisse prendre éventuellement. Tout autre est la situation de la musique acousmatique : on n'a plus ce confort et on « entre » dans le son (l'événement sonore est plus « grand » que l'auditeur, il n'a pas de contour précis), comme dans une « sculpture pénétrable », un « Grand Son », à l'intérieur duquel on doit reconstruire sa capacité d'observation, d'intérêt.* »<sup>3</sup>

Dans son livre « *De la musique au son. De l'émergence du son dans la musique des XXe-XXIe siècles* », le musicologue Makis Solomos rend compte de l'apparition d'une pensée du sonore dans la musique contemporaine. Au cours des XXe et XXIe siècles, la musique considère de plus en plus de paramètres du sonore comme paramètres musicaux. On ne compose plus uniquement les notes, on compose les timbres, et on se met à composer l'espace. Ainsi, il développe l'hypothèse de « l'espace-son » : « *l'émergence du son serait également émergence de l'espace. (...) le compositeur, dans le cadre de la musique instrumentale, s'empare de la question de la disposition des instruments dans l'espace, et, en ce qui concerne la musique électroacoustique, développe des dispositifs conduisant à rendre de plus en plus indissociable le son de l'espace.* »<sup>4</sup>

Makis Solomos relève notamment de la notion d'espace deux formes d'utilisation. Littérale d'une part en tant qu'espace physique, où l'on parle de spatialisation du son pour parler de l'agencement des sources sonores dans un lieu, leurs placements, leurs mouvements. D'autre part, une pensée figurée de l'espace, en tant que mode de

---

<sup>2</sup> Merleau-Ponty Maurice, « *Phénoménologie de la perception* », in Œuvres, Édition établie et préfacée par C. Lefort, Paris, Gallimard, 2012/1945, p912.

<sup>3</sup> François Nicolas, « *Les enjeux du concert de musique contemporaine* », Bayle François dans « *Entretien de Makis Solomos* », (éd.), Paris, Cdmc-Entretiens, 1997, p24.

<sup>4</sup> Makis Solomos, « *De la musique au son. L'émergence du son dans la musique des XXe-XXIe siècles* », Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 2013.

représentation (espace de hauteur des sons) et de théorisation (caractère statique d'une musique, expérience de l'écoute). Dans le cadre de ce mémoire je m'intéresse principalement à l'espace physique, lieu de transmission du sonore. Cependant je considère que ces différentes notions, du point de vue du compositeur, ne peuvent être complètement dissociées. Il me semble primordial de connecter les considérations d'ordres « techniques » - dispositifs, technologies, outils - à celles d'ordres théoriques et esthétiques, les deux se nourrissant l'une et l'autre de façon poreuse.

## **1.B. Espace concret**

On appelle espace concret l'approche de l'espace sonore comme lieu matériel. L'espace virtuel, quant à lui, est pensé en terme de spatialisation, les sources se trouvant à des points spatiaux - décrits par des coordonnées - et réalisant des trajectoires dans un espace abstrait. La pensée concrète de l'espace prend en compte les spécificités de l'espace en tant que lieu de propagation acoustique. L'espace est alors un porteur non-neutre de son, il « colore » de ses caractéristiques le son qui le traverse. A travers différents exemples, je relève ici plusieurs approches de l'espace concret.

Le compositeur A. Di Scipio compose des « écosystèmes audibles » dans lesquels l'environnement interagit avec le système sonore. L'espace musical devient dynamique et se construit simultanément à travers une écoute active et un système audio actif. Ainsi « l'ambiance » du lieu, ses bruits et ses fonds d'air participent à la composition. Il écrit à propos de sa pièce « *5 interazioni cicliche alle differenze sensibili* » : « *je ne suis pas intéressé par la création d'un espace "virtuel" quelconque. (...) Je préfère bien plus me centrer sur l'espace concret, matériel, historique (salle, chambre, lieu ouvert, etc.) accueillant la performance (...), essayant de pousser le vrai espace laisser des traces audibles de lui-même sur la forme du son, sur le timbre. Il s'agit d'une manière de faire l'expérience de l'espace qui, je pense, est moins idéologique, et qui contraste avec la notion de "réalité virtuelle".* »<sup>5</sup> L'espace laisse donc ses traces, son empreinte sur les événements sonores émis en son sein. Il devient à la fois émetteur de son, de sens, ainsi que transformateur sonore. Ces oeuvres questionnent la relation entre auditeurs, musiques et espaces. L'espace imprègne le sonore, le colore, le nuance et « l'anecdotise » (selon le vocabulaire du compositeur Luc Ferrari, le lieu empreint le sonore de ses caractéristiques acoustiques reconnaissables - ce n'est pas un espace neutre, c'est un lieu caractéristique). En somme l'espace influence toutes les étapes de composition, d'écriture et de perception de l'oeuvre musicale.

Dans son oeuvre « *I Am Sitting in a Room* », composé en 1969, Alvin Lucier s'est enregistré sur un support par la suite diffusé dans une pièce comportant un système de captation et de restitution sonore. L'enregistrement initial, joué et ré-enregistré, se modifie alors graduellement par l'espace dans lequel il est émis. Via un phénomène de larsen (*feedback*), l'espace empreint la matière sonore de ses spécificités acoustiques. L'enregistrement initial disparaît sous l'influence de l'espace concret du lieu de transmission. C'est toute la matérialité du lieu, sa physicalité, qui est utilisée à la fois comme porteuse (lieu de transmission) et comme créatrice du discours musical.

Michel Redolfi compose des pièces électroacoustiques pour milieu subaquatique. Les haut-parleurs sont placés dans l'eau et projettent le son dans une piscine ou dans la

---

<sup>5</sup> Di Scipio Agostino, « *The composition of INSTALL QRTT. An eco-system view of music composing* », inédit, 1999. Traduit de l'anglais par Makis Solomos, 2013.

mer. L'auditeur est invité à plonger ses oreilles dans l'eau et à apprécier l'oeuvre à travers ce lieu de transmission sonore particulier. Lors de la composition, les caractéristiques morphologiques des sons prennent en considération les spécificités sonores du milieu aquatique. Les réverbérations, les timbres ou les sensations d'espace y sont alors complètement déformés par rapport à une écoute aérienne.

L'espace concret peut aussi être déplacé, transformé et utilisé comme un matériau extrêmement composable. Dans sa pièce « *Disenchanted Island* » (2017), la compositrice Olga Neuwirth estompe les frontières entre espace concret et virtuel. Des empreintes acoustiques (*Impulse Response*) de l'église San Lorenzo en Italie ont été réalisées à partir d'enregistrements ambisoniques. Cela permet à la compositrice de conserver les caractéristiques sonores du lieu et de l'utiliser en tant qu'outil de création sonore. La réverbération caractéristique du lieu initial peut alors être retrouvée grâce à des techniques de convolution. L'espace de l'église est invoqué par simulation et se déplace dans le nouvel espace d'audition. Les différentes strates d'espaces sont mises en concurrence et « *invite(nt) le spectateur à un voyage où se condensent de saisissants effets de réel, des déplacements subis, ainsi qu'une mise en perspectives des mémoires multiples, simultanées, qui hantent les lieux.* »<sup>6</sup>

La notion d'espace concret amène donc à considérer le lieu comme un territoire possédant des caractéristiques propres, uniques et potentiellement musicales. Composer l'espace c'est alors composer avec un ou des espaces, devenant indissociables de l'oeuvre musicale.

### **1.C. Jeux & Figures d'espaces**

L'écriture de l'espace permet l'exécution de « figures spatiales », opérations de déplacements des sources sonores. Quels effets les figures spatiales produisent-ils sur la perception du phénomène sonore et dans quelles mesures participent-ils au discours musical ?

*« penser le sonore en termes de composition de l'espace mono, bi, quadri, triple stéréo, double quadri, octophonique... avec tous les jeux de combinaisons possibles, appliqués à une seule chaîne acoustique ou à plusieurs d'entre elles, simultanément ou par séquences, en plans rapprochés ou éloignés, c'est donner à l'espace le statut de paramètre du son équivalent aux quatre autres. »*<sup>7</sup>

Lors de la mise en espace des sons, on accède à différents paramètres spatiaux sur lesquels on peut agir, et avec lesquels on peut écrire, articuler et construire une pensée musicale. Le compositrice Annette Vande Gorne définit plusieurs « figures d'espace », opérations spatiales réalisables lors de la composition ou par les interprètes sur acousmonium. Ces figures « *renforcent l'écriture de l'oeuvre, mettent en relief les*

---

<sup>6</sup> <https://www.ircam.fr/agenda/imprimer-le-monde/detail/>, mai 2017.

<sup>7</sup> Vande Gorne Annette, « *L'interprétation spatiale. Essai de formalisation méthodologique* » Revue DEMéter, décembre 2002, Université de Lille-3, disponible via [www.univ-lille3.fr/revues/demeter/interpretation/vandegorne.pdf](http://www.univ-lille3.fr/revues/demeter/interpretation/vandegorne.pdf)

*figures existantes ou en créent de nouvelles.* »<sup>8</sup> La mise en relief du sonore est alors une mise en relief du musical, elle « augmente » l'écriture, souligne le discours et permet d'en découpler les effets.

L'application de figures spatiales pourra avoir multitude de fonctions musicales : « faire vivre « de l'intérieur » une masse épaisse et lisse en y creusant, ou en accentuant de légères fragmentations dynamiques ou spectrales. » ; « mettre en évidence un moment d'écriture par micro montage, ou pointilliste (granulaire). » ; « mise en évidence d'une écriture en dialogue, délimitation de bornes spatiales, berceuse. » ; « donner un sens d'enfermement. » ; « préparation, annonce, trajet orienté vers un but ou conclusif. » ou encore des effets de « surprise, « magie », réveil de l'écoute. »<sup>9</sup> A chaque fois, penser la dimension spatiale comme musicale permet de guider l'écoute de l'auditeur.

La pensée musicale de l'espace permet, via les figures d'espace de mettre en avant des écritures musicales singulières. Comme le soutient Annette Vande Gorne : « selon le caractère de chaque pièce, on peut, par un travail spatial différent, mettre l'accent sur tel ou tel aspect de l'écriture : icônicité, mouvement, démixage de la polyphonie, phrasé et variations, subjectivité, matière. »<sup>10</sup> Ces types de langages musicaux, grâce à une écriture de l'espace, peuvent être donnés à entendre d'une façon plus forte ou plus juste. Annette Vande Gorne décrit ces différents aspects et pose quelques pistes d'écritures spatiales adaptées :

- « L'image, l'icônicité : l'image « phonographiée » est observée, comprise et recadrée, agrandie selon les justes dimensions que propose son contenu. On ne donnera pas le même relief, le même calibre à un paysage sonore extérieur qu'à un portrait d'un personnage vocal ou à une représentation sonore d'un intérieur.
- Le mouvement : l'énergie, le mouvement inhérent à la nature d'une séquence sonore ou d'une trame, sera d'autant plus apparent qu'il sera traduit par un mouvement spatial corrélé et de même nature.
- Le « démixage » de l'écriture contrapuntique : l'écriture du mixage est « détricotée », après son analyse, par un placement spatial spécifique aux types de sons. Selon que l'écriture donne plus d'importance à tel ou tel élément sonore, on fera ressortir d'un ensemble telle ou telle autre paire de haut-parleurs.
- Le phrasé et les variations : la structure de l'œuvre, son phrasé, son rythme, ses variations sont rendus explicites par une intériorisation de l'interprète qui « revit » l'œuvre, la joue, yeux fermés, comme s'il l'avait lui-même composée. C'est la modalité acousmatique appliquée à l'interprétation.
- La subjectivité : souvent, dans les œuvres avec texte par exemple, il s'agit de faire ressentir à l'auditeur de quelle situation intérieure parle le personnage. Sorte de caméra subjective, c'est par le dosage entre différents points d'espace, définis et fixes que l'espace intérieur (souvent renforcé par le ton de la voix quand il y a un texte) se différencie très clairement.

---

<sup>8</sup> Vande Gorne Annette, « L'interprétation spatiale. Essai de formalisation méthodologique » Revue DEMéter, décembre 2002, Université de Lille-3, disponible via [www.univ-lille3.fr/revues/demeter/interpretation/vandegorne.pdf](http://www.univ-lille3.fr/revues/demeter/interpretation/vandegorne.pdf)

<sup>9</sup> *ibid.*

<sup>10</sup> *ibid.*



- *La matière : la rugosité, le grain, ou la fluidité, la densité, la masse des matières sera renforcée par la proximité, l'éloignement, le nombre de haut-parleurs. »<sup>11</sup>*

Il existe donc plusieurs types d'écritures spatiales qui permettent de nuancer et de caractériser une écriture musicale. Ces indications sont principalement destinées aux interprètes spatiaux sur acousmonium. Cependant, les problématiques, les effets et les paramètres composables restent les mêmes pour un travail multiphonique.

L'espace peut ainsi devenir un territoire dans lequel ont lieu des jeux dramaturgiques, un espace-territoire utilisé comme la somme de petits espaces définis, permettant des contrepoints : *« il s'agit de placer des sons ayant des transitoires d'attaque assez marqués pour les localiser, si brefs soient-ils. La composition devient alors celle d'un environnement pointilliste, jouant avec les masses, les phrasés ponctuels et les variations de densités. Les dialogues multiples et superpositions de séquences confiées aux mêmes haut-parleurs sont une autre esthétique de l'espace source, qui met en évidence les personnages sonores ou les contrepoints. »<sup>12</sup>* L'espace participe au discours musical, il met en avant des dialogues, des contrepoints, des différences, il peut superposer, isoler et mettre en évidence des traits d'écritures.

Certaines techniques permettent de dessiner des trajectoires précises. Les sons se déplacent au sein de l'espace, permettent d'en ressentir la taille et les limites. La mise en mouvement d'un son permet d'attirer l'attention de l'auditeur sur l'objet sonore. L'oreille, tout comme l'oeil, est attirée par le mouvement. En organe du danger, qui permet d'éveiller notre méfiance ou notre curiosité, elle guide l'écoute sur ces sons. La mise en mouvement d'un son n'est donc pas neutre, elle « colore » le son, lui donne un caractère, le détache des autres sons et de l'ensemble de l'environnement sonore. Ainsi, *« si l'on considère l'expression musicale d'un point de vue énergétique, les trajets peuvent alors renforcer l'énergie interne du son. »<sup>13</sup>* Grâce aux mouvements on peut ainsi augmenter « l'impact » d'un son, le mouvement le mettant en avant. *« 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 XIXe siècle, le timbre et la ligne mélodique entretenaient le même rapport. »<sup>14</sup>* Ainsi, il semble être libre au compositeur de se servir de l'espace comme guide de l'écoute. En appliquant un mouvement, il peut hiérarchiser l'écoute, augmenter l'attention sur un point de l'espace, s'en servir pour surprendre ou donner des impressions de vitesse. *« Enfin, l'application à un son de caractère neutre et abstrait d'un mouvement spatial en balancement lui donnera une signification particulière, celle d'une berceuse par exemple. Il faut peut-être rappeler ici combien temps, espace et mouvement sont liés : une rotation lente ou rapide ne génère pas la même signification, et si elle passe progressivement à un tempo plus rapide, elle change de forme et devient spirale. »<sup>15</sup>* L'espace par la mise en mouvements peut orienter

---

<sup>11</sup> Vande Gorne Annette, « *L'interprétation spatiale. Essai de formalisation méthodologique* » Revue DEMéter, décembre 2002, Université de Lille-3, disponible via [www.univ-lille3.fr/revues/demeter/interpretation/vandegorne.pdf](http://www.univ-lille3.fr/revues/demeter/interpretation/vandegorne.pdf)

<sup>12</sup> *ibid.*

<sup>13</sup> *ibid.*

<sup>14</sup> *ibid.*

<sup>15</sup> *ibid.*

et qualifier une écriture sonore. L'objet sonore mouvant obtient un statut particulier, il est mis en avant de façon visible et acquiert une forme d'importance.

Les mouvements sont aussi parfois des éléments que l'on peut connaître, reconnaître, deviner et prévoir. Ils deviennent pour l'auditeur des trajectoires géométriques simples, qui peuvent devenir prévisibles. Ainsi, on peut jouer avec l'attention de l'auditeur, lui faire prévoir tel ou tel comportement, le surprendre, jouer avec sa perception. A ce propos, la compositrice Annette Vande Gorne nous dit : « *Le mouvement fait partie de la forme lorsqu'il devient figure, répétition, transition, rupture, déclenchement, etc. Ici, l'espace géométrie n'est donc pas un support, c'est un objet musical réel et abstrait qui conduit l'écoute et structure la perception par son évolution dans le temps.* »<sup>16</sup> L'auditeur perçoit alors des formes d'espaces, en tant qu'éléments d'écriture propre. Ce n'est plus seulement de la « mise en relief » de paramètres musicaux existants, mais bien l'apparition de nouveaux éléments de langage.

L'exécution de figures spatiales a donc un caractère non-neutre sur la perception d'un phénomène sonore et d'un discours musical. Lors de la conception de mon outil de mise en espace (développé en troisième partie de ce mémoire), j'ai cherché des solutions permettant d'avoir un accès direct à l'écriture de figures spatiales à tout moment de la composition.

## **2. Outil & instruments de mise en espace**

La musique électroacoustique est, en tant que musique de support, extrêmement liée à la technologie et à l'histoire des techniques. Son apparition n'aurait pas pu se faire sans l'enregistrement, le haut-parleur et certaines découvertes, fruits du hasard, de la réflexion et de la curiosité tels que le sillon fermé et la cloche coupée. Dans ces musiques, techniques, recherches et création se nourrissent et s'influencent. J'aimerais montrer ici qu'en matière d'espace aussi la technique peut influencer l'écriture et la pensée du sonore. Quelles sont les différents types d'outils de mise en espace rencontrés, utilisés et développés dans les musiques de support ? Comment leurs fonctionnements peuvent-ils influencer l'écriture musicale et à quelles étapes de la composition permettent-ils de travailler l'espace ?

Dès 1951, la musique concrète s'empare de l'espace et au sein de la RTF (Radio Télévision Française). Pierre Schaeffer et Pierre Henry conçoivent un système de diffusion quadraphonique formé de deux haut-parleurs frontaux, d'un haut-parleur à l'arrière et d'un autre au plafond. Pour les contrôler, on crée le « pupitre d'espace », outil-instrument qui permet de projeter en temps réel le son dans l'espace. Plus tard, d'autres compositeurs s'emparent de la question de l'espace en musique : John Cage, Karlheinz Stockhausen, Edgard Varèse, Iannis Xenakis, entre autres, créent des œuvres pour différents systèmes de restitution sonore. Des quatre canaux de Pierre Schaeffer et Pierre Henry, on atteint en 1970 le nombre de cinquante-cinq haut-parleurs au pavillon Allemand de l'exposition universelle d'Osaka avec Stockhausen. En 1974, le GRM (Groupe de Recherches Musicales) met en place l'acousmonium, « orchestre de haut-parleurs », instrument-outil manié par un interprète spatial pour « mettre en relief » la musique concrète. Différents Instituts vont se munir de systèmes à haute densité de haut-parleurs. En 1982, le

---

<sup>16</sup> Vande Gorne Annette, « *L'interprétation spatiale. Essai de formalisation méthodologique* » Revue DEMéter, décembre 2002, Université de Lille-3, disponible via [www.univ-lille3.fr/revues/demeter/interpretation/vandegorne.pdf](http://www.univ-lille3.fr/revues/demeter/interpretation/vandegorne.pdf)

Birmingham ElectroAcoustic Sound Theatre (BEAST) est construit et compte aujourd'hui une centaine de haut-parleurs. En 1978, l'IRCAM ESPRO, muni de mur à coefficient de réverbération variable puis de deux systèmes de restitution HOA (*High Order Ambisonic* ou Ambisonie d'ordre supérieur en français) et WFS (*Wave Field Synthesis* ou synthèse de champ sonore en français). Le Sonic Lab of the Sonic Arts Research Laboratory à l'université de Belfast en 2006, le Klangdom au Center for Art and Media in Karlsruhe (ZKM) en 2006... Il s'agit de lieux désormais dédiés à la composition musicale dans un espace en trois dimensions. Un intérêt croissant est porté à la dimension spatiale en musique et la nécessité de créer de nouveaux outils pour en profiter se développe.

Il existe plusieurs manières de catégoriser les différentes approches des systèmes de diffusion sonore.

On parle parfois d'approche acousmatique, en désignant les systèmes contrôlés en temps réel par un interprète et où l'on utilise les spécificités des haut-parleurs, leurs types variés ainsi que leurs placements afin de positionner les sources dans l'espace. C'est une approche « *loudspeaker based* » ou encore « *channel based* » où le haut-parleur définit la position de la source. L'exemple typique de cette approche est l'acousmonium du GRM développé au milieu des années 1970. En concert, un interprète spatial vient projeter la musique, souvent en stéréo, à travers les différents haut-parleurs, en considérant leurs types et leurs positions physiques. Le haut-parleur est considéré, ainsi que l'ensemble du dispositif, comme un instrument duquel, en interprète, on vient jouer. On positionne les sons dans l'espace en envoyant un signal vers le haut-parleur souhaité. L'intérêt d'une telle approche réside d'une part dans la relative simplicité des moyens mis en oeuvre qui permettent un résultat efficace et rapide. Les possibilités sont nombreuses, on peut alors mettre en espace une oeuvre de multiples façons. De même, il est possible de s'adapter à un lieu de concert particulier sur le plan acoustique. D'autre part, la présence d'un « officiant », l'interprète, permet de « ritualiser » la situation de concert.

Face à l'approche acousmatique, il existe l'approche simulatrice - virtuelle -, où l'espace en trois dimensions est considéré comme un paramètre contrôlable. On utilise alors des outils de traitements du signal et psycho-acoustique pour positionner des sources dans l'espace. On peut parler d'approche « *scene based* » pour les techniques ambisoniques HOA qui décrivent une scène sonore à 360°. Il existe aussi une approche dite « *object-based* » pour les techniques WFS, où l'on simule le front d'onde produit par une source à un point donné. Un outil comme le « spatialiseur » développé par l'IRCAM à partir des années 1990 est emblématique de l'approche virtuelle de l'espace. Le principal avantage de ces procédés réside dans les capacités très élevées de contrôle des paramètres spatiaux. On a accès à un grand nombre de paramètres concernant les qualités acoustiques d'un espace, et sa réponse à l'émission sonore d'une source. Tous ces paramètres peuvent être composés, écrits et travaillés avec une grande finesse.

### **2.A.1 Paramètres physiques et psycho-acoustiques**

La perception des espaces sonores fait appel à plusieurs paramètres physiques et psycho-acoustiques. Ces différents paramètres sont autant de stratégies disponibles pour les outils et les technologies afin de créer des espaces.

#### **Perception de localisation :**

Il existe plusieurs facteurs perceptifs permettant la localisation de sources sonores :

- Différence de temps et de phase entre les signaux provenant à l'oreille droite et à l'oreille gauche. (ITD *Interaural Time Difference* et IPD *Interaural Phase Difference*, en anglais).
- Différence d'amplitude entre les signaux provenant à l'oreille droite et à l'oreille gauche. (ILD - *Interaural Level Difference*, en anglais).
- Fonction de transfert relative à la tête (HRTF, *Head-Related Transfer Function*, en anglais). Ces fonctions caractérisent les transformations apportées aux ondes sonores par le corps d'un auditeur (tête, pavillon de l'oreille, conduit auditif) selon la position de la source en azimut et en site.

### **Perception d'éloignement :**

Il existe plusieurs stratégies afin de réaliser des éloignements :

- Atténuation d'amplitude avec l'augmentation de la distance.
- Modification du spectre avec l'éloignement. Dans l'air les hautes fréquences s'atténuent plus rapidement avec l'augmentation de la distance que les basses fréquences.
- Taux de réverbération. La variation du taux de réverbération peut aussi signifier un éloignement ou un rapprochement de la source.

On peut aussi évoquer l'effet Doppler qui est parfois mis en oeuvre dans les logiciels afin de rendre compte du déplacement des sources sonores. Il consiste en un changement de hauteur dépendant de la position de la source en mouvement par rapport à l'auditeur (et inversement).

Les différentes technologies, outils et dispositifs de mise en espace possèdent différents degrés de sophistication dans la prise en compte de ces différents paramètres. Si dans la troisième partie de ce mémoire je choisis de m'intéresser aux techniques ambisoniques c'est en partie parce qu'elles proposent une simulation de champ sonore qui reconstruit à la fois les différences d'intensité (ILD) et les différences de temps (ITD) afin de restituer l'espace.

### **2.A.2 Caractérisation de l'espace :**

Il existe plusieurs types et degrés d'immersion.

On distingue d'une part les espaces polarisés, dans lesquels les éléments sonores ponctuels sont situés de façon frontale à l'auditeur. A l'arrière, on y trouve principalement des sources diffuses et on cherche une sensation d'enveloppement, on parle alors de « *surround* ». D'autre part, se développent les espaces équi-énergie, où l'entièreté de l'espace, à 360°, est susceptible d'être animée de sources ponctuelles et de sources diffuses.

On parle de degré d'immersion pour caractériser la sensation d'appartenir ou non à l'espace restitué par le dispositif. Est-on immergé dans le lieu ou bien à l'extérieur de celui-ci ?

On parle aussi de linéarité de l'espace, c'est-à-dire la régularité de restitution des sources sur l'ensemble du dispositif. Le dispositif est-il homogène ou bien a-t-on la perception de sources focalisées à certains points de l'espace (souvent, les haut-parleurs) ?

La profondeur des plans caractérise la distance perçue entre l'auditeur et une source sonore. Un espace avec beaucoup de « reliefs » aura plusieurs profondeurs de plans aisément discernables.

Tous ces paramètres techniques et psycho-acoustiques qui permettent de décrire un espace sonore peuvent être utilisés par des dispositifs de mise en espace. Ils deviennent alors des outils potentiels de création musicale sur lesquels on peut agir et avec lesquels on peut écrire et composer.

Dans le cadre de ce mémoire je m'intéresse aux dispositifs ambisoniques qui permettent une restitution équi-énergie. La linéarité de l'espace est souvent jugée très bonne en ambisonie, la position réelle des haut-parleurs semble se faire oublier. Comme nous le verrons, ces techniques permettent aussi la création de sources focalisées et donc un travail innovant des profondeurs de plans.

## **2.B Techniques de spatialisation**

### **2.B.1 Instrument de projection stéréophonique sur sources multiples**

En musique acousmatique composée en stéréophonie, on profite du concert pour accentuer l'espace interne de l'oeuvre - écrit et fixé par le compositeur - dans l'espace externe du concert. Pour cela on utilise souvent des dispositifs de projection sonore possédant un nombre important de haut-parleurs de différents types.

#### **L'Acousmonium**

L'acousmonium est un « orchestre de haut-parleurs » destiné à la projection, la spatialisation et l'interprétation spatiale des musiques électroacoustiques. Il fût conçu en 1974 par François Bayle et réalisé par Jean-Claude Lallemand. Il est constitué d'un ensemble de haut-parleurs hétérogènes et de différents calibres (taille, puissance, couleurs) répartis dans l'espace de la salle de concert. « *C'est un outil multiforme qui peut changer d'une fois sur l'autre pour s'adapter aux œuvres et aux circonstances.* »<sup>17</sup>

Son utilisation permet de mettre en avant des caractéristiques d'écritures de la pièce musicale, ainsi il est conçu pour « *renforcer l'espace existant sur le support* »<sup>18</sup>. L'acousmonium est considéré comme un méga-instrument, il forme un « orchestre » composé de multiples entités - les haut-parleurs. « *Toutes les combinaisons de placement, calibre, directivité et couleur donnent à chaque paire ou groupe un rôle musical différent, à l'image d'une orchestration : solistes (paire de références, souvent en focale étroite et convergente), masse (distribution de haut-parleurs en réflexion, sur une grande aire), stéréo de référence (calibre large, toutes les fréquences), contrebasses (grave), effet (stéréo verticale, plafond, présence dans le public) etc.* »<sup>19</sup>

#### **Le Gmebaphone**

Le gmebaphone est un instrument de diffusion et d'interprétation spatiale des musiques électroacoustiques. On doit sa conception à Christian Clozier (avec l'aide de Pierre Boeswillwald) et sa réalisation à Jean-Claude Le Duc. Conçu au sein du GMEB (Groupe de Musique Electroacoustique de Bourges) le gmebaphone est inauguré en

---

<sup>17</sup> Site web de l'INA GRM, <http://www.inagrm.com/mots-cles-associes/acousmonium>, mai 2017.

<sup>18</sup> <sup>18</sup> Vande Gorne Annette, « *L'interprétation spatiale. Essai de formalisation méthodologique* » Revue DEMéter, décembre 2002, Université de Lille-3, disponible via [www.univ-lille3.fr/revues/demeter/interpretation/vandegorne.pdf](http://www.univ-lille3.fr/revues/demeter/interpretation/vandegorne.pdf)

<sup>19</sup> *ibid.*

1973. Il a ensuite subi diverses modifications: le gmebaphone 6 est présenté en 1997, avant d'être ensuite appelé cybernéphone pour indiquer ses capacités informatiques.

Le gmebaphone est constitué d'un réseau de différents types de haut-parleurs. Après analyse, un filtrage spectral est réalisé et la musique est alors répartie dans six registres de « couleurs », spectres, différents. Il est à noter que ce dispositif permet de pré-programmer certaines actions, rendant possible une diffusion sans interprète. « *Selon ses concepteurs, le principe du gmebaphone s'oppose à l'idée d'orchestre de haut-parleurs et, notamment, de sources sonores localisées et de trajectoires en « lignes et points » ; il crée plutôt un espace global, animé d'un « mouvement de temps coloré qui développe son espace.* »<sup>20</sup>

## **2.B.2 Techniques multicanal**

Je choisis consciemment le terme de « restitution » sonore. Le système étant alors à la fois un outil de création - il permet l'accès à certains paramètres spatiaux - et un « restituant » de l'oeuvre telle que composée en studio. Je regroupe ici à la fois des approches théoriques et des outils techniques.

### **Stéréophonie**

La stéréophonie est un procédé mis au point en 1931 par Alan Blumlein. Dans certaines conditions d'écoute (*sweet-spot*), il permet de créer des sensations de sources sonores localisables dans l'espace entre deux haut-parleurs.

### **Multipoints**

Les techniques de panoramisation multipoints sont notamment énoncées par John Chowning en 1971. Il est dit qu'avec un nombre suffisant de haut-parleurs disposés dans un plan horizontal autour de l'auditeur, il est possible de produire des sources virtuelles dans toutes les directions d'azimut.

On notera l'existence d'une part de dispositifs standardisés comme le 5.1, qui définit des angles précis pour le placement des hauts-parleurs. Ils permettent une appropriation par le grand public et une écoute domestique. On les retrouvera aussi souvent au cinéma où l'on cherche à homogénéiser les expériences dans les différentes salles. D'autre part, on peut trouver des dispositifs non-standardisés qui peuvent intégrer différents types de haut-parleurs et des placements divers (en utilisant par exemple la hauteur).

Logiciels : SpatGRIS, GRM Tools, IRCAM Spat, Acousmodule, panner DAW multicanaux (Cockos Reaper, Avid Pro Tools, etc.)...

## **2.B.3 Technologies de mixage objet**

### **VBAP (*Vector Base Amplitude Panning*)**

Généralisé par Ville Pulkki en 1997 la technique VBAP utilise le principe de panoramisation d'intensité augmentée à un ensemble de trois haut-parleurs disposés en triangle. La technique permet ainsi un accès à la verticalité. Les sources sont disposées selon des coordonnées spatiales (azimuth et élévation) permettant une flexibilité quant au

---

<sup>20</sup> Poissant Louise (sous la direction) Groupe de recherche en arts médiatiques (GRAM), « *Dictionnaire des arts médiatiques* », Presses de l'Université du Québec à Montréal (UQAM), 1996.

dispositif de restitution. Un paramètre de « *spread* » ou « *blur* » (traduit par « flou » en français) est aussi possible, il permet de doser les ratios d'intensités des haut-parleurs et peut se répandre à ceux adjacents au triangle initial. Cet effet permet d'augmenter la masse spatiale des sources et donne la sensation de sources sonores larges ou diffuses.

Des cas particuliers peuvent exister, comme lorsqu'une source sonore est positionnée à l'endroit précis d'un haut-parleur physique. Dans ce cas, on peut choisir que seul ce haut-parleur participe à la restitution de la source.

On peut relever que ces techniques sont notamment utilisées au cinéma pour les systèmes de diffusion sonore immersifs. Les techniques Dolby ATMOS ou DTS X utilisent ce principe ce qui leur permet de gagner en flexibilité et de s'adapter aux différents systèmes d'écoute des cinémas.

Logiciels : IRCAM Spat, MAX/MSP, Zirkonium.

## **2.B.4 Technologies de simulations spatiales**

### **WFS (*Wave Field Synthesis*)**

La WFS – synthèse de champ sonore en français - est un procédé basé sur le principe d'Huygens (1678) et une série de simplifications émises à partir de 1988 notamment par A.J. Berkhout. Le dispositif utilise un grand nombre de haut-parleurs disposés en ligne (*loudspeaker array*) afin de recréer, pour une source virtuelle, un champ sonore équivalent à ce qu'il aurait été avec une source réelle. L'ensemble des haut-parleurs va participer à créer un front d'onde acoustique cohérent. Cette technologie utilise une approche de type mixage objet ou chaque source est indépendante des autres ainsi que du dispositif de restitution.

Il permet la création de trois types de sources :

- Point source virtuel : perçu comme une source provenant d'un point précis situé derrière l'ensemble de haut-parleurs.
- Ondes planes : point source situé infiniment loin, perçu comme une source sonore qui suit les déplacements de l'auditeur. Cette source est également perçue comme provenant de la même direction par tous les auditeurs.
- Point source virtuel situé devant le dispositif d'écoute (source focalisée) : source perçue comme provenant d'un point au sein de l'auditoire. Il est à noter qu'avec une seule ligne de haut-parleurs, le front d'onde crée entre celle-ci et le point source virtuelle cible n'est pas acoustiquement valide.<sup>21</sup>

Ce type de dispositif permet d'élargir la zone d'écoute idéale, on ne parle plus de *sweet-spot* comme point d'écoute mais de zone d'écoute (*area-spot*).

On peut noter que les dernières avancées de la société Sonic Emotion permettent de faire de la WFS avec relativement peu de haut-parleurs (une dizaine). Son emploi à plus grande échelle dans le cadre de concerts électroacoustiques semble aujourd'hui possible.

Logiciel : Sonic Emotion Wave I.

---

<sup>21</sup> J'invite le lecteur intéressé à se référer à [http://recherche.ircam.fr/equipes/salles/WFS\\_WEBSITE/Index\\_wfs\\_site.htm](http://recherche.ircam.fr/equipes/salles/WFS_WEBSITE/Index_wfs_site.htm), mai 2017.

## **2.B.5 Techniques binaurales et transaurales**

### **Binaural :**

Le binaural est une technique d'enregistrement et de restitution du son qui permet l'appréciation d'une scène sonore à 360° et en trois dimensions. Les techniques binaurales prennent en compte des paramètres psycho-acoustiques comme les fonctions de transfert relative à la tête (HRTF, *Head-Related Transfer Function*, en anglais). L'écoute doit donc se faire au plus près du tympan, ce qui réserve cette technique à l'écoute au casque seulement. De plus on utilise des filtres HRTF qui peuvent varier d'un individu à un autre. Cette technique est aussi utilisée pour le transcodage d'un fichier audio multicanal comme le 5.1 pour une écoute au casque. On cherche alors à retrouver des sensations d'enveloppement supérieures à celle de l'écoute d'un fichier stéréophonique classique.

Logiciel : IRCAM Spat, X-Audio Mybino, Waves Nx.

### **Binaural + Transaural :**

Technique de reproduction sonore sur deux haut-parleurs permettant l'écoute en trois dimensions. Le principe des techniques transaural est l'annulation des chemins croisés (*cross-talk cancelling*), c'est à dire la diaphonie acoustique que l'on perçoit avec un dispositif stéréophonique classique. On cherche à ce que l'oreille droite ne perçoive que le signal audio qui lui est destiné via l'enceinte droite et inversement, comme lors de l'écoute au casque. Pour chaque canal on ajoute un décodeur compensant le signal non-voulu produit par l'enceinte croisée.

Le défaut principal de cette technique réside dans la zone d'écoute idéale (*sweet-spot*) très instable. Cependant, des recherches sont faites avec l'utilisation de plus de deux haut-parleurs afin de diminuer les instabilités liées à la position de l'auditeur.<sup>22</sup>

Logiciel : IRCAM Spat.

## **2.B.6 Autres approches**

### **4D SOUND**

4D SOUND est une entreprise hongroise qui développe un dispositif de diffusion sonore particulier. Le dispositif est destiné à se développer dans le milieu de la musique électronique, clubs, installations et performances. Il est constitué d'enceintes à directivité omnidirectionnelle capable de créer des images fantômes indépendantes de la place de l'auditeur. Des colonnes contiennent trois haut-parleurs sur différents niveaux. Le dispositif est de grande taille et occupe une pièce entière, les colonnes de haut-parleurs se trouvant au sein de l'auditoire.

Ce type de dispositif amène l'idée d'une interprétation spatiale au sein des musiques électroniques mainstream, prenant simplement place dans un *workflow* existant (Ableton Live est dominant dans ces musiques).

Du point de vue logiciel, le programme possède certaines spécificités. Les sources sonores possèdent une aire plus ou moins grande. Des effets spatiaux sont disponibles. Il est possible aussi de créer des murs virtuels, interagissant avec les sources. Ils peuvent

---

<sup>22</sup> Baskind Alexis, Lyzwa Jean-Marc, Meunier Xavier « *Utilisation de techniques binaurales et transaurales en production multicanal 5.1* », IRCAM, CNSMDP, ENSLL, 2004.



posséder les spécificités d'un matériau et ainsi modifier la perception de l'espace réel, créant une forme d'architecture virtuelle. Aussi, des *trackers* de position sont développés afin de créer des interactions entre des acteurs au sein du dispositif et la scène sonore. Des recherches sur les interfaces en réalités virtuelles sont également poursuivies, rendant possibles d'autres types d'interaction, comme des actions de manipulation des objets sonores.

## **IRCAM COSIMA**

Au sein de l'équipe de recherche IRCAM Cosima est développée une nouvelle technique de spatialisation. Bien que celle-ci soit radicalement différente des autres approches et techniques abordées jusqu'ici, elle est intéressante par plusieurs aspects.

L'équipe travaille notamment sur l'utilisation des haut-parleurs des téléphones portables appartenant aux auditeurs comme outils de restitution sonore. Les téléphones sont mis en réseau, synchronisés et situés spatialement. Cette toile virtuelle, invisible et mouvante « *superpose un espace numérique à l'espace tangible.* »<sup>23</sup> Des logiciels permettent de les utiliser comme un grand ensemble de haut-parleurs par lesquels on vient projeter la musique. Des jeux de rebond, d'interaction entre les haut-parleurs et les auditeurs-acteurs sont alors possibles.

Ces différentes approches montrent la diversité des procédés de mise en espace possible. Lors de la conception de mon outil (qui fera l'objet de la troisième partie de ce mémoire), je choisis d'utiliser les technologies ambisoniques. Elles font partie des technologies de simulation spatiale - car elle re-créeent un front d'onde acoustique réaliste et permettent le mixage objet. De plus, elles permettent un accès aisé à l'écoute d'une version binaurale qui s'avère intéressante en situation de composition (où l'on a pas toujours accès à un nombre élevé de haut-parleurs).

## **2.C Ecriture & créations d'espaces**

### **2.C.1 Edition de trajectoire**

Je relève ici différents éditeurs de trajectoires spatiales qui permettent des mises en relations de plusieurs paramètres musicaux.

#### **Iannix**

Iannix est un séquenceur graphique *open source* temps-réel. Il permet d'associer des événements à des trajectoires dans un espace visuel tridimensionnel et multi-temporel. On construit une partition à l'aide de trois éléments: les courbes (trajectoires spatiales), les événements ponctuels (*triggers*) et les curseurs temporels (têtes de lecture, qui peuvent être multiples et simultanées).

Très ouvert, le logiciel peut s'adapter à de très nombreuses applications audiovisuelles. En termes de spatialisation sonore, il permet notamment de contrôler des trajectoires spatiales et de les associer à des événements musicaux multi-temporels. Un système de script permet de créer des constructions géométriques complexes à l'aide d'outils mathématiques. La communication avec d'autres logiciels s'effectue via les protocoles MIDI et OSC (une description des protocoles se trouve en annexe 1).

#### **GMEM Holophon**

Holophon est un ensemble d'outils édités par le GMEM (Groupe de Musique Expérimentale de Marseille). Il permet la programmation et la manipulation en temps réel

---

<sup>23</sup> <https://www.ircam.fr/project/detail/cosima/>, mai 2017

de trajectoires spatiales du son. Il contient notamment l'outil HoloEdit qui permet de dessiner graphiquement ou d'automatiser des trajectoires. Il supporte les protocoles SpatDIF et OSC qui permettent le stockage et l'échange des données spatiales avec d'autres logiciels.

### **ZKM Zirkonium**

Le logiciel Zirkonium est développé par le ZKM (*Center for Art and Media in Karlsruhe*) et est destiné au contrôle du klangdome, l'ensemble de haut-parleurs de l'Institut. Il permet l'édition de trajectoires spatiales sur un dispositif en deux ou trois dimensions. Une de ses caractéristiques innovantes réside dans son interface qui permet l'écriture de trajectoires spatiales en relation avec le temps. La visualisation des formes d'onde permet une écriture fine des mouvements en relation avec l'enveloppe dynamique des sons.

Des trajectoires peuvent aussi être créées à l'aide d'outils mathématiques. Il peut communiquer en OSC.

Dans la conception de mon outil de mise en espace j'utilise des techniques qui permettent l'utilisation d'un éditeur de trajectoires. J'utilise notamment le protocole OSC qui me permet la communication d'informations de positions entre une interface et un encodeur spatial.

### **2.C.2. Processus technique de création de morphologies sonores**

Aux côtés des recherches théoriques et technologiques sur les systèmes de restitution sonore, les compositeurs ont aussi mis en place de nouveaux outils de traitements sonores spatiaux. On peut définir plusieurs types de traitements de l'espace :

- Traitements granulaires. On prélève des fragments d'un signal audio qu'on répartit dans l'espace. (Outils : GRM Tools SpaceGrain, MAX CICM HOALib, MAX HOA ICST...).
- Traitements spectraux (spatialisation timbrale). On prélève plusieurs régions du spectre d'un signal audio qu'on répartit ensuite dans l'espace. (Outils : GRM Tools SpaceFilter...).
- Traitements par décorrélation micro-temporelles. On applique des effets de retard et de phase différents à plusieurs canaux audio répartis dans l'espace. (Outils : MAX CICM HOALib).

Dans la création de mon outil ambisonique de mise en espace et de création de morphologies spatiales il me semblait essentiel d'avoir accès à ces différentes méthodes. Ainsi, comme nous le verrons par la suite, il est construit en plusieurs sections afin d'avoir la possibilité d'intégrer des traitements existants et non-propres à l'ambisonie.

### **3. Ambisonie, apports créatifs & outil personnel.**

Dans ce mémoire je décide de m'intéresser à des processus de composition qui permettent de fixer les paramètres spatiaux en studio, dans une démarche concrète, au même titre que le reste des paramètres musicaux. Parmi eux, on note plusieurs degrés de sophistication et de détail dans la restitution d'une scène sonore. Certaines techniques permettent un accès à la verticalité, à plusieurs degrés de profondeur, d'immersion, ou encore à d'autres types de traitements sonores. Aussi, l'utilisation d'un dispositif ou d'une technologie particulière implique de se poser la question de la reproductibilité de

l'expérience d'écoute, et le souci d'avoir accès un format relativement flexible de ce point de vue m'importe. C'est en prenant en considération ces différents paramètres que j'ai choisi de m'intéresser aux techniques ambisoniques d'ordres élevés ou encore en anglais HOA (*High Order Ambisonic*).

Cette technologie ouvre la porte à de nouveaux types de traitements et l'accès à de nouveaux paramètres spatiaux (création de champ diffus, manipulation de champ sonore, etc..). Elle permet l'utilisation de dispositifs en trois dimensions, en intégrant la verticalité. Elle est relativement standard et utilise un format flexible offrant la possibilité de s'adapter et de retrouver les sensations voulues aux différents concerts. De plus c'est une technologie qui fait l'objet d'un certain nombre de recherches de la part d'institutions de renommée internationale; elle évolue et se démocratise rapidement. Il me semblait intéressant de m'y pencher du point de vue du compositeur, en y expérimentant les spécificités en termes de création sonore et d'écriture musicale.

### **3.1 Ambisonie - apports créatifs**

#### **3.1.1 Introduction à l'ambisonie**

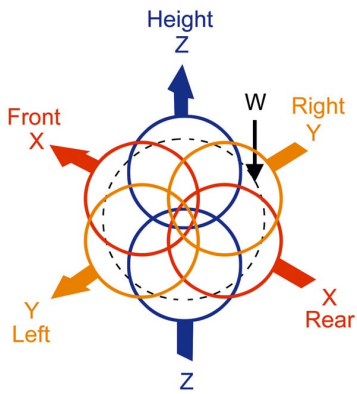
Le procédé ambisonique date des années 1970 et sa découverte est principalement attribué au chercheur anglais Michael Gerzon. Le format permet alors de représenter une scène sonore de 360° à l'aide de quatre canaux audio. Dans les années 1990 la technologie évolue et on commence à parler de HOA (*High Order Ambisonic*) soit l'usage d'ordre élevé et donc d'un nombre de canaux de captation et de restitution plus important. La précision spatiale augmente alors. De plus, la technologie ambisonique jouit aujourd'hui d'un nouvel essor grâce à la démocratisation des outils informatiques et à l'apparition de nouveaux médias comme la réalité virtuelle.

La théorie ambisonique décrit une scène sonore dans son ensemble et utilise un ensemble de haut-parleurs pour sa reproduction. Elle se distingue donc des systèmes multiphoniques où les canaux sont indépendants. On parle d'une technologie dite « *scene based* », où c'est un champ sonore qui est reproduit grâce à un réseau de haut-parleurs. A contrario, la multiphonie classique est dite « *channel based* » ou encore « *speaker based* » et fait directement correspondre chaque canal à un haut parleur dédié.

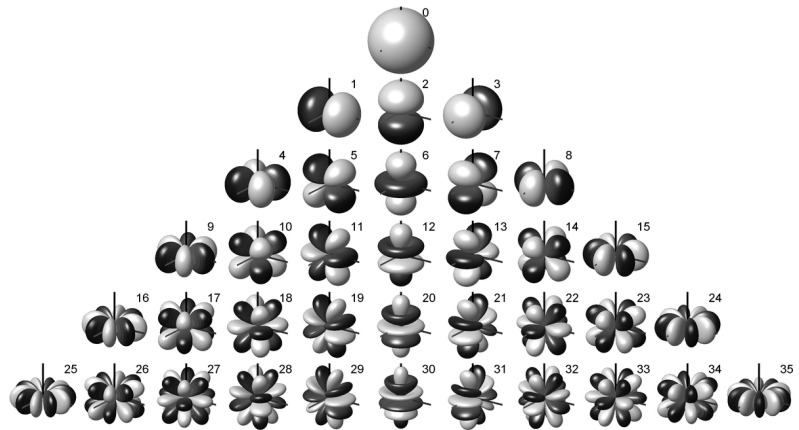
L'ambisonie est basée sur une représentation physique du champ sonore dans un domaine dit aux harmoniques sphériques, un ensemble de fonctions mathématiques. Le champ sonore est décomposé en une somme pondérée de fonctions spatiales. « *Le procédé Ambisonic échantillonne le champ acoustique d'une source de telle sorte que la combinaison des signaux produits par l'ensemble d'un réseau de haut-parleurs reproduise un champ acoustique identique à l'original. (...) Plus le nombre de haut-parleurs augmente, meilleure sera la précision de la reconstruction.* »<sup>24</sup> On appelle ordre ambisonique le nombre d'harmoniques sphériques utilisé pour la simulation du champ sonore. Son augmentation permet d'accroître la taille du *sweet-spot* ainsi que la « résolution spatiale », soit la précision en termes de localisation angulaire des sources. La montée en ordre implique une augmentation du nombre de canaux de restitution.

---

<sup>24</sup> Stanley Lipshitz, <http://www.ambisonic.net/>, le 03/10/05, trad. de MERLIER Bertrand.



*Ambisonie de 1er ordre. 4 canaux WXYZ.*



*Nombre et dispositions des harmoniques sphériques lors de la montée en ordre ambisonique.*

### **3.1.2 Ambisonie - Paramètres techniques & créatifs**

Au sein de ce mémoire j'ai choisi d'utiliser la bibliothèque HOAlib développée au CICM (Centre de recherche Informatique et Création Musicale). Cette bibliothèque d'outils disponible pour plusieurs logiciels (MAX, PureData, Faust...) offre un certain nombre d'outils développés dans l'optique de la création musicale. Dans cette partie je décrirai ainsi des spécificités liées à la théorie ambisonique même ainsi que des outils plus spécifiques propres à la librairie HOAlib.

#### **Manipulations spatiales de la scène sonore**

En ambisonie toute la scène sonore est décrite par une somme de fonctions mathématiques. Il est ainsi aisé de réaliser certains types de manipulations sur l'ensemble de la scène sonore, comme par exemple des rotations, des inclinaisons, des effets de miroirs (une partie de la scène sonore est dupliquée à son opposé), etc...

#### **Résolution angulaire variable**

Il est possible de faire varier la résolution angulaire d'une source sonore. Théoriquement il s'agit de retrouver les sensations ressenties lors d'une diminution de l'ordre des harmoniques sphériques. On vient pondérer la participation des ordres supérieurs dans une optique « *lo-fi* ». L'effet peut être utilisé afin de créer un « effet de flou » : en jouant sur la masse spatiale, on change la sensation de précision de localisation de la source.

C'est aussi un procédé qui peut être utilisé pour la création d'une sensation de rapprochement et d'éloignement. Dans la librairie HOAlib, dès qu'une source sonore entre dans l'espace virtuel du dispositif de haut-parleurs, une diminution de la résolution spatiale va s'opérer. La source va donc se diffuser sur l'ensemble des haut-parleurs : elle devient omnidirectionnelle, comme si l'auditeur entrait dans le son.

#### **Création de morphologies spatiales**

La librairie HOAlib du CICM possède la particularité de concevoir des modules destinés à la création d'espaces dans une démarche de création musicale. En ce sens ils ont pris comme parti la possibilité d'insérer des traitements connus (granulations, retard, gain, modulation de fréquence, *frequency-shifter*, etc...) dans les calculs de spatialisation. Les traitements sont appliqués indépendamment à chaque harmonique sphérique. C'est

un détournement de l'outil théorique: on ne cherche plus à créer un champ sonore acoustiquement cohérent mais à créer des « morphologies spatiales ».

On peut ainsi modifier la masse spatiale d'un son en créant un champ diffus. Du point de vue perceptif, un champ diffus peut se définir comme l'impossibilité pour l'auditeur de déterminer avec précision un nombre de sources sonores présentes dans l'espace. Il existe plusieurs approches pour la création de champs sonores diffus, le but étant de créer des signaux décorrélés et de les répartir dans l'espace. Pour cela la librairie HOAlib utilise principalement des outils de granulation.

### **Accès à la composition en 3 dimensions**

La technologie ambisonique permet un accès aisé à la diffusion du son en trois dimensions. D'un cercle de haut-parleurs positionné autour du public, on passe à une configuration en demi-sphère ou à une sphère complète.

### **Scène sonore homogène / Isotropisme**

On constate que les sources semblent se détacher du haut-parleur, les images sonores peuvent apparaître n'importe où et on perçoit moins de « trous sonores » entre les haut-parleurs. On parle d'un système homogène, avec une scène sonore cohérente dans son ensemble. Le dispositif ouvre la possibilité de s'éloigner de la pratique courante d'une scène sonore frontale. Ici, on peut imaginer des créations sonores ne pré-définissant pas d'axe d'écoute unique.

### **Réalisme acoustique**

La technologie HOA recrée un front d'onde acoustique qui simule la position d'une source réelle. Tous les haut-parleurs vont participer à faire croire à l'auditeur que la source sonore se trouve au point donné. Un des qualificatifs souvent rencontré lors de compte rendu d'écoute est celui d'un rendu plus « réaliste ». Les sons semblent se « détacher » du haut-parleur.

### **Adaptation d'échelle**

La technologie HOA a aussi l'avantage de pouvoir s'adapter à différentes configurations du dispositif de diffusion. Tout d'abord le nombre de canaux de sorties, correspondant au nombre de haut-parleurs, n'est pris en compte qu'au moment du décodage. Ainsi, on peut composer une pièce dans un ordre HOA très élevé et la convertir vers un nombre plus réduit de canaux au moment du concert.

Il existe également différents types d'algorithmes d'optimisations ayant pour but d'adapter la zone d'écoute à un auditoire imparfaitement positionné. Par exemple on peut diminuer la participation des haut-parleurs diamétralement opposés à la position virtuelle de la source. Ce type d'optimisation permet d'améliorer le rendu sonore pour les auditeurs trop excentrés mais entraîne souvent une perte de précision spatiale angulaire.

De même, on peut adapter le décodage à des systèmes de diffusion imparfaits. Il est possible de prendre en compte les angles avec lesquels sont disposés les haut-parleurs. Un cercle dont les haut-parleurs sont irrégulièrement répartis, comme un dispositif 5.1, peut ainsi recréer une scène sonore cohérente.

Au CICM de Paris 8, où l'on développe les outils de spatialisation HOAlib, on parle ainsi d'oeuvre « matrice » à partir de laquelle on peut créer différentes « instances », adaptées à des dispositifs d'écoute diverses (3D, 2D, ordres HOA différents, irrégulier, binaural). Cela peut poser certaines questions, comme la façon de répartir les sources situées en hauteur lors d'un passage en 2D.

## Filtrage spatial

Des effets de filtrages spatiaux sont possibles. D'une scène sonore on peut choisir de n'écouter que les sons provenant d'une direction. Cet effet est notamment intéressant lorsqu'il est utilisé à partir d'une prise de son ambisonique. Alors, on peut découvrir un espace par l'ouverture de « fenêtres » et y déceler des éléments jusqu'alors brouillés dans l'ensemble.

## Codage de la distance / Near-Field Compensation (HOA-NFC)

Le chercheur Jérôme Daniel propose le nouveau format ambisonique HOA-NFC.<sup>25</sup> Ce format permet en théorie de créer des sources sonores à l'intérieur et à l'extérieur du dispositif HOA. Les sources sonores ne sont plus disposées sur la surface du cercle/demi-sphère/sphère HOA mais au sein de l'auditoire ou au lointain. Pour cela on réalise une série de filtrages dépendants de la distance et de l'ordre de décomposition ambisonique. Les technologies HOA-NFC sont pour le moment peu utilisées du fait de plusieurs problèmes posés par la théorie actuelle. Tout d'abord, c'est un traitement très lourd en termes de calculs, et ce particulièrement en ce qui concerne les sources en mouvement. Ensuite, l'emploi de la technique HOA-NFC oblige à préciser la longueur du rayon du dispositif dans l'encodeur et le décodeur, ce qui fait perdre alors en flexibilité. Cependant, des techniques d'adaptation de la distance des haut-parleurs existent.<sup>26</sup>

Néanmoins, de nouvelles techniques apparaissent et on peut d'ores et déjà utiliser cette technique avec parcimonie. Natasha Barrett note que des petites incursions de sources focalisées au sein du dispositif permettent déjà de créer une sensation de proximité intime.<sup>27</sup> Quant à la question de la consommation de ressources processeur, il est tout à fait possible, dans le cadre de la musique acousmatique, de fixer par l'enregistrement des déplacements individuels.

Cette technologie me semble être un formidable outil de création. Elle permet d'atteindre une sensation d'intimité, de proximité avec l'auditoire. On peut par exemple imaginer, à terme, des sources sonores se déplaçant au sein du public ou encore des sources sonores virtuellement hors de l'espace du concert.

## Economie de données

La technologie ambisonique est capable d'encoder une scène sonore entière sur relativement peu de canaux. Bien que la précision soit a priori insuffisante pour des applications musicales, il est tout de même remarquable qu'une sphère sonore 3D sur 360° soit encodée sur seulement quatre canaux. Ceci explique notamment son utilisation pour des applications web (réalité virtuelle et cinéma 360°) de par l'économie en termes de bande passante.

## Prise de son

La technologie ambisonique est aussi adaptée à la prise de son. Les microphones HOA prennent la forme de plusieurs capsules disposées en sphère. Du premier ordre 3D à quatre capsules cardioïdes on peut aller jusqu'à trente-deux capsules cardioïdes (4ème ordre 3D) avec le microphone Eigenmike de mhacoustic.

---

<sup>25</sup> Daniel, Jerome, « *Spatial Sound Encoding Including Near Field Effect: Introducing Distance Coding Filters and a Viable, New Ambisonic Format* », AES 23rd International Conference, Copenhagen, Denmark, 2003 May 23-25.

<sup>26</sup> Barrett Natasha, « *The perception, evaluation and creative application of high order ambisonics in contemporary music practice* », IRCAM Composer in Research Report, 2012.

<sup>27</sup> *ibid.*

Ce type de prise de son réalise une capture en trois dimensions de la scène sonore dans un format extrêmement flexible. Les opérations de filtrages spatiaux, atténuation, amplification de certaines directions, rotation, etc.. peuvent être réalisées simplement.

L'enregistrement de réponses impulsionnelles avec des technologies ambisoniques permet aussi de réaliser des empreintes spatiales de lieux réels en 3D et à 360°.

Dans le cadre de prises de son de musique classique, celle ambisonique permet de capturer la réponse de la salle en capturant le champ réverbéré provenant de l'arrière (dans le cas d'un orchestre frontal).

### **Sweet Spot**

La théorie de synthèse ambisonique cherche à créer un front d'onde acoustique cohérent pour un point situé au centre du dispositif de restitution sonore. Cependant, il est démontré que l'augmentation en ordre HOA permet d'élargir la zone d'écoute. De plus, des optimisations existent afin d'agrandir la zone d'écoute, notamment par la non-utilisation de signaux en opposition de phase (optimisation *in-phase*). En contrepartie la résolution spatiale est moindre. Néanmoins, les résultats sont jugés satisfaisants et des études sont en cours pour juger de la pertinence d'un tel dispositif pour un auditoire de plusieurs centaines ou milliers de personnes.<sup>28</sup>

### **Défauts :**

#### **Dispositif de diffusion exigeant**

Le procédé ambisonique nécessite un dispositif de diffusion où l'ensemble des haut-parleurs sont équidistants au centre du cercle ou de la sphère et où ils doivent aussi tous être dirigés vers le centre. Bien que des optimisations existent, ou que des adaptations en terme de retards ou de gestion de la directivité des haut-parleurs soient possibles, c'est un système relativement rigoureux et complexe comparativement à d'autres techniques de spatialisation.

#### **Auditoire statique**

Les dispositifs ambisoniques ne sont a priori pas adaptés à un auditoire mouvant. En effet, les signaux proviennent d'un grand nombre de haut-parleurs tout en étant très fortement corrélés. Lors du déplacement de l'auditeur, des effets de filtrage en peigne (*phasing*) peuvent alors apparaître.

#### **Influence de la salle**

Le procédé est donné pour une reproduction en champ libre, sans influence de la salle. Un environnement absorbant avec un faible temps de réverbération est donc préférable. Néanmoins, il existe des techniques (pour l'instant complexes) de suppression des effets de salles, via notamment une empreinte spatiale.<sup>29</sup>

---

<sup>28</sup> Nettingsmeier Jörn & Dohrmann David, « *Preliminary studies on large-scale higher-order ambisonic sound reinforcement systems*, ambisonics symposium », 2011.

<sup>29</sup> Hollerweger Florian, « *An Introduction to Higher Order Ambisonic* », 2008.



Synesthésium, dispositif HOA mobile (ordre 3 en 3 dimensions).  
Auteurs : Maxence Mercier, Léonore Mercier & Arthur H.

### **3.B Conception d'un outil de mise en espace & de création de morphologies sonores**

#### **3.B.1 Architecture de l'outil**

J'ai élaboré cet outil sous forme de trois sections :

- La première est appelée « sources ponctuelles » et est destinée au positionnement de sources dans l'espace. Elle permet l'exécution de figures spatiales de façon complètement intégrée au processus de composition. Elle utilise l'ambisonie d'une façon « conventionnelle » en positionnant jusqu'à vingt sources simultanées.
- La seconde est appelée « octophonie virtuelle ». Elle prend la forme de huit canaux positionnés de façon définitive dans l'espace. Les huit sources sont à la position virtuelle des hauts-parleurs, réels, d'une octophonie classique. Cela permet d'utiliser des outils destinés à la multiphonie simplement, les canaux de ces outils étant directement dirigés à la bonne position.
- La troisième est appelée « sources expérimentales ». Elle est destinée à être utilisée comme un instrument de création d'espaces en utilisant des traitements propres à l'ambisonie. Les sources sont dirigées vers des traitements intégrés dans MAX. La résultante retourne dans Live afin d'être enregistrée et composée. C'est donc une partie à priori destinée à la réalisation de séquences jeu en variant des paramètres de création d'espaces.

Lors de l'élaboration de cet outil, il m'est apparu qu'il devait répondre à certaines exigences. Tout d'abord il doit être transparent et se fondre dans un processus de composition existant. Ainsi, hormis la partie « sources expérimentales », les traitements se font en arrière-plan et le logiciel de spatialisation n'a pas besoin d'être visible. On a accès à un panner classique, automatisable et simple. Ensuite, il doit être, dans une certaine



mesure, pérenne. Son architecture doit pouvoir être classique et réutilisable. Que ce soit dans un objectif de partage ou bien tout simplement pour retrouver l'accès à tous les paramètres de spatialisation lors de la réouverture du projet. Cet objectif est atteint, hormis pour la partie des sources expérimentales, non automatisables actuellement et possédant des traitements plus « exotiques ». Enfin, l'outil se devait d'être ouvert à l'expérimentation des nouveaux traitements permis par la technologie ambisonique. C'est la partie « sources expérimentales » qui répond à cette exigence en mettant à disposition des traitements uniques et novateurs.

J'ai choisi d'utiliser le séquenceur Ableton Live qui est mon outil habituel de composition sonore. Il me permet d'intégrer la dimension spatiale à mon processus de création d'éléments sonores. Bien que cet outil ne soit a priori pas le plus souple ni le plus ouvert quant aux questions de spatialisation (il n'existe que des pistes stéréo, pas de bus ni de sortie multicanal), il s'avère qu'il possède tout de même une ouverture non négligeable vers l'expérimentation de ces formats grâce à MAX for Live. Cela permet d'accéder à l'environnement de programmation MAX au sein du séquenceur.

### **3.B.2 Architecture de l'outil - technique**

Des éléments de compréhension des outils techniques utilisés ici sont donnés dans l'annexe 1. Un schéma de l'architecture de l'outil et ses trois parties est visible en annexe 2.

#### **Ableton Live :**

Gère les aspects de création sonore, le montage et le mixage. Muni d'un panner MAXforLive, il gère l'envoi et les automatisations des informations spatiales sous forme d'OSC.

#### **Soundflower / Jack OSX :**

Gère les envois de flux audio entre Ableton Live et MAX.

#### **RME Totalmix :**

Le Totalmix est utilisé comme un équivalent de JackOSX ou Soundflower. Il envoie un flux audio de MAX vers Live. (Max n'utilise plus ainsi, comme sortie audio, que celle de la carte son. Un routing alternatif serait possible en créant un périphérique agrégé dans Mac OS).

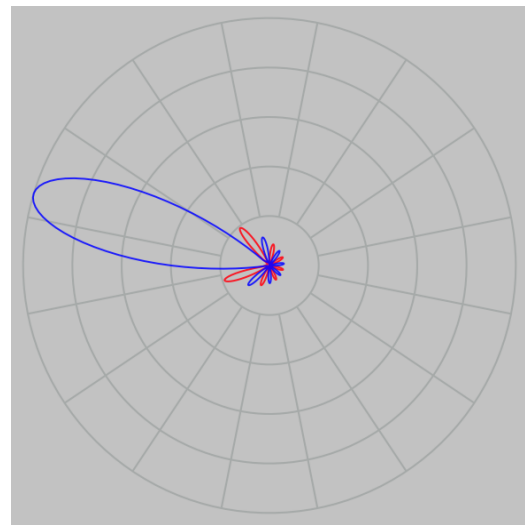
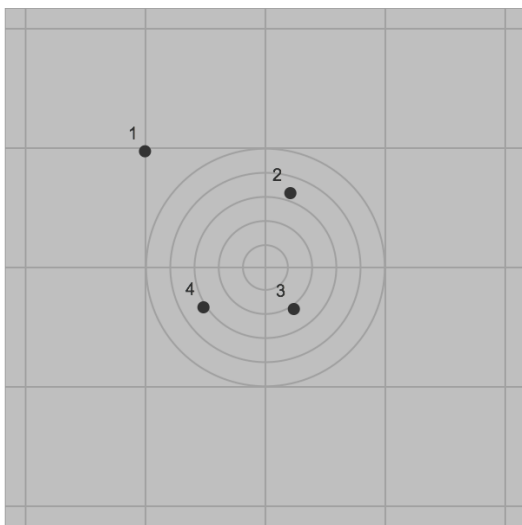
#### **MAX :**

Reçoit les informations spatiales OSC et spatialise les sons dans le domaine ambisonique. Il permet d'encoder vingt sources en mouvement dans l'espace - les sources ponctuelles - ainsi que les huit canaux de l'octophonie virtuelle. Il comporte également la partie des traitements expérimentaux ambisoniques.

Il comporte aussi la partie optimisation et décodage de l'ambisonique vers X canaux audio en sortie de carte son.



Modules MAXforLive, envoi d'information OSC & Panner 2D.



Modules MAX CICM HOAlib, objet `hoa.2d.map~` (positionnement de 4 sources) & objet `hoa.2d.scope~` (visualisation des harmoniques d'un champ sonore ambisonique).

### 3.B.3 Flexibilité & Ouverture

Cette architecture offre une grande latitude d'adaptation. Même une fois la pièce musicale terminée, les informations de placement des panners étant envoyée sous forme d'OSC, on peut imaginer changer facilement d'encodeur spatial. À terme, j'aimerais par exemple utiliser la librairie MAX spat de l'IRCAM afin de gérer la spatialisation des sources ponctuelles. En effet, elle offre des réglages supplémentaires, en termes d'optimisations, de réverbérations, de traitements classiques (EQ, Compression dynamique, etc) et permet l'HOA-NFC. Quelques ajustements pourraient néanmoins être nécessaires (ordre des canaux ambisoniques, *channel-weighting*, sens de rotation horaire/antihoraire, échelle, etc...

On peut même imaginer aller plus loin et utiliser ces informations de placement pour contrôler d'autres technologies comme le Wave Performer de Sonic Emotion, un encodeur WFS.

L'utilisation de l'OSC permet également une souplesse dans le choix et la création d'interfaces de contrôle. Il est aisé de faire des conversions de langage LEAP (une interface de contrôle) vers OSC, et des logiciels comme Iannix ou HoloEdit peuvent aussi être utilisés.

On peut noter que lors de la rédaction de ce mémoire de multiples présentations de logiciels ont eu lieu, validant certains de mes choix. Par exemple, le Flux-IRCAM Spat Révolution peut utiliser un fonctionnement de type *panner/samplegrabber* couplé à une partie *standalone* qui gère la spatialisation. L'IRCAM panoramix est aussi un outil *standalone* utilisant JackOsx ou Soundflower pour la transmission des canaux audio. Envelop4max est apparu : il est basé lui aussi sur la librairie HOAlib, il utilise MAX4Live pour envoyer des informations spatiales en OSC et MAX comme encodeur-décodeur ambisonique.

## **Conclusion**

Sur le plan musical, ces différentes recherches sur l'écriture de l'espace m'auront inspiré lors de la composition de « *Paréidolie* », créé début 2017. Dans cette pièce, composée en stéréophonie, je me suis notamment intéressé à la notion d'enveloppement et d'immersion.

J'avais comme volonté initiale d'activer un certain type d'écoute chez l'auditeur : j'avais envie de créer une "écoute curieuse", active, où l'auditeur navigue entre les sons. Je voulais que l'attention de l'auditeur soit stimulée d'une façon douce en toute liberté. Pour cela, les sons sont peu « hiérarchisés », les « parcours d'écoute » sont multiples, les paysages sonores demandent à être apprivoisés, fouillés, découverts, et ce de diverses manières possibles. En somme, il n'y a pas un unique fil conducteur de l'écoute, les choix ne sont pas dictés, ils sont à faire.

L'utilisation de la dimension spatiale s'est avérée pertinente. D'une part, les déplacements sonores des sources permettent de nourrir l'attention et de rendre l'auditeur curieux. Ils mettent en évidence quelques moments fugaces pendant lesquels les formes émergent, se laissent entendre puis disparaissent pour laisser place à d'autres. Ensuite, je voulais créer un magma sonore bouillonnant. Un milieu plein, opaque dans son ensemble mais riche dans sa densité. Les environnements sonores sont faits d'une multitude de détails agencés en strates. L'utilisation de l'espace permet d'augmenter la facilité de discrimination des sources sonores. Les sons émergent de la globalité - le magma - pour devenir détails. Localisés, mouvants, ils se déploient dans des espaces multiples.

Composée en stéréophonie, cette pièce a ensuite été pensée pour un dispositif-instrument acousmonium. J'ai d'abord pensé que ce dispositif serait adapté à ce que je voulais faire. C'est un dispositif qui, de part son implémentation tout autour de l'auditeur, me semblait permettre la sensation d'immersion que je recherchais. Cependant, il s'est avéré que l'utilisation d'un grand nombre de haut-parleurs ait tendance à brouiller la scène sonore. Les localisations deviennent moins marquées, les déplacements sont moins précis, les espaces virtuels sont moins perceptibles. Le sentiment d'immersion est possible mais les environnements sonores perdent alors en intelligibilité. Le travail de strates, jusqu'alors riches et denses, tend alors à s'estomper pour former un magma sonore dont on ne peut plus extraire auditivement les éléments qui le constituent. J'ai donc été confronté à une perte de cette posture « d'écoute curieuse ».

Aujourd'hui je profite des qualités de la multiphonie sur les plans perceptifs. Je travaille notamment la notion de polyphonie spatiale, en créant des environnements plus riches, avec davantage de strates. Aussi, en jouant sur la simultanéité de différents types de comportements spatiaux. Je peux obtenir des déplacements nets, vifs et précis en contrepoint avec des masses sonores plus étendues et stables. Je peux créer des jeux de

contraste entre des éléments immersifs et des éléments plus distincts et localisables. J'ai également envie de profiter des spécificités de l'ambisonie en termes de manipulation de la scène sonore. Par exemple en jouant sur des effets de masses mouvantes qui deviennent sommes de sources précises. On peut aussi imaginer des effets de "respiration" où les masses se regroupent, se résorbent, puis se développent, s'étirent.

Dans ma pièce actuellement en cours de composition, je m'intéresse à des outils de traitements spectraux. J'ai la volonté de profiter de l'ouverture permise par la librairie HOAlib pour intégrer ces traitements dans l'encodage ambisonique afin d'expérimenter ce processus d'une nouvelle façon. J'expérimente les possibilités de la librairie HOAlib en termes de création de champs diffus à partir d'une source ponctuelle (mono). J'ai envie de créer des lignes, des continuités simples qui pourraient subir des phénomènes d'éclatement spatial par moments. Aussi, je compte expérimenter les algorithmes HOA-NFC afin de créer des sources focalisées. Les contrastes entre ces différentes formes m'intéressent et la possibilité pour un même matériau sonore de passer de l'état de source ponctuelle et de champ diffus à celle de source focalisée, sans coupure, m'intéresse aussi.

Aborder la dimension spatiale comme musicalement composable m'aura énormément apporté sur les plans musicaux et personnels. Une nouvelle voie compositionnelle s'ouvre dans ma pratique et elle s'annonce riche en expérimentations. De plus, les outils et les pratiques de spatialisation sont actuellement en pleines mutations, des innovations apparaissent, s'appriivoisent et renouvellent l'approche musicale de l'espace. Inspirant sur les plans techniques et théoriques, la dimension spatiale nourrit ma pratique de composition et m'enthousiasme quant aux possibilités qui restent à explorer.

## **Annexe 1 : Outils techniques - éléments de compréhension**

### **Protocole OSC**

L'OSC (*Open Sound Control*) est un protocole de communication réseau temps réel dédié au sonore. Il est constitué d'un canal sous forme d'adresse IP qui envoie des informations. C'est un protocole ouvert, commun à un grand nombre de logiciels (IRCAM Spat, IRCAM Panoramix, Sonic Emotion Wave I, IanniX, Cycling '74 MAX, PureData, Cockos Reaper, Super Collider...).

### **Protocole MIDI**

Le MIDI (*Musical Instrument Digital Interface*) est un protocole de communication ainsi qu'un format de fichier. Il permet la transmission numérique de messages de commande entre divers matériels électroniques, logiciels, contrôleurs...

### **SpatDIF**

Le SpatDIF (*Spatial Sound Description Interchange Format*) est un format dédié à la description, au stockage et à l'échange d'informations spatiales du sonore. Il se pose en standard et vise à éviter les incompatibilités entre les différents logiciels de mise en espace.

### **Cycling '74 MAX**

MAX est un logiciel de programmation orienté objet. Temps réel, il permet de réaliser un grand nombre d'outils de création sonore, visuelle et interactive. Il peut être augmenté grâce à l'utilisation de bibliothèques développées par d'autres organismes.

### **Ableton Live :**

Ableton Live est un séquenceur audio. Dans sa version Suite il intègre l'outil MAXforLive qui permet l'utilisation de l'environnement de développement MAX en son sein.

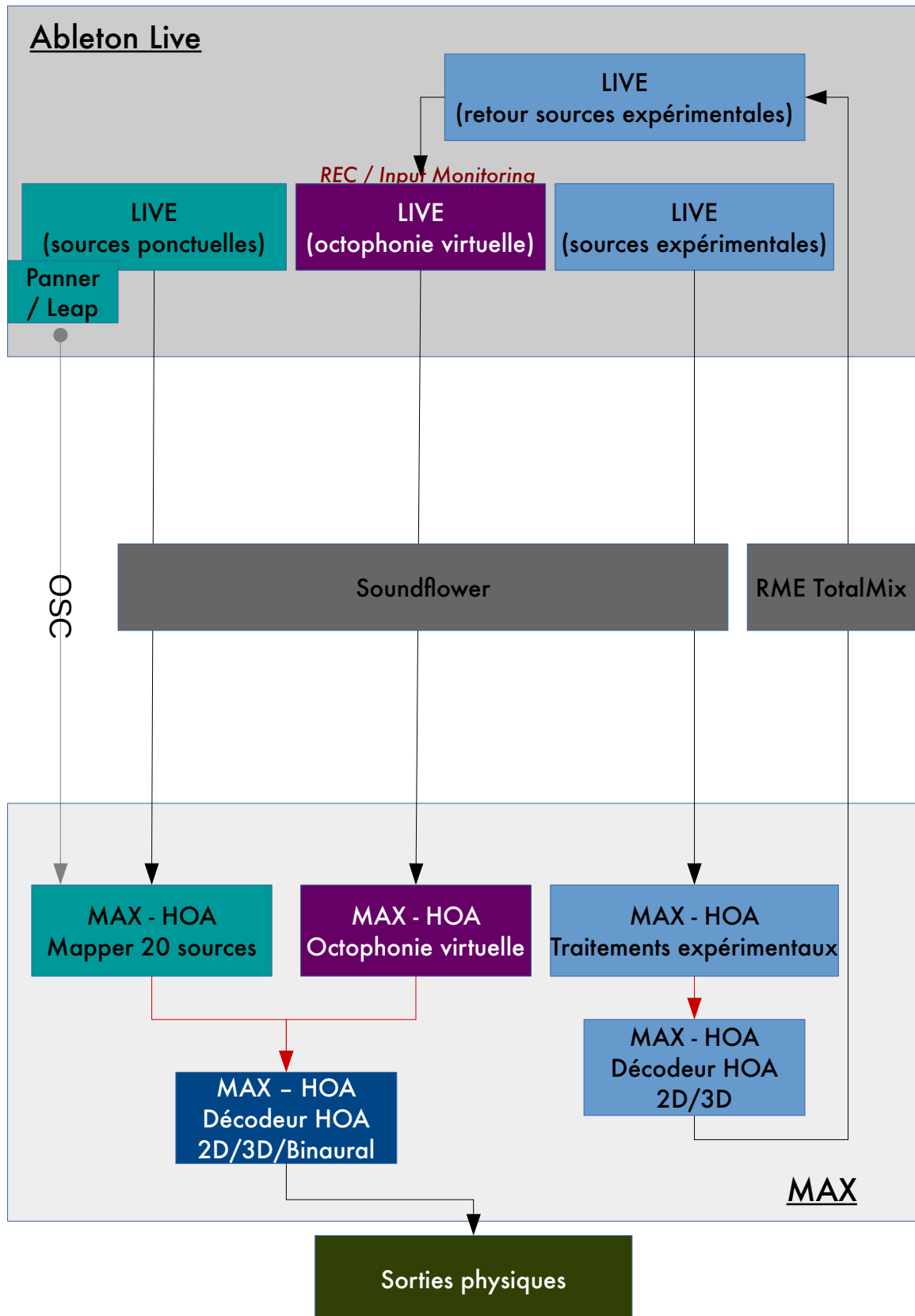
### **Soundflower / Jackaudio OSX**

Soundflower et Jack audio sont des outils de routing de canaux audio virtuels.

### **RME Totalmix :**

Totalmix est un outil de routing audio virtuel lié aux cartes audio de l'entreprise RME.

## Annexe 2 : Schéma de l'architecture de l'outil



## **Bibliographie**

- Barett Natasha, « *The perception, evaluation and creative application of high order ambisonics in contemporary music practice* », Ircam Composer in Research Report, 2012.
- Baskind Alexis, Lyzwa Jean-Marc, Meunier Xavier « *Utilisation de techniques binaurales et transaurales en production multicanal 5.1* », IRCAM, CNSMDP, ENSLL, 2004.
- Carpentier Thibaut, Noisternig Markus, Warusfel Olivier, « *Twenty Years of Ircam Spat: Looking Back, Looking Forward* », CEMI, University of North Texas, ICMC 2015, 2015.
- Di Scipio Agostino, « *The composition of INSTALL QRTT. An eco-system view of music composing* », inédit, 1999.
- François Nicolas, « *Les enjeux du concert de musique contemporaine* », Bayle François dans « *Entretien de Makis Solomos* », (éd.), Paris, Cdmc-Entretemps, 1997, p24.
- Hollerweger Florian, « *An Introduction to Higher Order Ambisonic* », 2008.
- Merleau-Ponty, Maurice, « *Phénoménologie de la perception* », in Œuvres, Édition établie et préfacée par C. Lefort, Paris, Gallimard, 2012/1945.
- Merlier Bertrand, « *Vocabulaire de la perception de l'espace dans les musiques électroacoustiques composées ou spatialisées en pentaphonie* », Article présenté au colloque EMS08 (Electronic Music Studies) en juin 2008.
- Nettingsmeier Jörn & Dohrmann David, « *Preliminary studies on large-scale higher-order ambisonic sound reinforcement systems* », ambisonics symposium, 2011.
- Périaux Bergame, Ohl Jean-Luc, Thévenot Patrick, « *Le Son Multicanal, De la Production à la Diffusion du Son 5.1, 3D et Binaural* », Paris, Editions Dunod, 2015
- Pinard Dominique. « *L'espace sonore à la croisée des champs culturels : enjeux et perspectives.* » Sciences Humaines Combinées [en ligne], Numéro 13 - Espace en question(s), 13 février 2014. Disponible sur Internet : <http://revuesshs.u-bourgogne.fr/lisit491/document.php?id=1206> ISSN 1961-9936
- Poissant Louise (sous la direction), Groupe de recherche en arts médiatiques (GRAM), « *Dictionnaire des arts médiatiques* », Presses de l'Université du Québec à Montréal (UQAM), 1996.
- Pottier Laurent (sous la direction), « *La spatialisation des musiques électroacoustiques* », Saint-Just-la-Pendue, Publication de l'université de Saint-Etienne, 2012.
- Sedes Anne (sous la direction), « *Espaces sonores, Actes de recherches* », CICM Editions Musicales Transatlantiques, 2003.
- Solomos Makis, « *De la musique au son. L'émergence du son dans la musique des XXe-XXIe siècles* », Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 2013.
- Vande Gorne Annette, « *L'interprétation spatiale. Essai de formalisation méthodologique.* » Revue DEMéter, décembre 2002, Université de Lille-3, disponible via [www.univ-lille3.fr/revues/demeter/interpretation/vandegorne.pdf](http://www.univ-lille3.fr/revues/demeter/interpretation/vandegorne.pdf)

## **Remerciements**

Marco Marini

Hyacinthe Leseq & Margaux Ribeaucourt

Anne Sèdes & Alain Bonardi

Géraud Bec, Baptiste Maffrand, Léo Rossi-Roth & Florent Castellani

Raphaël Mouterde & Marc Parazon