

Université de Montréal

**Méthodes de spatialisation sonore et intégration dans le  
processus de composition**

par

Raphaël Néron Baribeau

Faculté de musique

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures  
en vue de l'obtention du grade de Maître en Musique (M.Mus)  
en Composition. Option Musique de création

Juillet 2014

© Raphaël Néron Baribeau, 2014

## Résumé

L'espace est un paramètre qui est peu exploré en musique. Méconnu des compositeurs, il n'est généralement pas pensé comme paramètre musical « composable ». Pourtant si la musique peut être perçue comme une organisation et une succession d'éléments dans le temps, pourquoi ne pourrait-elle pas l'être aussi dans l'espace?

Ce travail se veut en quelque sorte un pont entre la recherche et la pratique, qui se construit par la synthèse de l'information que j'ai pu trouver sur chacune des quatre méthodes de spatialisation abordées ici. Dans un premier temps, je traiterai de leur développement, leur fonctionnement et des possibilités d'intégration de ces méthodes dans le processus de composition musicale, notamment en discutant les outils disponibles.

Dans un second temps, les pièces *Minimale Sédation* et *Fondations*, toutes deux composées en octophonie seront discutées. J'expliquerai leurs processus de composition à travers les intentions, les techniques d'écriture et les outils qui ont menés à leurs créations.

**Mots-clés** : composition, multiphonie, spatialisation, électroacoustique, acousmatique, VBAP, HRTF, ambisonie, distance

## **Abstract**

Space is a parameter that is relatively unexplored in music. Misunderstood by composers, it is not generally thought of as "composable" musical parameter. Yet if music can be seen as an organization and a succession of elements in time, why could it not also be in space?

This work is intended to somehow bridge the gap between research and practice, by synthesizing the information I could find on each of the four sound spatialization methods discussed here. As a first step, I will discuss their development, operation and integration capabilities in the process of musical composition, as well as the tools available.

In a second step, the work *Minimale Sédation* and *Foundations*, both composed in eight channels will be discussed. I will explain their process of composition through intentions, writing techniques and tools that have led to their creations.

**Keywords** : composition, spatialization, multi-channel music, electroacoustic, acousmatic, VBAP, HRTF, ambisonics

## Sommaire

<b>Résumé.....</b>	<b>i</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>ii</b>
<b>Liste des tableaux .....</b>	<b>vi</b>
<b>Liste des figures.....</b>	<b>vi</b>
<b>Remerciements .....</b>	<b>ix</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
L'espace comme paramètre de composition en musique électroacoustique .....	1
Genèse du projet.....	2
Objectifs et démarche de recherche .....	3
Intégration des outils de spatialisation au processus de composition .....	4
Concepts importants et terminologie.....	6
La localisation spatiale auditive (spatial hearing) .....	6
ITD - Différence de temps interaurale (interaural time difference) .....	6
ILD - Différence d'intensité interaurale (Interaural level difference) .....	7
Multiphonie.....	8
Captation multiphonique.....	8
Reproduction multiphonique.....	8
Synthèse multiphonique.....	8
Système binaural .....	8
Conversion transaurale .....	9
<b>Chapitre 1 - Panoramisation d'amplitude.....</b>	<b>10</b>
Définition .....	10
Loi de panoramisation .....	11
Loi des sinus et facteur de gain .....	11
Outils et intégration au processus de composition.....	13
Nombre de sorties et LFE .....	14
Positionnement des enceintes.....	15
Octogris .....	16
Sorties et entrées.....	17
Modes de déplacement groupés .....	17

Développement futur .....	18
<b>Chapitre 2 -VBAP .....</b>	<b>19</b>
Définition .....	19
Fonctionnement, version 2D .....	20
Fonctionnement, version 3D .....	21
Disposition en dôme géodésique .....	22
Implémentation de VBAP dans un outil de spatialisation .....	23
Compatibilité et intégration dans le processus de composition .....	25
Outils .....	26
Zirkonium .....	26
Reasurround .....	26
<b>Chapitre 3 - Ambisonie .....</b>	<b>28</b>
Définition .....	28
Histoire et développement .....	29
La prise de son Blumlein .....	30
Captation sphérique par extension de la prise Blumlein .....	31
Ambisonie de 1er ordre et Ambisonie d'ordre élevé (HOA).....	32
Formats .....	33
Outils et intégration dans le processus de composition.....	34
Plugiciels Ambisonic Studio .....	35
Plugiciels Wigware.....	36
Coloration et considérations esthétique .....	36
Perspectives d'avenir et développement.....	37
<b>Chapitre 4 - HRTF .....</b>	<b>38</b>
Définitions et distinctions .....	38
Calcul de la fonction HRTF .....	39
Méthodes de mesure de la HRTF .....	40
Modes de Diffusion HRTF .....	41
Système d'enceintes (conversion transaural) .....	41
Synthèse binaurale.....	42
Intégration dans le processus de composition.....	45

Développement et perspectives d'avenir .....	46
<b>Chapitre 5 –Composition des pièces <i>Minimale sédation</i> et <i>Fondations</i> .....</b>	<b>47</b>
Une brève histoire de la spatialisation en électroacoustique .....	47
Vers une immersion par l'espace .....	48
Intentions et cheminement dans la composition des pièces.....	49
Élaboration de modes d'articulations spatiales.....	49
Primauté du perceptif et de l'expérimentation .....	50
Minimale sédation .....	52
Note de programme originale .....	52
Démarche et intentions .....	52
Méthode de spatialisation .....	53
Processus de composition .....	55
Analyse des sections de la pièce .....	57
Conclusion .....	63
<i>Fondations</i> .....	65
Note de programme .....	65
Processus de composition .....	66
Matériaux et constitution d'une banque de sons .....	66
Utilisation d'échantillonneurs .....	67
Analyse des sections de la pièce .....	71
Conclusion .....	75
<b>Bibliographie .....</b>	<b>76</b>
<b>Annexe I.....</b>	<b>i</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des formats surround.....	13
Tableau 2 : Abréviations des dispositions surround.....	13

## Liste des figures

Figure 1 : disposition stéréophonique standard.....	9
Figure 2 - Instance 2X8 de Octogris.....	17
Figure 3 – Triangulation d’enceintes en VBAP.....	20
Figure 4 – Géodes Tronqués.....	21
Figure 5 – Les quatre étapes pour la répartition des bases en VBAP.....	23
Figure 6 - Instance 2x12 de ReaSurround.....	26
Figure 7 – Disposition stéréo Blumlein.....	29
Figure 8 - Extension de la prise Blumlein.....	31
Figure 9 – Comparaison des HRTF relevées chez deux sujets.....	38





*À mes parents,*

# Remerciements

En quelques mots, j'aimerais remercier ceux et celles qui m'ont aidé à me rendre où je suis aujourd'hui.

Les membres de ma famille, évidemment, qui, même s'ils n'ont jamais bien compris ce que je fais, m'ont toujours (ou presque) encouragé à le faire; Ruth, Daniel, Sophie, Sarah, Bernard, Ismaël, Saya, Matéo et tout les autres.

Mes amis(es), dont plusieurs aujourd'hui encore, me demandent « c'est quoi déjà » mon domaine; Andréane, sans qui tout ceci n'aurait pas été possible, Denise, Étienne et Geneviève, ma deuxième famille, Ghyslain, Mélissa et Léa, Emily, Stéphane, où que tu sois, et tout ceux que j'oublie.

Mes professeurs et collègues en musique, même s'ils ne comprennent pas toujours « où je veux en venir » : Robert Normandeau et Jean Piché, pour n'avoir pas abandonné mon cas, João Catalão, Simone D'Ambrosio et Ida Toninato, pour leur amitié et leur talent, Martin Millette, pour tout ce qu'il m'a appris et, plus largement, tout les artistes avec qui j'ai pu échanger, de près ou de loin, lors des nombreuses et inspirantes discussions.

# **Introduction**

## **L'espace comme paramètre de composition en musique électroacoustique**

L'espace est un paramètre qui est peu exploré en musique. Méconnu des compositeurs, il n'est généralement pas pensé comme paramètre musical « composable ». Pourtant si la musique peut être perçue comme une organisation et une succession d'éléments dans le temps, pourquoi ne pourrait-elle pas l'être aussi dans l'espace?

D'emblée, on peut admettre que pour une musique instrumentale de concert, l'utilisation de l'espace pose déjà en soi plusieurs problèmes. En outre, les contraintes physiques qu'imposent un lieu de diffusion, la taille et la disposition des instruments, les implications pour les interprètes, etc. représentent des obstacles importants à une écriture spatiale. Par exemple, on imagine difficilement le compositeur demander aux musiciens de se déplacer physiquement durant une pièce, avec leurs instruments, dans le but de créer des effets de déplacements spatiaux. En contrepartie, une musique de sons fixés peut beaucoup plus facilement se libérer de l'ensemble de ces contraintes. En concert, un orchestre de haut-parleurs peut être configuré de nombreuses façons, de manière à exploiter au maximum l'espace physique du lieu. Un tel outil permet alors non seulement une mise en espace fixe de la musique, mais aussi la création d'effets perceptifs de déplacements du son à travers l'espace, via le système de diffusion. Ceci explique probablement pourquoi, jusqu'à présent, c'est principalement par la musique électroacoustique que ce paramètre a été et continue d'être utilisé comme véritable élément expressif.

Il existe fondamentalement deux approches pour la spatialisation de pièces acousmatiques en concert. La première consiste en une interprétation spatiale en temps réel d'une pièce stéréo à travers un système de diffusion multiphonique. Dans ce cas de figure, les mouvements et l'utilisation de l'espace, hors de l'écriture stéréo originale, ne sont pas à proprement parler composés, mais ils sont plutôt interprétés, voir improvisés en temps réel par le compositeur

durant la diffusion de la pièce. Cette manière de faire est probablement aujourd'hui encore la plus commune, puisque la majorité des œuvres acousmatiques est composée en stéréo.

La seconde option est celle qui nous intéresse particulièrement. Elle consiste à inclure l'écriture de l'espace directement dans le processus de composition. Les mouvements spatiaux multiphoniques et la mise en espace des sons deviennent alors partie prenante de la composition de la pièce, et en représentent un paramètre musical complet. Le travail en stéréo inclut aussi une part d'écriture spatiale, mais ce travail se limite uniquement au plan frontal. L'ajout d'enceintes, à l'arrière, sur le côté, et/ou au-dessus de l'auditoire permet de créer un espace augmenté, et ouvre la porte à une panoplie de nouvelles possibilités.

## **Genèse du projet**

C'est durant mon parcours au baccalauréat que j'ai commencé à m'intéresser aux possibilités qu'offre le travail en multiphonie. Les pièces *L'ère de proportions* et *Exobiologie*, composées respectivement en 2007 et 2008, ont représentées pour moi une première occasion d'explorer ce langage, ayant été réalisées sur un système de diffusion quadriphonique (quatre voix).

Cette première incursion m'a rapidement permis de constater toutes les nouvelles perspectives de composition qu'offrait la multiphonie<sup>1</sup>. L'ajout d'une dimension avant-arrière à la stéréo frontale m'a instantanément interpellé car cet accès à un espace « augmenté » permet d'envisager une multitude de nouvelles possibilités musicales. Étant un compositeur qui aime travailler avec des masses sonores souvent très dense, les accumulent les unes aux autres, j'ai vite constaté que la multiphonie s'avérait approprié 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'interfère 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. Mon intérêt pour la multiphonie n'a donc

---

<sup>1</sup> Multiphonie : le fait d'utiliser un système de diffusion de plus de deux enceintes. Voir définition complète en page 7

fait que grandir et c'est pourquoi la suite logique m'a semblé être de poursuivre ma démarche en travaillant en octophonie durant ma maîtrise. Ainsi, pour la composition mes deux pièces octophoniques, j'ai constaté qu'un certain nombre d'options existait, chacune dotée de caractéristiques propres, et que des choix à ce niveau s'imposaient. De cette manière, ce qui ne devait être que brève incursion dans les méthodes de spatialisation s'est rapidement avéré être un projet de recherche complet, devenu le sujet du travail présenté ici.

## **Objectifs et démarche de recherche**

Au début de mes recherches, j'ai constaté que la documentation disponible sur les méthodes de spatialisation était assez limitée et généralement écrite de manière très théorique, de la perspective des développeurs. Ceci rend une grande partie de l'information souvent difficile d'approche pour les compositeurs. Si le travail et l'apport des développeurs est crucial pour l'avancement de ces technologies, il faut se rappeler que les outils dérivés de celles-ci se destinent ultimement à un usage par les compositeurs et les créateurs. Une littérature adaptée aux besoins des compositeurs est nécessaire, afin de leur permettre de comprendre et d'exploiter pleinement le potentiel expressif que renferment ces technologies, à travers une utilisation toujours plus créative. Les méthodes de spatialisation que je présente ici se basent sur des concepts physiques et mathématiques parfois complexes, dont la compréhension permet un usage optimisé des outils. C'est l'information nécessaire à ce processus que j'ai souhaité synthétiser ici. L'objet de ce mémoire est donc d'offrir aux lecteurs des pistes d'appropriation de ces méthodes, à la fois sur les plans techniques et pratique, pour en permettre une utilisation créative.

Ainsi, ce travail se veut en quelque sorte un pont entre la recherche et la pratique, qui se construit par la synthèse de l'information que j'ai pu trouver sur chacune des quatre méthodes de spatialisation abordées ici. Je traiterai donc de leur développement, leur fonctionnement et des possibilités d'intégration de ces méthodes dans le processus de composition musicale.

## **Intégration des outils de spatialisation au processus de composition**

Avant d'entamer la composition des pièces, il m'a fallu déterminer comment et par quels outils le travail de l'espace s'intégrerait dans mon processus de création. En composition multiphonique on peut globalement distinguer trois approches distinctes pour l'écriture spatiale, chacune comportant ses avantages et inconvénients.

Une première approche, assez répandue, est l'utilisation de logiciel modulaire ou de programmation musicale, tel Max/MSP, pour concevoir des algorithmes de spatialisation. On peut ainsi créer des processus et des règles qui viendront créer une répartition spatiale des objets musicaux. Des procédés de spatialisation timbrale peuvent par exemples être appliqués à des fichiers audio. La synthèse ou la lecture d'éléments sonores auxquels sont assignés des voix (sorties) différentes constitue un autre exemple. Concrètement, une multitude d'algorithmes peuvent être imaginés et programmés pour spatialiser des signaux sonores.

Une telle approche peut certainement convenir à ceux et celles qui s'intéressent aux musiques de processus et souhaitent travailler dans cette direction. Personnellement, ayant peu œuvré en ce sens, je n'étais pas véritablement attiré par cet exercice et j'ai choisi d'écarter cette option.

Une seconde stratégie pour aborder la question de l'espace peut être de séparer les étapes de composition et de spatialisation. Cette approche pourrait être appelée « post-composition », puisque l'écriture spatiale y constitue une étape distincte et secondaire à l'écriture proprement musicale. Compte-tenu des limitations des logiciels de composition, procéder d'une telle façon a longtemps été la manière la plus simple de s'affranchir des ces contraintes. Ce fonctionnement offre plusieurs avantages et peut notamment être réalisé à partir d'un fichier stéréo ou d'un plus grand nombre de pistes prémixées. Toutefois, la séparation des étapes de spatialisation et de composition est selon moi limitative au niveau des gestes musicaux possibles et une véritable écriture spatiale doit s'effectuer simultanément à la composition.

La troisième et dernière approche est la plus instinctive pour moi. Elle consiste en une intégration directe des outils de spatialisation dans un séquenceur multipistes, qui demeure encore l'outil de composition privilégié par bon nombre de compositeurs électroacoustiques. Le choix de cette approche demeure évidemment subjectif et est basé sur une méthode de travail, soit la composition par séquenceur, qui me convient et avec laquelle j'ai construit la grande majorité de mon expérience en composition. Je crois personnellement, que pour que l'espace puisse véritablement être utilisé comme paramètre musical et qu'il puisse s'inscrire au centre du discours musical, il est fondamental que celui-ci puisse être développé et composé simultanément aux matériaux, et non comme une étape sous-jacente, ou secondaire à la composition. De cette manière, l'écriture spatiale influence et participe directement à l'orientation esthétique de la pièce et cette approche de la manipulation de l'espace s'inscrit dans la logique d'une musique concrète, telle que présentée par Schaeffer. Ce sont donc des outils basés sur cette approche que j'ai souhaité utiliser pour la composition de mes pièces, et c'est cette catégorie qui sera discutée ici. Évidemment, ce choix vient avec une multitude de particularités et de problèmes et c'est notamment ce sujet qui sera discuté dans le présent document.

## Concepts importants et terminologie

Avant d'entrer dans le vif du sujet, il est important de définir les concepts auxquels je ferai référence, ainsi que d'établir certaines distinctions terminologiques.

### La localisation spatiale auditive (spatial hearing)

Pour déterminer la directivité d'une source dans l'espace, le cerveau utilise différents indices qui lui sont fournis par le système auditif. Selon la théorie de la localisation (Duplex theory<sup>2</sup>) il existe plus spécifiquement deux indicateurs associés à la fréquence (frequency dependant) et utilisés par le cerveau pour déterminer la provenance des sources sonores dans l'espace. Ces indicateurs agissent comme filtre affectant le contenu fréquentiel d'un signal sonore avant que celui-ci soit décodé le cerveau. Ils permettent à l'auditeur de déterminer, avec une précision souvent étonnante, le positionnement et la distance d'une source par rapport lui. Ces éléments sont déterminants pour la fonction de transfert HRTF, dont nous discuterons plus loin. On réfère généralement à ceux-ci par leurs acronymes émanant de l'anglais, soit ITD et ILD, dont voici une brève explication.

### ITD - Différence de temps interaurale (interaural time difference)

Le facteur ITD est la différence de temps que met un même signal à parvenir à chacune des deux oreilles. Un délai est induit par la distance physique entre les oreilles, soit la largeur de la tête. En fonction de sa position par rapport à l'auditeur, une source sonore ne parviendra pas exactement au même moment aux deux oreilles, créant une différence d'arrivée en temps et en phase, et c'est ce délai qui constitue l'indice ITD. La différence interaurale de temps peut varier entre quelques dizaines et quelques centaines de millisecondes, en fonction du positionnement d'une source. Bien que cette différence peut à priori sembler imperceptible,

---

<sup>2 2</sup> La théorie de localisation (duplex theory of localisation), expliquant comment le cerveau détermine la provenance des sons à été originalement proposée par Lord Rayleigh, vers 1900. Pour plus d'informations voir l'entrée wikipédia à ce sujet et l'article suivant: <http://diamonddissertation.blogspot.ca/2010/05/rayleigh-duplex-theory.html>



elle s'avère pourtant un indicateur de localisation très important pour le cerveau. Sur le plan horizontal, il est estimé qu'une différence positionnelle de l'ordre d'environ  $2^\circ$  est suffisante pour être perçue par un auditeur. Notons que dans le cas d'une source située exactement à  $0^\circ$  ou  $180^\circ$  (soit directement devant ou derrière l'auditeur) il n'y aura pas de différence temporelle à l'arrivée aux oreilles et que l'ITD sera donc nul. À l'inverse, celui-ci sera maximal pour les sources positionnées à  $90^\circ$  ou  $270^\circ$ .

### ILD - Différence d'intensité interaurale (Interaural level difference)

La différence interaurale d'amplitude est conceptuellement similaire à celle de temps, mais concerne la différence de niveau sonore, ou d'amplitude, reçue par chacune des oreilles pour une même source. Comme dans le cas de l'ITD, il n'y aura pas de variation si une source est située exactement devant ou derrière l'auditeur. Cependant, dès qu'une modification de l'orientation angulaire est présente, la tête constitue un obstacle à la propagation de l'onde et une différence dans l'amplitude reçue par chacune des oreilles est donc induite. Pour les fréquences situées au-dessous de 1800HZ environ, le phénomène de la diffraction des ondes fait en sorte qu'il n'y aura concrètement que peu d'atténuation d'amplitude. Celle-ci survient seulement aux fréquences situées au-dessus de ce seuil et, plus la fréquence est élevée, plus la différence de niveau est accentuée.

### Spatialisation du signal

Par définition, le fait de panoramiser un signal entre 2 enceintes, en stéréo, constitue un geste de spatialisation. Cependant le terme désigne aussi les déplacements sur un groupe d'enceintes plus élevé, aussi bien sur deux dimensions que sur trois. C'est pourquoi je souhaitais amener une distinction ici. Dans le présent document, le terme spatialisation sera donc employé pour désigner les déplacements de signal sur un groupe de plus de deux enceintes, donc en multicanal, et le terme panoramisation (panning) fera référence au format stéréo.

## Multiphonie

Étymologiquement, le mot phonie vient du grec ancien « phônê » et signifie voix. Multiphonie signifie donc « plusieurs voix ». Le terme est employé ici pour désigner la diffusion sonore sur un nombre de canaux plus élevé que deux. Il désigne à la fois les formats surround 2D, soit horizontal en deux dimensions, et les formats 3D, qui ajoutent la dimension verticale (élévation) à l'expérience d'écoute.

## Captation multiphonique

La captation est l'enregistrement d'un environnement sonore en 2D ou 3D à l'aide d'un microphone spécial ou système de microphones.

## Reproduction multiphonique

La reproduction consiste à restituer une captation 2D ou 3D sur système de diffusion par enceintes.

## Synthèse multiphonique

La synthèse est la création d'un espace multiphonique 2D ou 3D à l'aide d'outils de spatialisation. Par exemple, la création d'un environnement sonore de format 5.1 et dans lequel sont spatialisés des fichiers mono ou stéréo constitue une synthèse multiphonique.

## Système binaural

Les systèmes binauraux sont des systèmes de reproduction sonore dédiés à une écoute au casque. On parle de captation binaurale lorsque des prises de son sont effectuées avec des microphones insérés à l'intérieur des oreilles d'une personne ou d'un mannequin. Le terme synthèse binaurale désigne quant à lui la création d'un espace sonore multidimensionnel dans lequel des sources mono, stéréo ou autres peuvent être déplacés. C'est principalement la méthode HRTF<sup>3</sup> qui permet la synthèse binaurale.

---

<sup>3</sup> Méthode de spatialisation basée sur une fonction de transfert reliée aux indicateurs physiques. Voir chapitre 3.

## Conversion transaurale

La conversion transaurale est le traitement qui cherche à rendre compatible un signal binaural pour l'écoute sur enceintes. Il s'agit donc d'une technique pour convertir des pistes binaurales, obtenues par captation ou synthèse, afin d'en restituer l'espace sur un système de diffusion par enceintes.

# Chapitre 1 - Panoramisation d'amplitude

## Définition

La panoramisation d'amplitude (parfois appelé panoramique polyphonique) est une méthode qui permet de spatialiser un signal sonore sur deux ou plusieurs enceintes, en utilisant l'amplitude et la phase comme paramètre de contrôle. La technique permet de créer une illusion de positionnement des sources sonores à des endroits non physiquement couverts par les enceintes. Pour générer une impression de positionnement (autre que centré) d'une source dans l'espace, il faut que le niveau diffusé par les enceintes diverge. La différence d'amplitude ainsi que les variations entre les canaux créent chez l'auditeur l'impression de directivité et de déplacement des sources sonores dans l'espace.

Principalement utilisée en 2D, cette méthode de spatialisation est la plus répandue, tant au niveau matériel que logiciel, et c'est sur son principe que sont basés la vaste majorité des outils de panoramisation stéréo et multiphoniques.

Pour un fonctionnement optimal, la technique présuppose des conditions d'écoute où l'auditeur et les enceintes sont équidistants, et où celles-ci sont disposées sur le même plan horizontal. En stéréo, on les oriente généralement avec un angle de  $30^\circ$  par rapport au centre, soit de  $60^\circ$  entre elles. Les formats surround standards<sup>4</sup> (4, 5.1, 7.1, etc.) sont quant à eux constitués de plusieurs paires d'enceintes disposées symétriquement et accompagnées d'un canal mono central qui est principalement dédié aux voix pour le contenu audiovisuel.

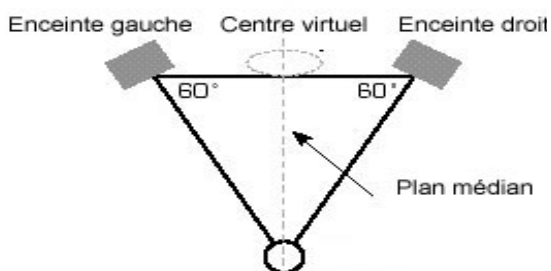


Figure 1 : disposition stéréophonique standard.

©Mixound.com

Source : <http://www.mixound.com/Tutorials/Initiation%20Mixage/>

---

<sup>4</sup> Voir le tableau de formats surround en page 14.

## Loi de panoramisation

### Loi des sinus et facteur de gain

En stéréophonie, pour déterminer la relation entre le positionnement virtuel d'une source et l'amplitude proportionnelle nécessaire aux enceintes, Alan Blumlein a été le premier à développer une méthode basée sur la formule mathématique connue sous le nom de « loi des sinus »<sup>5</sup>. La formule a depuis été mise à jour par Bauer, et plus tard par Bennett sous une forme similaire appelée « loi des tangentes »<sup>6</sup>. Elle est fréquemment modifiée et adaptée, mais la majorité des outils de panoramisation actuels se base sur cette équation. La formule de Bennett se décrit comme suit :

$\frac{\tan \theta_T}{\tan \theta_0} = \frac{g_1 - g_2}{g_1 + g_2}$	<p>g1 = gain du canal 1 g2 = gain du canal 2 θt = Angle perçu de la source virtuelle θ0 = Angle de base d'une enceinte</p>
---	--

Bien que la méthode ait été originalement développée pour la stéréophonie, la plupart des logiciels de spatialisation multiphonique 2D ne font qu'étendre son utilisation à un groupe d'enceintes plus grand pour calculer le rapport des signaux à leur envoyer. Ce niveau d'envoi est communément appelé facteur de gain (g) et représente une valeur variable, généralement calculée entre 0 et 1, par laquelle l'amplitude d'un signal sera multipliée avant d'être transmis à une enceinte. Dans tous les systèmes de panoramisation, pour le positionnement d'une source virtuelle, il est nécessaire de déterminer un facteur de gain pour chacune des enceintes du système, car c'est le rapport entre ceux-ci qui crée la directivité des sources. Par exemple, pour une source située à une extrémité d'une image stéréo, l'une des enceintes aura un facteur de gain de 1 et l'autre de 0. À l'inverse, une source que l'on voudrait localisée exactement au centre de deux enceintes aura un facteur de gain identique pour chacune des enceintes et la sensation de diffusion sera homogène.

---

<sup>5</sup> Blumlein, A. D., 1931. *Brevet Anglais numéro 394,325*. Réimprimé dans *Stereophonic Techniques*, Audio English Society., NY, 1986.

<sup>6</sup> Bennett, J.C. et Barker, K. « A new approach to the assessment of stereophonic sound system performance ». *Journal of audio English society*, Volume 33, Mai 1986, p. 314-321

Un problème survient cependant rapidement avec ce système. En effet, lorsqu'un signal est identique en temps et en phase sur deux enceintes, l'addition des deux signaux peut générer une augmentation d'amplitude allant jusqu'à 6dB à la position d'écoute. Par exemple, déplacer un son de droite à gauche le fera paraître plus fort lorsqu'il traverse le centre et dans un espace fixe, cela signifie que les sons placés au centre seront perçus plus forts qu'attendu et viendront déséquilibrer le rapport avec ceux qui sont décentrés. Pour contrer cet effet indésirable, il est nécessaire de mettre en place une « loi » qui tient compte de ce facteur lors de l'ajustement des niveaux à envoyer aux sorties. La loi de la panoramisation (Pan Law en anglais) est donc l'équation mise en place pour calculer le niveau de signal à distribuer aux enceintes (ou facteur de gain), en appliquant une diminution de l'amplitude lorsque nécessaire, soit lorsque le niveau d'envoi d'un même signal sur deux enceintes est identique. Le phénomène existant en analogue et en numérique, une loi de panoramisation est nécessaire tant dans le monde logiciel (séquenceurs, plugiciels, etc.) que matériel (consoles, amplificateurs, etc.).

Comme nous venons de le voir, l'addition d'un même signal peut, en théorie, créer une amplification de 6dB au centre. Pour que l'augmentation soit véritablement de cet ordre cependant, il faudrait que la réponse des enceintes et l'acoustique du lieu de diffusion soient parfaites. Ce scénario étant invraisemblable, on évalue généralement que l'augmentation perçue se situera plutôt autour de 3dB et c'est pourquoi la majorité des logiciels et consoles de mixage utilisent par défaut une loi où le niveau est diminué de 3dB au centre. La loi du -3dB est probablement celle qui est la plus répandue et elle est connue sous le nom de « panoramisation à puissance constante » (equal power panning). De nombreuses autres lois de panoramisation existent cependant. Par exemple, pour arriver à un résultat similaire, une autre loi de panoramisation répandue utilise plutôt une augmentation de +3dB aux extrémités en conservant le niveau à 0db au centre. Il existe aussi plusieurs autres cas de figure où des lois différentes sont utilisées, notamment en ce qui a trait à la conversion mono. En effet, si lors de l'envoi en mono, deux pistes identiques sont sommées avant la sortie, leur addition créera une augmentation additionnelle de 3dB et il est alors recommandé d'utiliser une loi de -6dB. Par contre, si l'envoi d'une piste identique (mono) vers les enceintes se fait via un bus stéréo, et donc par deux canaux séparés, la loi de -3dB sera à préconiser. Qui plus est, on voit

aussi occasionnellement l'utilisation d'une loi de -4.5dB au centre, qui est en fait un compromis entre les deux lois précédentes. Cette dernière est mise en place par certains manufacturiers qui estiment que les équipements qu'ils développent se serviront principalement dans des conditions acoustiques optimisées. Aujourd'hui, les séquenceurs offrent généralement la possibilité de choisir parmi ces différentes lois, mais la plupart utilisent par défaut celle de -3dB au centre.

Il existe une multitude de variations et de méthodes pour calculer une loi de panoramisation. Il s'agit d'une notion cruciale puisque c'est généralement des différences au niveau de sa formulation qui distinguent les outils de spatialisation d'amplitude entre eux. En outre, la méthode de spatialisation VBAP (Vector Based Amplitude panning), dont nous discuterons plus loin, se démarque par une importante reformulation de cette loi.

## **Outils et intégration au processus de composition**

Presque tous les séquenceurs prenant en charge la multiphonie fournissent leurs propres outils de spatialisation. La loi de panoramisation utilisée et son implémentation est un élément important qui distingue ces outils les uns des autres. La question des interfaces d'utilisation GUI (Graphical User Interface) et les choix sur le plan de la représentation visuelle sont aussi importants. Il existe plusieurs stratégies très distinctes pour illustrer les sources sonores, les enceintes (sorties), les niveaux d'envoi, etc. et les outils se différencient beaucoup par ces choix au niveau du GUI ainsi que par les paramètres de contrôle proposés. On trouve aussi de nombreux plugiciels externes (VST<sup>7</sup>, AU<sup>8</sup>, etc.), basés sur la panoramisation d'amplitude, qui sont souvent assez dispendieux. Concrètement, l'efficacité de ces outils est assez subjective et s'évalue beaucoup en fonction des préférences des utilisateurs. Cependant, malgré l'abondance de l'offre, il est difficile de trouver des outils permettant la composition et l'écriture spatiale en dehors des formats surround standards (quadraphonie, 5.1, 7.1, etc.) Le

---

<sup>7</sup> Virtual Studio Technology

<sup>8</sup> Audio Unit

problème se situe plus particulièrement à deux niveaux : l'accès aux sorties et le positionnement des enceintes virtuelles.

## Nombre de sorties et LFE

En effet, bien que la majorité des séquenceurs supporte aujourd'hui le travail en multiphonie, ceux-ci utilisent généralement des configurations fixes pour le nombre de sorties, basées sur les formats surround développés par l'industrie du film. C'est le cas de séquenceurs majeurs tel Logic Pro, Digital Performer, Cubase, etc. où l'utilisateur a le choix entre différentes configurations prédéfinies, où le nombre et parfois l'ordre des sorties sont fixes et ne peuvent être modifiés. Le tableau suivant montre les formats surround standards utilisés par l'industrie et la configuration des canaux.

Liste des formats surround développés par l'industrie du film, ainsi que le routage utilisé pour l'encodage multicanal. À droite les abréviations et leur correspondance en termes de disposition des enceintes.

FORMATS	DISPOSITION
5.1-ch SMPTE/AES/ITU	L R C Lfe Ls Rs
5.1-ch DTS	L R Ls Rs C Lfe
6-ch Hexaphonic	L R Lr Rr C Cs
6.1-ch SMPTE/AES/ITU	L R C Lfe Ls Rs Cs
4-ch SMPTE/AES/ITU	L R C Cs
4-ch Quadraphonic	L R Lr Rr
7.1-ch SMPTE/AES/ITU	L R C Lfe Ls Rs Lc Rc
10.2	L R C LSB RSB Ls Rs Cs Lw Rw Lh Rh

**Tableau 1- Formats surround**

ABRÉVIATION	DISPOSITION
L (Left)	Gauche
R (Right)	Droit
C (Center)	Centre
Lfe (Low frequencies Effects)	Caisson de grave (subwoofer)
Ls (Left surround)	Ambiance Gauche
Rs (Right surround)	Ambiance Droit
Lc (Left center)	Arrière Gauche
Rc (Right center)	Arrière Droit
Lr (Left rear)	Gauche arrière
Rr (Right rear)	Droit arrière
LSB (Left subwoofer)	Caisson de grave gauche
RSB (Right subwoofer)	Caisson de grave droit
Lw (Left wide)	Gauche élargi
Rw (Right wide)	Droit élargi
Lh (Left high)	Gauche élevé
Rh (Right high)	Droit élevé

**Tableau 2 – Abréviations**

Si ce fonctionnement est probablement mis en place dans le but de simplifier l'emploi de la multiphonie pour les utilisateurs, il peut s'avérer très limitatif pour travailler avec des formats autres que ceux de l'industrie. Par exemple, un séquenceur supportant uniquement la 5.1 ne permettra généralement pas de créer des pistes à plus de six sorties, même si l'interface audio utilisée en compte un plus grand nombre. L'octophonie par exemple, qui nécessite huit sorties,



est un format très répandu en musique électroacoustique et sa gestion pose souvent problème. Dans certains cas, il est possible de récupérer le canal LFE (désigné par le .1 dans les formats surround) et de l'utiliser comme canal audio régulier. Ceci peut, par exemple, permettre de créer un routage octophonique à partir d'une pré-configuration 7.1. Cette méthode n'est cependant pas infaillible, car la gestion du canal LFE pose aussi parfois problème. En effet, celui-ci étant conçu pour se dédier aux basses fréquences uniquement, il arrive qu'un filtre coupe-haut soit appliqué à la sortie LFE et ne puisse être désactivé. Ceci fait en sorte qu'en pratique, ce canal ne peut être détourné de sa fonction originale pour être utilisé comme canal audio régulier. Lorsqu'il est supporté par le logiciel, le format 10.2 (utilisé au cinéma) peut offrir accès à un plus grand nombre de sorties (12 en théorie), mais pour des projets où l'on souhaiterait utiliser un plus grand nombre de canaux, le problème demeure entier.

### Positionnement des enceintes

La disposition fixe des enceintes imposée par la plupart des outils est le second problème important rencontré. En effet, les formats surround standards présupposent des dispositions précises des enceintes et la majorité des logiciels de spatialisation les adoptent sans possibilité de modifications. Dans l'optique de composition en octophonie, où les enceintes sont habituellement équidistantes et disposées circulairement, cette contrainte fait en sorte que des outils pour le format 7.1, bien qu'offrant théoriquement accès à huit sorties, ne peuvent être utilisés puisqu'ils imposent une disposition fixe. Le même problème se retrouve avec le format 10.2 où on ne peut généralement pas reconfigurer l'emplacement des enceintes.

Ces problématiques d'accès aux sorties et de positionnement sont présentes dans la majorité des séquenceurs et des logiciels dédiés au surround. Ceci rend la grande majorité de ces outils difficilement utilisables pour des projets où l'on souhaite utiliser des configurations autres que celles qui sont standards.

## Octogris

Le plugiciel Octogris a été développé il y a quelques années par le Groupe de Recherche en Immersion Spatiale (GRIS) de l'Université de Montréal, au sein duquel j'ai eu l'occasion de travailler. C'est pourquoi, plutôt que de répertorier et comparer les différents plugiciels surround offerts, et étant donné la pertinence de cette expérience dans mon parcours, cette section sera dédiée uniquement à ce plugiciel.

La première version de Octogris est parue à l'été 2010 et j'ai eu l'occasion de participer directement à sa conception. Cette initiative du GRIS est née suite au constat qu'il n'existait pas véritablement d'outils adéquats pour l'écriture spatiale en composition électroacoustique, et plus spécifiquement pour l'octophonie. Face aux problématiques expliquées plus tôt, très peu de solutions s'offraient et c'est pourquoi nous avons conclu que la meilleure option était la création d'un nouvel outil adapté aux besoins des compositeurs et des compositrices. Au départ, nous avons brièvement envisagé la possibilité de mettre à jour un des plugiciels *Acousmodules*, développés par le compositeur français Jean-Marc Duchenne, dont les versions Mac ne fonctionnaient plus suite à des changements importants dans le système d'exploitation OSX ainsi que l'arrêt du développement du logiciel Sonicbirth<sup>9</sup> (avec lequel ils ont été conçus). Il fut cependant décidé avec le programmeur qu'il était plus efficace de créer entièrement un nouveau plugiciel. Bien que celui-ci devait originalement être dédié à l'octophonie, Octogris a finalement été développé en de nombreuses versions et permet actuellement de gérer jusqu'à 32 entrées et sorties, faisant de lui un outil extrêmement flexible pouvant s'adapter à une multitude de situations de composition.

---

<sup>9</sup> Plusieurs Acousmodules pour OSX ont depuis été réparés. M. Duchenne ayant eu l'amabilité de partager avec moi les codes sources, j'ai pu y faire quelques modifications qui les ont rendus fonctionnels à nouveau. Par ailleurs, le développement de Sonicbirth, arrêté durant plusieurs années, est maintenant repris et une nouvelle version est bientôt attendue.

## Sorties et entrées

La première fonction que nous souhaitions voir implémenter dans le plugiciel était le contrôle sur le nombre et la position des sorties. Tel que mentionné précédemment, le principal défaut présent dans l'ensemble des outils disponibles est l'impossibilité de les utiliser autrement que pour des formats surround standards. C'est pourquoi nous avons voulu développer un outil offrant un maximum de liberté aux utilisateurs quant à la configuration virtuelle d'espaces de diffusion. Octogris permet donc d'utiliser un nombre arbitraire de sorties (jusqu'à 32), dont la disposition est entièrement libre et peut être modifiée et même automatisée en temps réel. Ceci confère à Octogris la possibilité de s'adapter à un très grand nombre de situations de diffusion. La disposition octophonique en est une, mais à peu près n'importe quelles configurations d'enceintes sur un mode horizontal peuvent être créées. Chaque sortie est aussi dotée d'un contrôle d'atténuation indépendant, d'un vumètre et d'une sourdine (mute).

On retrouve le même type de flexibilité au niveau des entrées (sources) du plugiciel. Chaque version de Octogris offre le même nombre de sources que de sorties, par exemple 32 in /32 out, et existe aussi avec entrées mono ou stéréo; 1 in /32 out, 2 in/ 32 out. On peut donc travailler avec des fichiers sources à un et deux canaux ou encore multiphoniques, si le séquenceur le supporte. Les sources sont aussi pourvues d'un contrôle du paramètre distance qui permet de créer une zone de diffusion circulaire autour d'une source. L'amplitude de la source est graduée à l'intérieur de sa zone de diffusion et permet de créer des effets de fondu (fade in/out). Ainsi, plus le centre de la source se rapproche d'une enceinte, plus son niveau de sortie augmente. Ces contrôles de diffusion des sources peuvent aussi être indépendants ou liés ensemble (paramètre link).

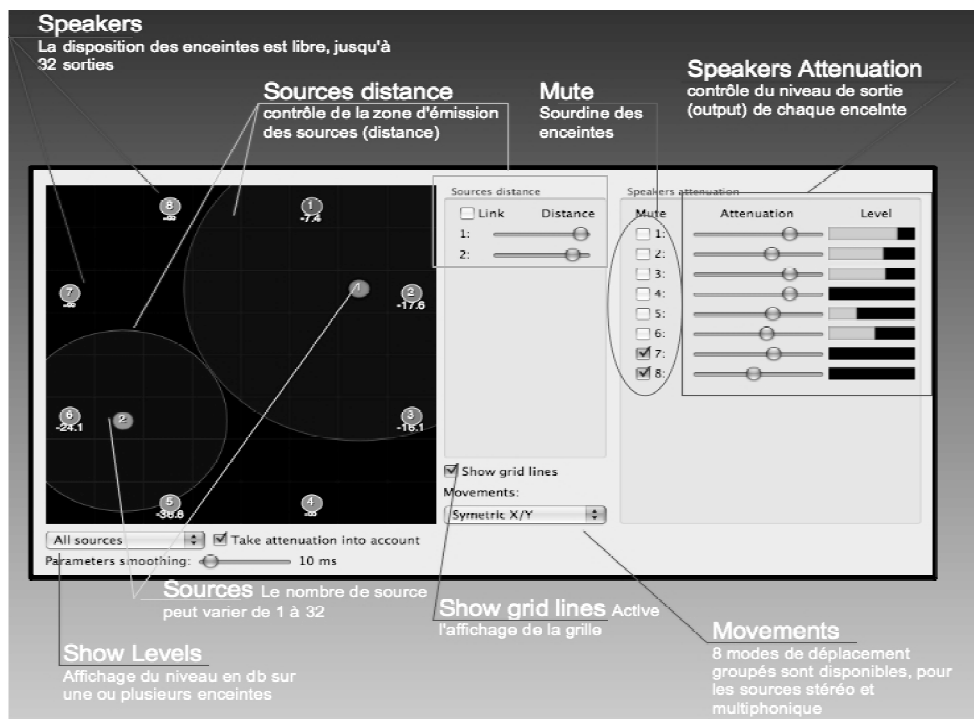
## Modes de déplacement groupés

Octogris offre huit modes de déplacements groupés, disponibles pour les versions à entrées stéréo ou multiphoniques. Ces modes permettent de déplacer simultanément l'ensemble des sources présentes dans une instance du plugiciel, et ce, à partir d'une seule. Différents types

de mouvements peuvent ainsi être créés, que ce soit par exemple par rotation circulaire (circular), déplacement symétrique (symetric) ou par positions relatives fixes (delta lock). On peut aussi utiliser les versions complètes, 32x32 par exemple, pour produire différents types d'effets, comme, par exemple, tourner simultanément un groupe de sources.

## Développement futur

Le développement du plugiciel est toujours en cours. Au moment d'écrire ces lignes, une version VST pour Mac et PC est à l'essai et devrait être lancée bientôt. De nouvelles fonctions pourraient aussi être implémentées dans un avenir proche. Globalement, la flexibilité qu'offre Octogris dans ses configurations en plus du fait que celui-ci est disponible gratuitement en fait actuellement un outil incontournable en multiphonie.



**Figure 2 - Instance 2X8 de Octogris.** Avec description des principales fonctions du plugiciel.

## Chapitre 2 -VBAP

### Définition

VBAP (Vector Based Amplitude Panning) est une méthode de spatialisation basée sur la panoramisation d'amplitude, où l'équation utilisée pour le calcul des facteurs de gain est basée sur le concept de vecteurs et propose une reformulation de la loi de tangente de Bennet. La méthode fonctionne en 2D, où l'amplitude se calcule par duo d'enceintes, mais innove particulièrement pour la spatialisation tridimensionnelle, où, contrairement à la loi de tangente originale, le modèle peut être généralisé pour un trio d'enceintes.

Dans le système de panoramisation traditionnel, un biais dans la correspondance entre le positionnement virtuel d'une source et la localisation réellement perçue peut être induit lorsque les enceintes ne sont pas placées symétriquement sur le même plan médian que celui de l'auditeur. C'est en cherchant à développer une technique pour corriger ce problème que Ville Pulkki, chercheur à la Helsinki University of Technology, formule les bases de VBAP. La méthode est le résultat de plusieurs années de travail de celui-ci, et a commencé à être développée vers la fin des années 90.

Bien que les premières publications sur ses recherches datent de cette époque, l'utilisation de la méthode a mis un certain temps à se répandre et, aujourd'hui encore, peu d'outils de spatialisation utilisent un algorithme basé sur VBAP. Cette technologie étant encore jeune et méconnue des développeurs, il est cependant probable que de plus en plus d'outils de panoramisation y feront appel dans les années à venir.

## Fonctionnement, version 2D

Dans sa version 2D, VBAP propose une nouvelle équation pour le calcul des facteurs de gain. Le modèle innove dans son fonctionnement, puisqu'il adapte la loi de la tangente communément utilisée dans les outils de panoramisation d'amplitude pour que le calcul des facteurs de gains y soit systématiquement effectué par paires d'enceintes<sup>10</sup>. Contrairement à la version originale de la loi de tangente, ce modèle peut être généralisé et étendu à un groupe de trio enceintes<sup>11</sup>, permettant ainsi de créer la version 3D de VBAP, dont nous parlerons plus loin. Comme dans les autres méthodes de spatialisation (à l'exception de la Wave Field Synthesis), le fonctionnement optimal de la méthode nécessite que la distance entre chacune des enceintes et la position de l'auditeur soient similaires, c'est pourquoi une disposition circulaire du système de diffusion est préconisée. Bien que cela soit recommandé, la distance des enceintes entre elles ne doit pas nécessairement être la même. Les enceintes doivent cependant être disposées sur un même plan, généralement celui horizontal.

Dans la méthode VBAP, les groupes d'enceintes (formés de paires en 2D et de trios 3D) sont appelés des « bases » et, lorsque du signal est présent sur n'importe quel élément d'une base, le calcul des facteurs de gain est effectué pour tous les membres de ce groupe. En fonction de la configuration, chaque enceinte peut appartenir à plusieurs bases, soit un maximum de deux bases pour la version 2D, et un nombre illimité pour la version 3D. Selon Ville Pulkki, l'utilisation de la méthode pour la spatialisation sur deux dimensions offrirait des performances et une précision supérieures aux autres méthodes pour la synthèse d'espace. C'est ce qu'ont démontré des tests de perception, menés par Pulkki et une équipe de chercheurs, comparant différents modèles de panoramisation à VBAP<sup>12</sup>. Les résultats ont indiqué que les sujets ont ressenti une précision accrue de la localisation des sources avec la méthode VBAP.

---

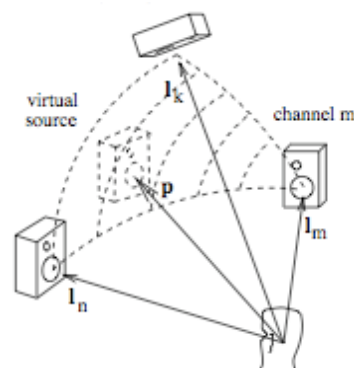
<sup>10</sup> « pair-wise » dans la documentation écrite par Ville Pulki

<sup>11</sup> « triplet-wise » dans la documentation écrite par Ville Pulki

<sup>12</sup> Pulkki, Ville, 2001, Localization of amplitude-panned virtual sources II: Two-and three-dimensional panning, *Journal of the Audio Engineering Society* 49 (9), 753-767

## Fonctionnement, version 3D

La principale innovation de VBAP et la raison pour laquelle la méthode jouit d'un intérêt croissant, se situent dans son utilisation pour les formats tridimensionnels. La reformulation de la loi de tangente utilisée en version 2D peut en effet être étendue à des trios d'enceintes, permettant ainsi l'ajout de la dimension verticale. Dans sa version 3D, l'algorithme utilise maintenant des bases constituées de trois enceintes, et le calcul des facteurs de gain de celles-ci est dit « triplet-wise ». En ajoutant à une configuration stéréo une troisième enceinte, placée à une élévation différente, il est possible de créer un espace tridimensionnel avec aussi peu que trois enceintes, tel qu'illustré sur la figure 3. Chaque base d'une configuration 3D est constituée de trois enceintes formant un triangle et, tel que mentionné précédemment, une enceinte peut appartenir à un nombre illimité de bases.



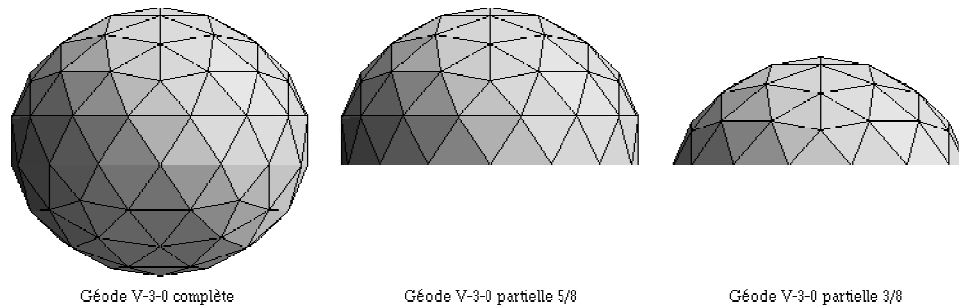
**Figure 3 – Triangulation d'enceintes en VBAP.** © Ville Pulkki  
Source : <http://icad.org/websiteV2.0/Conferences/ICAD98/papers/PULKKI.PDF>

Ville Pulkki décrit trois conditions nécessaires au fonctionnement des bases :

- 1- Les enceintes d'un trio ne peuvent pas toutes trois être sur le même plan. Par conséquent, au moins une des enceintes d'une base doit avoir une élévation différente des deux autres.
- 2- Les triangles formant les bases d'une configuration 3D ne peuvent se chevaucher (overlapping).
- 3- Les côtés de chaque trio d'enceintes doivent être les plus courts possibles. (Cette condition n'est pas obligatoire au fonctionnement de VBAP, contrairement aux précédentes, mais elle vise à en maximiser les performances.

## Disposition en dôme géodésique

On appelle dôme géodésique une structure architecturale sphérique, ou partiellement sphérique, constituée de systèmes triangulés, dit treillis. C'est cette disposition qui doit être utilisée pour les configurations 3D en VBAP. Ceci s'explique notamment pour les mêmes raisons que la disposition circulaire en VBAP 2D : une configuration en trigonométrie sphérique permet d'assumer que la distance entre chaque enceinte et le point d'écoute central (ou sweet spot) est identique. Répétons qu'en VBAP, la distance des enceintes entre elles ne doit pas forcément être identique, bien que cela soit préférable, mais leur orientation et leur distance par rapport au centre doivent être la même.



**Figure 4 – Géodes Tronqués.** © Wikipédia  
Source [http://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%B4me\\_g%C3%A9od%C3%A9sique](http://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%B4me_g%C3%A9od%C3%A9sique)

La méthode permet ainsi de déplacer des sources sonores virtuelles sur la surface d'un dôme d'enceintes. En augmentant le nombre d'enceintes, et donc le nombre de bases triangulaires, on augmente la résolution de l'espace et par conséquent la précision de la localisation des sources. Les sources virtuelles peuvent être déplacées sur la surface des triangles obtenus, mais ne peuvent cependant pas être positionnées à l'extérieur ou l'intérieur de la surface du dôme.



Pour le déplacement des sources et le calcul des facteurs de gain, il existe 2 règles importantes du VBAP:

- 1- Dans le cas où une source se trouve sur une ligne reliant deux enceintes, le signal ne sera émis que par ceux-ci. L'enceinte servant à compléter la triangulation aura donc un facteur de gain de 0.
- 2- Une source située au centre d'un triangle aura un facteur de gain identique pour chaque enceinte.

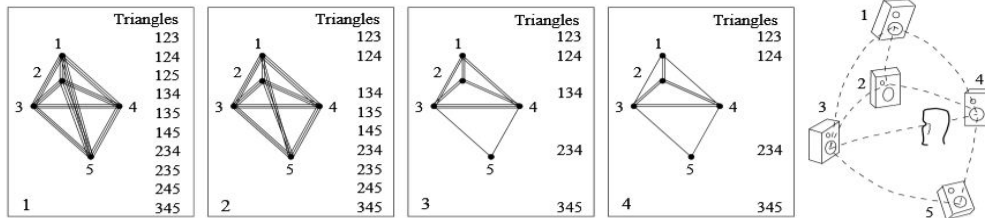
## **Implémentation de VBAP dans un outil de spatialisation**

La documentation nécessaire à la création d'outils génériques basés sur la méthode est publique et il est aujourd'hui assez simple de développer un outil VBAP avec un langage de programmation (Python, C++, CSOUND, etc.). Ville Pulkki rend aussi disponible des modules VBAP utilisables dans Max-MSP et PureData.

La première étape de mise en place d'un outil de spatialisation basé sur VBAP nécessite deux procédures :

- A) L'algorithme doit en premier lieu connaître l'organisation de la disposition physique des enceintes.

B) À partir de cette information, celui-ci fera le calcul et la répartition des bases (trio d'enceintes) sans chevauchement (non-overlapping) à travers quatre étapes :



**Figure 5 – Les quatre étapes pour la répartition des bases en VBAP** © Ville Pulkki  
 Source : <http://icad.org/websiteV2.0/Conferences/ICAD98/papers/PULKKI.PDF>

**Étape 1 :** Tous les triangles possibles sont formés.

**Étape 2 :** Les triangles trop étroits sont retirés.

**Étape 3 :** Les côtés transversaux sont résolus.

**Étape 4 :** Les triangles dont une enceinte se situe à l'intérieur sont retirés. - La figure de droite montre les triangles conservés par VBAP

Une fois que la configuration physique est connue de VBAP et que les bases d'enceintes ont été établies, le système performera les étapes suivantes dans une boucle infinie pour chacune des sources virtuelles déplacées :

- Les vecteurs de directivité du signal sont établis.
- La ou les bases appropriées sont sélectionnées.
- Les facteurs de gain correspondant au positionnement sont calculés.
- Un fondu enchainé (crossfade) entre les anciens et les nouveaux facteurs de gain est réalisé, avec changement des bases si nécessaires.

## **Compatibilité et intégration dans le processus de composition**

VBAP offre l'avantage d'être compatible et rétrocompatible avec à peu près n'importe quels formats, du moment que ceux-ci respectent les critères énoncés plus tôt. Son fonctionnement étant basé sur des vecteurs, ceux-ci peuvent être recalculés en fonction de la configuration physique et du nombre d'enceintes disponibles. On peut ainsi composer un espace 2D ou 3D sans être limité à un format fixe, comme c'est le cas avec la vaste majorité des outils de spatialisation destinée aux formats standards tel 5.1, 7.1, etc. Comme en ambisonie, ceci permet d'adapter une pièce musicale en fonction du système d'écoute disponible, tout en conservant l'écriture spatiale. Le défi pour les plugiciels et logiciels demeure encore l'intégration de cette caractéristique qui, sauf dans la communauté électroacoustique, ne semble pas faire l'objet d'une forte demande. On compte d'ailleurs actuellement un nombre très limité d'outils basés sur VBAP, même en spatialisation 2D, où il a été démontré que celui-ci offre une plus grande précision que les méthodes de panoramisation standards. L'utilisation de la méthode ne s'y est pas encore répandue, probablement parce que son existence est encore méconnue, ou parce que les développeurs de plugiciels considèrent que les techniques couramment utilisées offrent des résultats satisfaisants. Il est cependant probable que les outils de spatialisation 2D basés sur le VBAP deviennent de plus en plus nombreux au cours des prochaines années. Néanmoins, la méthode jouit d'un intérêt beaucoup plus marqué dans la communauté de développeurs et d'utilisateurs d'outils 3D. Actuellement, l'utilisation de spatialisation tridimensionnelle se limite à des espaces de diffusions restreints, telles certaines salles de concerts et de cinéma, mais ces lieux sont graduellement plus nombreux et il y a fort à parier qu'avec les nombreuses avancées que connaît continuellement l'audio, tant au niveau matériel que logiciel, l'intérêt pour ces technologies ne fera que croître.

## Outils

### Zirkonium

Le spatialisateur Zirkonium, créé à l'institut ZKM, et dont le développement se poursuit actuellement en partenariat avec l'Université de Montréal, utilise VBAP. Celui-ci permet de créer des environnements sonores virtuels avec un nombre arbitraire d'enceintes. Zirkonium est en fait un logiciel autonome dont le signal peut être routé et contrôlé à l'intérieur d'un séquenceur via ZirkOsc, un plugiciel AU et VST. Zirkonium permet de créer des configurations multiphoniques tridimensionnelles complexes sans limitations quant au nombre d'entrées et de sorties.

### Reasurround

Depuis 2011, le logiciel Reaper intègre le plugiciel Reasurround, qui permet la spatialisation en 2D et 3D et peut gérer jusqu'à 64 canaux en entrées et sorties. Selon les développeurs, celui-ci combine différentes méthodes de spatialisation d'amplitude, mais fait principalement appel à des éléments provenant de VBAP pour les configurations tridimensionnelles. L'algorithme développé par l'équipe est donc unique et a été pensé pour convenir à un grand nombre de scénarios de composition et de diffusion. Le plugiciel permet de choisir un nombre arbitraire d'enceintes et de sources, dont le positionnement est libre dans l'espace virtuel 3D. Les déplacements de sources ainsi que l'ensemble des paramètres sont automatisables, et les courbes d'automations enregistrées sont conservées même si les paramètres de diffusion sont modifiés (exemple : ajout ou suppression d'enceintes). L'export d'un même projet vers différents formats devient ainsi très facile à réaliser et peut être adapté à chaque contexte spécifique de diffusion d'une même pièce.

Reasurround est actuellement un des outils les plus flexibles pour des projets sortant des standards surround. Cependant, contrairement à des outils tels que Octogris et Zirkonium, il ne s'agit pas d'un plugiciel indépendant VST ou AU, pouvant être utilisé dans n'importe quel séquenceur, et celui-ci ne peut être utilisé qu'à l'intérieur de Reaper. Certains choix au niveau de l'interface et des paramètres peuvent aussi paraître peu instinctifs et ne pas convenir à tous.

Il revient donc à chaque utilisateur de déterminer si cet outil correspond à ses besoins, mais compte tenu de la souplesse et de l'efficacité qu'il offre, Reasurround qui se doit d'être considéré, particulièrement pour des projets de composition en 3D. On mentionnera aussi que les développeurs du logiciel sont réputés pour être très ouverts aux commentaires des utilisateurs et qu'il peut donc être très pertinent de leur faire des suggestions via le forum du logiciel. J'ai personnellement pu contribuer au développement de Reasurround en participant à différentes discussions entre utilisateurs et programmeurs.

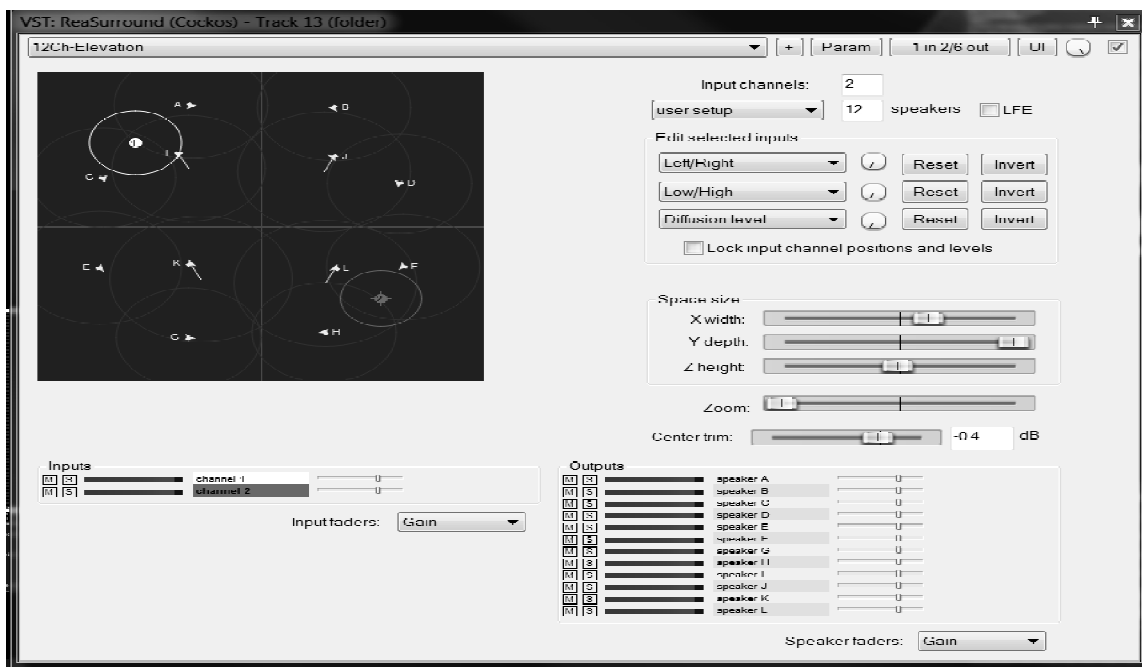


Figure 6 - Instance 2x12 de ReaSurround

## Chapitre 3 - Ambisonie

### Définition

L'ambisonie est une méthode de spatialisation permettant la captation, la reproduction et la synthèse d'environnement sonore. Le modèle ambisonique fonctionne en 2D (communément appelé « planar ») mais fut plus particulièrement innovateur et remarquable pour son potentiel d'utilisation en version 3D (dit « periphonic »). Conceptuellement, le système utilise une combinaison de microphones réels ou virtuels pour la captation, créant l'illusion d'un champ sonore sphérique ou hémisphérique où les sources peuvent être positionnées et se mouvoir en toutes directions. L'information captée fait ensuite l'objet, par une série de calculs, d'une décomposition des propriétés harmoniques de la sphère et d'un encodage qui pourra ensuite être restitué sur un système d'enceintes. En soi, les canaux de transmission utilisés en ambisonie ne portent pas un signal audio pouvant alimenter directement des enceintes mais plutôt de l'information codée qui sera transformée en signal audible à l'étape du décodage.

Parce qu'elle trouve son origine dans une technique de prise de son, l'ambisonie a longtemps été reconnue principalement pour ses possibilités de capture et de reproduction en 3D. La captation d'un champ sonore s'y effectue via un microphone spécial contenant plusieurs capsules, tel le *Soundfield*, et l'information encodée devient ce qui est appelé le format-B. Originellement, composer en ambisonie nécessitait d'avoir effectué des prises de son utilisant cette méthode. Depuis quelques années cependant, avec l'essor de l'audio numérique, il est possible de reproduire virtuellement cette technique de captation pour ainsi créer un espace ambisonique synthétisé ou n'importe quel fichier sonore, mono, stéréo ou multiphonique peuvent être spatialisés.

Une particularité notable de la méthode est que, bien qu'elles soient toutes deux nécessaires, les étapes d'encodage et de décodage sont indépendantes l'une de l'autre. Ce fonctionnement unique offre plusieurs avantages, dont une flexibilité d'utilisation et une compatibilité technique vers n'importe quel format de diffusion.

## **Histoire et développement**

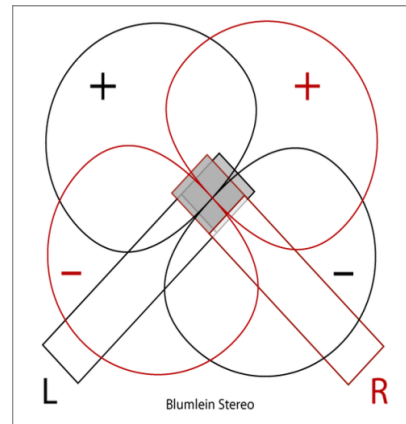
C'est au début des années 70 qu'un groupe de chercheurs de la Oxford Mathematics Institute, mené par Michael Gerzon, développe les principaux concepts théoriques de l'ambisonie en se basant sur des recherches antérieures (particulièrement sur le travail d'Alan Blumlein et ses successeurs). Les premiers encodeurs/décodeurs ambisoniques apparaissent quelques années plus tard. Ceux-ci sont cependant des dispositifs analogiques complexes et très dispendieux, c'est pourquoi ils sont généralement réservés à des studios et laboratoires de recherche. Cette complexité matérielle fait de l'ambisonie une technologie peu accessible et, compte tenu de la difficulté d'une distribution massive, peu d'entreprises montrent de l'intérêt pour son développement. Quelques tentatives de commercialisation de systèmes ambisoniques domestiques ont eu lieu à la fin des années 70, mais celles-ci s'avèrent rapidement un échec. Le développement de la technique s'en trouve par conséquent abandonné par l'industrie du divertissement et donc presque entièrement relégué aux institutions de recherche.

Il faudra attendre les années 90 et certaines percées informatiques menant à une croissance importante de la puissance des micro-processeurs pour que l'ambisonie connaisse véritablement un nouveau souffle. Avec l'expansion et le développement de l'audio numérique, la méthode devient beaucoup moins complexe à mettre en place qu'avec l'équipement coûteux qu'elle requiert en analogique. En effet, il est aujourd'hui beaucoup plus efficace de procéder à l'encodage et au décodage via des logiciels et c'est la raison pour laquelle le développement analogique de la technique est maintenant peu répandu.

Pour mieux comprendre le fonctionnement unique de cette méthode de spatialisation, il est d'abord nécessaire de voir où celle-ci trouve son origine, c'est-à-dire dans une prise de son inventé par Alan Blumlein.

## La prise de son Blumlein

Dans les années 30, Alan Blumlein, à qui nous devons plusieurs innovations importantes en stéréophonie, développe une technique de captation stéréophonique coïncidente utilisant deux microphones figure-8. En pratique, ceux-ci doivent être superposés le plus près possible l'un de l'autre et orientés de façon à former un angle de  $90^\circ$  entre eux. Le côté positif de chaque microphone est orienté à  $45^\circ$  vers l'avant, soit vers la source sonore, et le négatif vers l'arrière (figure 7). La sommation des deux canaux permet d'obtenir une prise de son assez uniforme et réputé comme ayant une excellente séparation stéréo.



**Figure 7 – Disposition stéréo Blumlein** © Wikipédia  
Source : [http://en.wikipedia.org/wiki/Blumlein\\_Pair](http://en.wikipedia.org/wiki/Blumlein_Pair)

La technique a cependant cette importante particularité : les microphones figure-8 étant conçus pour être sensibles à l'avant et à l'arrière et rejeter les sons latéraux, la prise de son résultante donne une captation presque circulaire, où les réflexions de la pièce sont captées de façon importante. Si cette caractéristique peut sembler souhaitable dans certaines situations spécifiques, elle s'avère généralement plus problématique qu'utile dans la majorité des cas. À l'époque de son invention cependant, celle-ci restait encore l'une des meilleures options pour une captation stéréophonique. La prise de son Blumlein fut plus tard modifiée, en remplaçant l'utilisation de microphones figure-8 par celle de cardioïdes et en modifiant l'angle entre ceux-ci. Ceci permet globalement de garder la précision frontale de la prise originale en réduisant, voire éliminant, la captation arrière. Cependant, la prise de son inventée par Blumlein a ceci d'intéressant que, théoriquement, elle permet de capter l'ensemble de l'information sonore présent sur un plan horizontale circulaire. C'est pourquoi, même si son utilisation fut assez courte et peu répandue, la prise de son Blumlein a continué d'intéresser et, plus tard, mené au développement de la méthode ambisonique.



## Captation sphérique par extension de la prise Blumlein

Tel que nous venons de le voir, la technique Blumlein originale permet de capter, avec aussi peu que deux microphones, l'ensemble d'un plan sonore horizontal. En ajoutant un troisième microphone figure 8 orienté haut/bas, on peut imaginer qu'il devient possible de capter aussi la dimension verticale et ainsi récolter la totalité de l'information contenue dans un champ sphérique et ce, en utilisant aussi peu que trois canaux de transmission. Concrètement, ceci nécessiterait cependant que les capsules des trois microphones se situent exactement au même endroit dans l'espace, ce qui constitue une impossibilité physique. Pour pallier au problème, des solutions ont donc été développées. Sommairement, en connaissant précisément la position des microphones et la distance entre eux, il devient possible d'estimer quelle serait la pression acoustique reçue par chaque capsule si elles pouvaient être réellement coïncidentes. Dès lors, il devient possible avec quelques ajustements mathématiques de compenser certaines erreurs de signal induites par le positionnement et donc d'abolir une partie du problème.

Avec l'ajout d'un microphone omnidirectionnel, soit d'un quatrième canal d'information, on peut capter la pression acoustique globale au centre du groupe. Cette information peut ensuite être utilisée afin de compléter la correction des erreurs d'amplitude et de phase causées le positionnement des microphones. Ce canal est nommé W, et c'est aussi celui-ci qui sera utilisé pour une rétro-compatibilité vers un signal mono. Les trois microphones Figure-8 sont aussi spécifiquement utilisés pour déterminer la directivité du son, c'est-à-dire de quelle direction provient un signal. Ces trois canaux bipolaires sont nommé X, Y et Z et fournissent en quelque sorte les coordonnées spatiales et de l'information sur l'amplitude du son. Pour simplifier le procédé, les capsules servant à la captation horizontale ne sont pas orientées à 45°, comme dans prise Blumlein mais plutôt disposées avant-arrière (X) et gauche-droite (Y). Le troisième figure-8 est orienté verticalement, soit haut-bas (Z).

Ainsi, en encodant ces quatre signaux de manière adéquate, il devient possible de capter ou synthétiser un espace sonore sphérique ou hémisphérique. Ceci constitue ce qui est appelé le Format B de 1er ordre en ambisonie.

**Figure 8 - Extension de la prise Blumlein.** Permet une captation sphérique complète, tel qu'utilisée pour le format B de 1<sup>er</sup> ordre en ambisonie.

X (Mic. fig. 8) = coordonnées horizontales / avant-arrière  
Y (Mic. fig. 8) = coordonnées horizontales / gauche-droite  
Z (Mic. fig 8) = coordonnées verticales / haut-bas  
W (Mic. omnidirectionnel) = pression acoustique

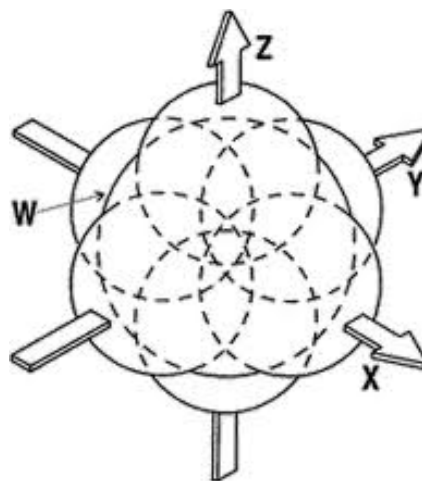


Image ©Ken Farrar

Source : <http://www.er.uqam.ca/nobel/k24305/bibliographie.html#31>

## Ambisonie de 1er ordre et Ambisonie d'ordre élevé (HOA)

En ambisonie l'ordre peut en quelque sorte être comparé au concept de résolution. Sommairement, il consiste à augmenter le nombre de microphones virtuels utilisés pour l'échantillonnage d'une sphère. Par conséquent, plus l'ordre est élevé, plus l'encodage et le décodage d'un environnement sonore permettront une restitution précise de l'espace. Tel que nous l'avons vu, au premier ordre, l'information d'un espace 2D ou 3D peut être encodée sur aussi peu que 4 canaux (WXYZ). Le format-B de premier ordre est généralement considéré comme efficace, ou, à tout le moins, suffisant pour un décodage vers des formats surround 2d standards, ou utilisant peu d'enceintes (4, 5.1, 7.1, voire 8).

L'encodage dit d'ordre élevé, High Order Ambisonic (HOA), est apparu plus tard et permet d'augmenter le nombre de canaux utilisés et, par conséquent, la précision lors de la restitution sonore. L'ordre est donc directement lié au nombre d'enceintes indépendantes pouvant être utilisées. C'est pourquoi, pour une reproduction sur un système 3D ou utilisant un grand nombre de voix, on utilisera généralement le HOA, qui comprend l'ambisonie de 2e ordre et les autres plus élevés. Bien qu'il demeure théoriquement possible de décoder le 1er ordre vers n'importe quelle configuration de sortie, la résolution spatiale sera généralement floue et imprécise si la diffusion se fait sur un nombre important d'enceintes. Cependant, plus l'ordre (et par conséquent le nombre de canaux d'encodage/décodage) est haut, plus le nombre de données et le calcul nécessaire sera important. Au deuxième ordre, un minimum de 9 canaux

sont nécessaires, 25 au quatrième et 36 pour le cinquième. Ainsi, malgré la puissance des processeurs informatiques, travailler en HOA numérique peut encore aujourd'hui s'avérer complexe si l'on souhaite utiliser plusieurs pistes (donc plusieurs encodeurs).

## Formats

La notion de format en ambisonie concerne principalement le type d'encodage et le système de diffusion auquel un enregistrement se destine. Historiquement, le terme format-A a été utilisé pour désigner les quatre signaux non-traités récoltés par le système de microphones décrit plus tôt, avant l'encodage. Il ne s'agit donc pas en soi d'un format ambisonique mais plutôt d'une manière de désigner les signaux directement reçus par les microphones.

- Format-B

Pour être utilisable dans le système ambisonique, les signaux du format-A doivent être convertis en format-B, où ils deviennent les canaux WXYZ (et plus) expliqués plus tôt. Le format-B désigne donc les signaux encodés d'un champ sonore. Le nombre de canaux dépend principalement de l'ordre et du type d'encodage : 2D (planar) ou 3D (periphonic). Les canaux du format-B ne peuvent donc pas être envoyés directement aux enceintes sans passer par un décodeur, ils sont des voix de transmission et contiennent de l'information qui devra être reconvertie en signal audio. En résumé, le format-B représente la méthode d'encodage utilisée pour le transfert d'information en ambisonie.

- Format-G

Le terme format-G est utilisé pour désigner des fichiers sonores captés ou créés en ambisonie et pré-décodés pour l'écoute sur un système d'enceintes. C'est en quelque sorte le rendu, ou l'export, d'un espace sonore vers un format de diffusion et une disposition d'enceintes fixes, telle la quadriphonie, la 5.1 ou l'octophonie. Bien qu'il soit parfois possible, dépendamment de la méthode et des outils d'encodage utilisés, de reconvertir un fichier du format-G vers le format-B, cette opération est rare et engendre des pertes de résolution. De manière générale, il faut considérer celui-ci comme un rendu final vers un format de diffusion spécifique.

- Format UHJ

Comme nous l'avons vu, le format-B est celui qui est généralement utilisé pour l'encodage et la transmission de l'information. Cependant, au décodage, celui-ci n'est pas compatible vers une sortie mono ou stéréo. C'est pourquoi le format UHJ fut développé. Il permet de ramener l'information d'un champ sonore sphérique du format-B vers un champ frontal sur une ou deux voix, sans suppression d'information. Son utilisation n'est cependant compatible qu'avec le 1er ordre, soit les canaux WXYZ. Bien qu'il ramène ces quatre canaux à seulement deux, le UHJ offre la possibilité d'être retro-compatible, permettant de revenir au format-B de 1er ordre à trois canaux, soit WXY. Le processus induit une perte d'information mais l'on récupère la possibilité de décoder vers un système 2D. Fondamentalement, le format UHJ a été créé pour permettre la conversion et l'écoute d'enregistrements ambisoniques en stéréo.

## **Outils et intégration dans le processus de composition**

Il est important de noter, en premier lieu, que l'utilisation d'outils de spatialisation basée sur l'ambisonie nécessite généralement un minimum de compréhension de la méthode. Le système d'encodage/décodage particulier à la technologie requiert généralement plusieurs étapes de configuration et nécessite une familiarisation pour être utilisé adéquatement. C'est entre autre cet aspect qui fait que la méthode peu utilisée pour les formats surround standard. Les outils de panoramisation d'amplitude communs tels ceux que l'on retrouve avec les séquenceurs sont généralement assez facile d'utilisation et, pour travailler des formats fixes comme la 5.1, l'ambisonie n'offre pas véritablement d'avantage.

Pour qui voudrait composer en ambisonie, plusieurs outils existent actuellement dont certains sont offerts gratuitement. Quelques logiciels autonomes ainsi que des banques objets pour MAX/MSP et PureData sont disponibles et permettent l'encodage et le décodage en HOA. Cependant, pour une spatialisation directement intégrée à la composition dans un séquenceur, tel que nous le préconisons, il faut se tourner vers les plugiciels (AU et VST) existants. Les processus d'encodage et de décodage étant séparés, on trouvera plusieurs plugiciels (HarpexB,

Ambiophonia, etc.) dédiés uniquement au décodage de fichiers de 1er ordre ou HOA. Ceux-ci sont principalement destinés à permettre la restitution de prises de son effectuées à l'aide de microphones ambisoniques et ne sont donc pas en eux-mêmes des spatialisateurs (panner). Pour une synthèse complète d'environnements sonores, permettant le déplacement de sources arbitraires, il faudra utiliser une suite de plugiciels permettant à la fois l'encodage (mono ou stéréo) et le décodage. Concrètement, pour le travail dans un séquenceur, un plugiciel d'encodage doit être inséré sur chacune des pistes à spatialiser et un (ou des) décodeur(s), chargé(s) de convertir les signaux de données en signal audio, est appliqué au bout de la chaîne, sur la piste master par exemple. Les canaux d'information discrets sortant des encodeurs doivent correspondre exactement à ceux entrants dans le décodeur, sans quoi le résultat spatial audible sera faussé. Un nombre assez restreint d'outils permet ceci, nous verrons ici deux d'entre eux.

### Plugiciels Ambisonic Studio

La suite B2X, développée, par Daniel Courville, offerte gratuitement sur son site, est probablement le meilleur exemple d'outil gratuit pour l'ambisonie. Conçu avec Sonicbirth, et donc disponible uniquement en version Mac, la banque contenant une trentaine de plugiciel permet une utilisation avancée et extrêmement flexible de l'ambisonie. Ce sont ces outils que j'ai utilisés lors de la composition de la pièce octophonique Minimale Sédation. La suite de plugiciels créée par Courville contient plusieurs encodeurs et décodeurs de 1er, 3e, 4e et même de 5e ordre. Certains sont uniquement 2d (planar), d'autres 3d (periphonic) et la plupart des encodeurs/panoramisateurs existent à la fois en version mono et stéréo. Plusieurs autres modules de traitement sont aussi disponibles, convertisseur UHJ, outils de rotation de champs sonores, tilt, etc.

## Plugiciels Wigware

Développé il y a quelques années par le chercheur et professeur Anglais Bruce Wiggins, la suite Wigware est similaire à la B2X. Celle-ci a cependant l'avantage d'être disponible en version PC et Mac. Wiggins explique sur son blogue avoir décidé de créer les outils suite au constat que, malgré une certaine abondance de la recherche sur la méthode, peu d'outils permettent concrètement son application. Celui-ci a donc conçu un quinzaine de plugiciels de panoramisation et de décodage ambisonique de format-B, allant du 1er au 5e ordre. La majorité d'entre eux est destinée à une utilisation 2D mais il rend aussi disponible un spatialisateur 3D et un plugiciels de réverbération multi-canal.

## Coloration et considérations esthétique

L'ambisonie est reconnue pour amener une « coloration sonore » généralement considérée comme plus notable que dans les autres méthodes de spatialisation. Bien que peu d'information précises à ce sujet existe, le phénomène est officieusement reconnu et discuté dans les communautés d'utilisateurs et de développeurs. Il est d'ailleurs intéressant de noter la variété du vocabulaire employé pour décrire cette caractéristique psycho-acoustique. Plusieurs parlent d'une « présence fantôme », d'une « empreinte acoustique » et le phénomène est souvent décrit comme une caractéristique esthétique de la méthode. L'ambisonie est souvent décrite comme une méthode créant un espace sonore plutôt statique et uni, à l'intérieur duquel des sources discrètes peuvent se mouvoir. Ceci n'est pas dépourvu de sens si l'on considère qu'elle trouve ses origines dans une technique de prise de son. On pourrait ainsi suggérer que l'utilisation de la méthode sera à préconiser pour des projets de pièces où l'espace est utilisé de manière plus statique et les déplacements de sources se font lentement (paysages sonores par exemple), et qu'elle conviendra moins pour des pièces où s'enchainent des mouvements spatiaux rapides. Ceci reste évidemment une évaluation subjective et la meilleure façon de déterminer si l'ambisonie convient à un projet demeure encore de tester et écouter.

Toutefois, bien que relativement discrète, cette « présence » particulière à l'ambisonie est à prendre en considération si l'on choisi d'utiliser cette méthode. Si elle peut parfois sembler

une contrainte et se révéler moins adéquate pour certains types d'effets spatiaux, cette caractéristique peut aussi contribuer à amener une impression d'unité à l'ensemble de la pièce. Certains verront cela comme une qualité et d'autres le percevront comme une contrainte mais au bout du compte, seules les oreilles du compositeur seront aptes à juger si cet élément lui convient ou non.

## **Perspectives d'avenir et développement**

Avec la croissance continue de l'audio numérique et l'accessibilité accrue aux langages de programmation, il est probable que de nouveaux outils de composition ambisoniques voient le jour durant les prochaines années. Le développement risque toutefois de passer plutôt par de petites communautés de développeurs et d'utilisateurs, tel que c'est le cas actuellement, puisque l'intérêt commercial pour l'ambisonie semble stagner depuis bien des années. Les besoins de l'industrie en termes de spatialisation se concentrent principalement autour des formats multiphoniques standards, où des méthodes comme la spatialisation d'amplitude et VBAP semblent favorisées. Actuellement, c'est principalement pour ses capacités de captation sonore sur deux et trois dimensions que la méthode est utilisée. Des institutions telles les universités et les laboratoires de recherche en acoustique et en musique continuent aussi à soutenir le développement de la méthode.

# Chapitre 4 - HRTF

## Définitions et distinctions

1- La HRTF (Head Related Transfer Function) est une fonction de transfert, propre à chaque individu, qui décrit la façon dont le son est altéré et filtré par les différentes propriétés du corps (principalement la tête, le torse et le pavillon de l'oreille) avant de parvenir au système auditif. Cette fonction fournit au cerveau les indicateurs qui lui sont nécessaires pour la localisation d'une source sonore et l'évaluation de sa distance. Nous avons chacun deux fonctions HRTF, une pour chaque oreille, celles-ci étant plus ou moins semblables, dépendamment de la symétrie de certains éléments de notre corps. On utilise cependant fréquemment le terme HRTF pour désigner ces deux fonctions à la fois. Dès les premiers mois suivants la naissance, le cerveau évalue les différentes caractéristiques d'altération du signal en fonction de sa directivité, et intègre ces informations. Ce processus se fait évidemment de manière inconsciente, mais sera utilisé tout au long de notre vie, principalement avec les indices ITD et ILD, pour obtenir les informations servant à la localisation des sources. La HRTF est donc unique pour chacun et peut varier grandement d'un individu à l'autre en fonction de la morphologie. Essentiellement, cela signifie qu'en substituant oreilles d'une personne par celles d'un autre, celle-ci ne serait pas instantanément capable de localiser la provenance d'une source sonore puisque le modèle de filtrage acoustique différerait de celui avec lequel son système auditif s'est éduqué.

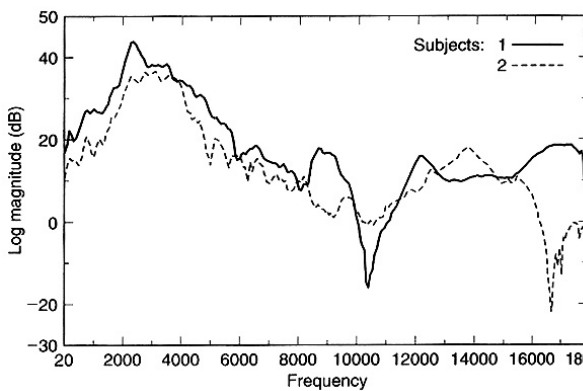
2- En audio, le terme HRTF est utilisé pour désigner la méthode de spatialisation du signal basée sur les fonctions de transfert précédemment décrites. À partir de celles-ci, il est possible de mettre en place un processus de filtrage reproduisant les altérations du signal produites par la morphologie et ainsi de synthétiser des espaces sonores tridimensionnels. La méthode HRTF est principalement développée pour son potentiel binaural, mais il est aussi possible de l'utiliser en conversion transaural.



## Calcul de la fonction HRTF

Théoriquement, calculer les fonctions de transfert d'un individu peut être décrit de manière assez simple. Pour une source sonore située à un azimut et une élévation donnée, on cherche à obtenir quelle sera la pression acoustique réelle qui sera reçue par le tympan, après les différents processus de filtrage et d'altération produits par les propriétés physiques du corps. Techniquement, il s'agit en fait de mesurer la réponse impulsionnelle d'une source telle qu'elle parvient au système auditif. La résultante audio (enregistrement sonore) obtenue est appelée HRIR (Head-Related Impulse Response). La fonction HRTF est obtenue par la conversion de la HRIR par convolution, au moyen de la transformation de Fourier. Le calcul des fonctions de transfert peut être décrit de la manière suivante :

« Soit un champ acoustique en régime permanent, les pressions acoustiques mesurées dans le conduit auditif gauche, mesurées dans le conduit auditif droit, et mesurées à l'emplacement du centre de la tête, retirée du champ : les fonctions de transfert relatives à la tête sont à gauche et à droite. <sup>13</sup> »



**Figure 9 – Comparaison des HRTF relevées chez deux sujets.** © UCDavis/University of California.

Source : <http://interface.cipic.ucdavis.edu/sound/tutorial/hrtf.html>

Tel que mentionné ci-haut, les données montrent que pour un même signal, la résultante réellement perçue peut varier considérablement d'un individu à l'autre. La figure 9 montre les courbes obtenues pour deux sujets. Des pics et des creux peuvent être observés à différents endroits du spectre et indiquent clairement des différences significatives entre les deux sujets.

<sup>13</sup> HRTF (s. d.). Dans *Wikipédia*. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Hrtf>

## Méthodes de mesure de la HRTF

Procéder concrètement à la mesure des fonctions de transfert d'une personne est moins simple qu'il ne pourrait y paraître de prime abord. Idéalement, la mesure doit être faite en chambre anéchoïque, afin de minimiser un maximum de réflexions primaires et de réverbération. Le matériel de diffusion des sources et les microphones utilisés pour l'enregistrement doivent être le plus neutre possible. Une mesure de la réponse de l'enceinte qui diffuse les sons sources devrait aussi être effectuée car les diagrammes de réponses de l'équipement utilisé servent à corriger les erreurs induites par celui-ci.

Pour obtenir une mesure de la pression acoustique réelle qui parvient aux oreilles, un microphone omnidirectionnel est inséré dans chacune d'entre elles. Un son source effectuant un balayage fréquentiel (sweep) est ensuite diffusé et enregistré par les microphones. En comparant les caractéristiques spectrales du son original à celles enregistrées, on obtient une mesure HRIR pour un contenu fréquentiel et une directivité donnée. Il est estimé que le cerveau peut percevoir une différence directionnelle dans une résolution aussi petite que  $2^\circ$ . Cependant, pour accélérer le processus et minimiser le nombre de données à recueillir, on utilise généralement un incrément entre  $15^\circ$  et  $30^\circ$  pour les mesures et les valeurs situées entre deux angles sont synthétisées par interpolation. La mesure complète de la HRTF d'un individu nécessite de répéter l'opération plusieurs fois, en variant la directivité et la fréquence du son source. Des mesures sont donc recueillies à la fois sur le plan horizontal, donc en azimut, ainsi qu'à différentes élévations. Ainsi, pour une même personne, plusieurs centaines de données différentes peuvent être collectées pour obtenir les fonctions de transfert personnalisées.

Il est aussi possible d'obtenir des mesures HRTF génériques en utilisant des mannequins communément appelés « dummy-head ». Principalement, le mannequin KEMAR, développé à des fins de recherches par G.R.A.S.<sup>14</sup> Sound and Vibrations, permet de modifier plusieurs

---

<sup>14</sup> Gunnar Rasmussen's Acoustic Systems

paramètres morphologiques et est régulièrement utilisé pour obtenir des mesures. En outre, il permet d'insérer différents moulages de pavillons de l'oreille. Ce procédé permet ainsi d'acquérir beaucoup de données sans imposer les nombreuses et longues étapes de mesure à une personne. En contrepartie, les mesures obtenues ne seront pas individualisées, mais plutôt basées sur des morphologies génériques. Par ailleurs, une base de données HRTF, utilisant différentes configurations du mannequin KEMAR a été créée par le MIT et est disponible gratuitement. Plusieurs logiciels HRTF utilisent ces mesures.

Plus récemment, des techniques de simulation numérique ont aussi été développées pour estimer les HRTF d'un sujet. Celles-ci restent actuellement expérimentales et moins précises que le processus de mesures réelles, mais elles font l'objet d'un développement continu et s'annoncent prometteuses et peu complexes à mettre en place.

## **Modes de Diffusion HRTF**

Pour une diffusion fonctionnelle en HRTF, une problématique générale existe et doit être résolue. En effet, bien que la fonction HRTF soit d'ordre général et que son principe s'applique à tous et toutes, son utilisation concrète nécessite d'être individualisée, constituant la principale contrainte de la méthode. Pour obtenir des résultats optimaux, tant au niveau binaural que sur enceintes, le mode de diffusion HRTF devrait être configuré et adapté à partir des fonctions de transfert propres à chaque auditeur. Ces dernières, comme nous l'avons vu, peuvent différer significativement d'une personne à une autre.

### **Systeme d'enceintes (conversion transaural)**

Pour une écoute sur enceintes, la méthode HRTF nécessite une disposition des enceintes personnalisée, ce qui la rend très difficilement utilisable pour plus d'un auditeur à la fois. Actuellement, peu de systèmes d'enceintes HRTF existent et ceux-ci sont principalement dédiés à des activités de recherche. Bien que ces derniers soient reconnus pour donner des résultats impressionnants, lorsque configurés spécifiquement pour un auditeur, ce prérequis fait en sorte que la méthode ne peut être concrètement envisagée pour des situations de concert

ou pour toutes autres formes de diffusion publique. Elles ne seront donc pas discuter davantage ici, car c'est plutôt l'utilisation binaurale de la méthode, plus simple à mettre en place, qui fait l'objet de développement.

## Synthèse binaurale

La HRTF est probablement la méthode de spatialisation la plus efficace, ou à tout le moins la plus répandu, pour une écoute au casque. Étant donné le caractère individuel des fonctions de transfert et la complexité d'obtention de ses propres mesures HRTF, différentes solutions ont été imaginées pour rendre la méthode accessible. Deux d'entre elles ont particulièrement été explorées celles-ci sont présentées ci-après.

### A) Modèle utilisant des statistiques moyennes

La plupart des outils existants proposent une seule ou un choix de configurations fixes, basées sur des caractéristiques morphologiques moyennes. Sommairement, il s'agit de comparer les différentes mesures d'une banque et d'essayer, à partir de ces données, de créer une fonction HRTF moyenne qui sera satisfaisante pour l'ensemble des gens. La précision de l'espace bidimensionnel ou tridimensionnel perçue variera d'un individu à l'autre, en fonction de la proximité des moyennes établies à ses propres caractéristiques physiologiques. Actuellement la grande majorité des logiciels proposant un mode HRTF se basent sur cette solution.

En 1993, Daniel Courville écrivait dans son mémoire intitulé Procédés et systèmes d'enregistrement et de reproduction sonores en trois dimensions ce qu'il imaginait pour l'avancement de la méthode HRTF :

« Le défi de la simulation binaurale et de la conversion transaurale s'articule maintenant autour de deux points: trouver un modèle statistique moyen satisfaisant de la fonction de transfert du système auditif humain et augmenter la puissance de traitement informatique pour permettre

une plus grande résolution dans la définition de la sphère d'audition et une meilleure élimination de la diaphonie. »<sup>15</sup>

Plus de 20 ans plus tard, si l'on peut constater que les problèmes de puissance informatique semblent avoir été surpassés, il en va autrement pour ce qui est de la définition d'un modèle moyen satisfaisant. En effet, bien que de nombreux systèmes HRTF basés sur cette idée aient été développés, aucun des modèles moyens proposés ne semble avoir véritablement su se distinguer. Si un modèle particulier peut s'avérer très fonctionnel chez un auditeur, l'espace apparaîtra flou et imprécis, voire complètement brouillon, chez un autre. Le constat à faire est peut-être que les morphologies et, par conséquent les fonctions de transfert, diffèrent de manière trop importante entre toutes les personnes pour qu'il soit possible de trouver une HRTF moyenne, qui serait convenable à tous. La recherche en ce sens continue cependant et peut-être un jour verrons nous émerger un modèle statistique moyen qui se démarquera significativement.

#### B) Bases de données de mesures HRTF

Une seconde solution existante consiste à mettre en place des banques de mesures HRTF parmi lesquelles un auditeur peut sélectionner celles qui lui correspondent le plus pour ainsi augmenter significativement la sensation d'espace multidimensionnel. Certains outils et logiciels incluent cette fonction, et permettent de tester différents ensembles de mesures HRTF ou HRIR, ou de charger les siennes si on les possède. Actuellement un peu moins courante, notamment parce qu'elle nécessite une implication de l'auditeur et des étapes additionnelles, cette méthode est néanmoins réputée pour donner des résultats généralement plus satisfaisants que la méthode basée sur les modèles de statistiques moyennes. Plusieurs bases de données importantes ont été développées par des organismes de recherche et sont disponibles gratuitement. Parmi les plus intéressantes, on retrouve les suivantes :

---

<sup>15</sup> Courville, Daniel. « *Procédés et systèmes d'enregistrement et de reproduction sonores en trois dimensions* ». Thèse (M. Comm). Université du Québec à Montréal

- La base de données LISTEN, développée par l'IRCAM en partenariat avec AKG, offre les mesures HRIR de 51 sujets et inclut 22 paramètres morphologiques pour chacun d'eux. Les mesures utilisent des angles d'élévation et d'azimut par incrément de 15°, pour un total de 187 positions par sujet. Elle est disponible gratuitement, mais n'est plus mise à jour depuis 2003.
- La base de données CIPIC compte plus de 2500 mesures prises chez 46 sujets. Les mesures ont été effectuées sur 25 coordonnées d'azimut et 50 élévations différentes. Celle-ci n'inclut cependant aucune information morphologique sur les sujets, ce qui peut la rendre complexe à utiliser.
- Un ensemble de données uniques a été développé au MIT à partir du mannequin KEMAR. 710 positions ont été échantillonnées, à différents angles et différentes élévations.

Le défi de cette solution est maintenant de permettre aux personnes utilisatrices d'arriver à trouver rapidement les mesures les plus susceptibles de leur convenir dans une base de données les HRTF. En ce sens, David Schonstein et Brian FG Katz ont cherché à développer un système qui permet de prédire et de proposer, à partir de données simples, les mesures qui risquent de correspondre le plus adéquatement à un auditeur. Leur publication *Sélection de HRTF dans une Base de données* en utilisant des paramètres morphologiques pour la synthèse binaurale propose d'utiliser certaines données morphologiques pour présélectionner et suggérer des mesures à un auditeur. Ils ont ainsi créé un algorithme qui, à partir principalement d'une photo de l'oreille, tente de prédire les HRTF qu'un sujet aurait lui-même jugées idéales parmi une banque. Concrètement, il s'agit d'un logiciel comprenant deux bases de données, une première comprenant des HRTF mesurées chez une pluralité de sujets et une seconde comprenant plusieurs paramètres morphologiques de ces derniers. Au total, 25 paramètres morphologiques ont été mesurés et inclus dans la base de données. Pour valider l'efficacité de leur système, les chercheurs ont demandé aux sujets d'élaborer un classement subjectif des HRTF de la base de données, en les ordonnant par ordre d'efficacité. Les listes développées par les participants ont ensuite été comparées aux prédictions effectuées par le

logiciel. Les résultats obtenus ont démontré que « ce processus est en mesure de prédire les HRTF pour un auditeur de façon significativement meilleure que si les HRTF avaient été choisies au hasard.<sup>16</sup> ». Le système créé par Schonstein et Katz fait d'ailleurs l'objet d'une demande de brevet, compte tenu de son fonctionnement unique et innovateur.

## **Intégration dans le processus de composition**

Pour l'intégration à la composition, l'intérêt de la méthode réside principalement dans son potentiel binaural. Composer des pièces destinées spécifiquement à une écoute au casque peut en être une première application. Cependant, selon moi, le plus intéressant serait d'avoir accès à des outils offrant un mode HRTF, mais utilisant une autre méthode de spatialisation pour le rendu sur enceintes. Ceci offrirait la possibilité de composer à partir d'un même outil, soit au casque ou sur enceintes. Il ne s'agirait pas à proprement parler d'une conversion transaural puisque la HRTF ne serait utilisée qu'en mode binaural et qu'une autre technique (VBAP ou ambisonie par exemple) assurerait la diffusion sur les systèmes d'enceintes.

Un tel outil ne serait pas forcément complexe à développer puisque la plupart des outils de spatialisation 2D existants utilisent des coordonnées cartésiennes pour la gestion du positionnement des sources. L'écriture des déplacements spatiaux se fait donc par l'échantillonnage des valeurs en axes de X et Y, qui sont enregistrées dans les séquenceurs sur des courbes d'automations. Il serait tout à fait pensable de conserver cette écriture de mouvements, tout en permettant de choisir une méthode de spatialisation adaptée au contexte de diffusion pour le rendu. À notre connaissance, il n'existe que très peu d'outils utilisant ce genre de procédé. En fait, en ce qui a trait à l'intégration aux séquenceurs, malgré une certaine abondance de l'offre, il existe étonnamment peu d'outils HRTF véritablement intéressants pour les compositeurs.

---

<sup>16</sup> Schonstein, D. et FG Katz, B. 2009. « Sélection de HRTF dans une Base de données ». Université Paris IX

## **Développement et perspectives d'avenir**

La technique HRTF est beaucoup explorée par les développeurs de jeux vidéo qui, depuis plusieurs années, cherchent ainsi à renforcer l'aspect immersif des productions. Plusieurs jeux proposent un mode HRTF binaural qui spatialise en temps réel les effets sonores et ambiances en reproduisant des environnements en trois dimensions. Ceux-ci utilisent généralement un modèle basé sur des moyennes qui, tel que discuté précédemment, donnera des résultats variables pour chacun. C'est peut-être pourquoi, bien qu'ils soient assez répandus, les modes HRTF ne semblent pas encore avoir su percer auprès des joueurs.

Personnellement, nous croyons que c'est avec les techniques de sélection dans une base de données que l'efficacité de la méthode continuera de progresser. Le défi consistera probablement à augmenter la taille des bases de données existantes (ou à en créer de nouvelles) et à mettre en place des systèmes permettant aux utilisateurs de trouver rapidement les ensembles de mesures qui devraient leur correspondre le mieux. Le travail de Schonstein et Katz offre une piste de solution pour y arriver, mais d'autres techniques peuvent aussi être imaginées. Avec l'avancement des technologies de reconnaissance biométrique, il est de plus en plus facile d'obtenir rapidement des informations morphologiques diverses. À partir de webcams ou de caméras par exemple, des logiciels spécialisés peuvent estimer différentes mesures des éléments corporels d'un sujet, et le nombre et l'efficacité de ces logiciels est en perpétuelle croissance. Plus nous aurons accès à des informations précises sur la morphologie d'une personne, plus il deviendra possible de trier, sélectionner et de lui suggérer des HRTF semblables aux siennes, à partir de bases de données. À moyen terme, la continuité de la recherche sur le sujet, la croissance de puissance des processeurs et la complexification des outils laissent entrevoir de belles choses pour la HRTF.



## **Chapitre 5 –Composition des pièces *Minimale sédation* et *Fondations***

### **Une brève histoire de la spatialisation en électroacoustique**

On trouve dans le répertoire de la musique électroacoustique plusieurs œuvres déterminantes en ce qui à trait à l'utilisation de l'espace. Dès 1955, la multiphonie est explorée de manière éloquente par Karlheinz Stockhausen dans sa pièce *Gesang de Junglinge*, pour cinq voix, généralement considérée comme la première œuvre électroacoustique multiphonique. Quelques années plus tard paraîtra *Kontakte*, en quadriphonie, et qui est aujourd'hui considérée comme une des œuvres phares du genre acousmatique. Notons également que l'on doit aussi à Stockhausen, avec la pièce *Gruppen*, composée pour trois orchestres, l'un des probants exemples de l'utilisation de l'espace en musique instrumentale. À la même époque, soit dans les années 60, un certain nombre de compositeurs dont Luigi Nono, Milton Babbitt et Luciano Berio commence aussi à intégrer un langage spatial à leurs travaux de composition. Ainsi, vers les années 70, la notion de « mise en espace du son » commence à se répandre plus largement chez les compositeurs. En musique populaire, le groupe rock Pink Floyd organise même une série de concerts quadriphoniques en 1967, où la spatialisation est effectuée en temps réel via le « Azimut Co-ordinator », un système de contrôle analogique créer spécifiquement pour cette tournée. Graduellement, au cours des années 80 et 90, le nombre et les formats de pièces multiphoniques se multiplient. En électroacoustique, le format octophonique s'établit comme un nouveau standard, et plusieurs compositeurs commencent à développer des stratégies pour arriver à une véritable écriture de la composante spatiale. À cette époque cependant, et, malgré l'émergence des systèmes de cinéma maison et de formats surround standardiser comme la 5.1, les outils sont encore loin d'être aussi performants et accessibles qu'ils ne le sont aujourd'hui. Les compositeurs doivent donc faire preuve d'ingéniosité, usant de différents stratagèmes et élaborant des techniques inusités afin de composer des pièces multiphoniques.

## Vers une immersion par l'espace

Néanmoins, malgré le travail des précurseurs mentionné plus tôt et celui de leurs contemporains, une véritable écriture musicale de l'espace reste, encore aujourd'hui, loin d'être généralisée en composition électroacoustique, et seule une minorité de compositeurs actifs s'intéresse sérieusement. Pourtant, tel que discuté dans les précédents chapitres, le nombre et la flexibilité des instruments disponibles est en constante croissance et, la venue de l'audio numérique a permis une véritable démocratisation de ces outils de composition. Car rappelons-le, il y a quelques années à peine, les studios de compositions électroacoustiques étaient nettement plus complexes à mettre en place, leur accessibilité était très limitée, et leur usage nécessitait de solides compétences techniques. De nos jours, la grande majorité des artistes du son possède leur studio personnel, et la mise en place d'un système de diffusion multiphonique n'a probablement jamais été aussi accessible. On peut donc s'interroger sur les raisons de cette « impopularité » quant à l'intégration du paramètre spatiale dans le discours musical électroacoustique, particulièrement si l'on considère que d'autres techniques apparues sensiblement à la même époque (pensons aux échantillonneurs, synthétiseurs et autres contrôleurs midi) sont maintenant bien ancrées dans les mœurs. D'aucuns suggéreront que ce manque d'intérêt pour le discours spatial est probablement représentatif du faible potentiel esthétique de ce paramètre. Car si celui-ci n'a pas véritablement émergé, c'est probablement parce qu'il n'a su séduire, tant les créateurs que les auditeurs. C'est un avis que je ne partage pas. Je crois plutôt que la véritable valeur artistique que renferme le travail de l'espace est encore loin d'avoir été entièrement découvert et que sa maîtrise, comme paramètre musical composable, n'a encore été qu'effleurée. Notamment, malgré les nombreux progrès technologiques des dernières années, bien des contraintes compliquent encore le développement d'une véritable écriture spatiale. Je pense entre autres au concept de « sweet spot », ce positionnement spécifique de l'auditeur, nécessaire au fonctionnement perceptif de l'ensemble des méthodes de spatialisation, dont celles traitées précédemment. Des méthodes comme la synthèse de fronts d'onde (Wave Field Synthesis), dont je n'ai malheureusement pas pu traiter ici, offrent des pistes de solution à ce problème, mais cette dernière demeure actuellement extrêmement complexe à mettre en place ce qui limite significativement son développement. À terme cependant, le potentiel que renferment ces nouvelles méthodes

pourrait se révéler très prometteur. Personnellement, bien que je ne puisse prédire quelle forme cela pourra prendre, j'ai la conviction que ne nous assisteront prochainement à des changements importants dans l'utilisation de la composante spatiale en musique. Bien qu'encore en émergence, je crois qu'une expérience renouvelée et augmentée de l'immersion par le son est à nos portes, et qu'une utilisation plus systématisée de l'espace comme véritable paramètre de composition représente une suite logique pour l'évolution des pratiques sonores et musicales.

## **Intentions et cheminement dans la composition des pièces**

À travers la composition des deux pièces dont je discuterai dans le présent chapitre, j'ai avant tout cherché à progresser dans mon travail artistique, ainsi qu'à développer de nouvelles stratégies de composition. La composition spatiale et la recherche d'un langage syntaxique de l'espace est évidemment au coeur du propos, mais, pour chacune des pièces, une exploration de nombreux autres éléments musicaux à fait partie de la démarche. Mes axes de travail compositionnel et mon cheminement dans les processus de création utilisés sont expliqués plus en détail dans le paragraphe suivant.

### **Élaboration de modes d'articulations spatiales**

*Minimale sédation* et *Fondations* ont en commun une recherche du développement de syntaxes musicales dans l'articulation des éléments spatiaux. Ce langage de l'espace cherche à s'illustrer à la fois par et dans les gestes musicaux discrets que dans ceux continus. Que ce soit à travers des mouvements lents et ininterrompus que par des séquences d'événements courts et ponctués, la recherche d'un vocabulaire multiphonique représente un pôle expressif majeur du travail et une préoccupation récurrente dans mes intentions compositionnelles. Généralement abordé de manière très instinctive, occasionnellement de façon plus réfléchie et intentionnelle, l'écriture spatiale, tel que je la travaille, demeure cependant toujours au service d'un discours esthétique, lui même fondé sur une approche relevant nettement plus du

sensoriel que du théorique. Ainsi, la construction d'une écriture syntaxique de l'espace ne s'ancre pas dans une conception raisonnée et préméditée du langage musical, mais souhaite plutôt se développer librement, sans les contraintes propres aux structures expressives déjà établies et standardiser. C'est donc le fait qu'il n'existe actuellement pas de codes proprement définis et normalisés pour l'écriture spatiale, autres que ceux purement basés sur notre expérience perceptive, qui constitue selon moi, certes une difficulté, mais aussi et surtout le principal intérêt d'une exploration de ce paramètre. Autrement dit, c'est en quelque sorte le fait qu'une chose n'existe pas qui permet de l'imaginer. Je suggère donc ne pas écouter les deux pièces proposées ici avec une perspective trop analytique de l'utilisation de l'espace, mais plutôt de s'en laisser imprégner naturellement et sans appréhension.

### Primauté du perceptif et de l'expérimentation

Mon travail musical et les intentions artistiques sous-jacentes de celui-ci se caractérisent par une priorisation délibérée du perceptif sur le conceptuel. J'entends ici que bien souvent, malgré ses mérites théoriques, un concept prometteur n'est pas forcément garant d'une qualité esthétique. À mon sens, la musique, et l'art plus globalement, constituent des méthodes d'expression qui se doivent d'être senties beaucoup plus que comprises. Ceci n'exclut ni ne diminue le moindre la valeur et la pertinence d'une érudition artistique; la culture et la connaissance ne peuvent généralement servir qu'à approfondir la compréhension d'une oeuvre, mais, dans sa fonction première, l'art doit s'adresser aux sens avant l'intellect. C'est cette notion que je qualifie de primauté du perceptif, et que j'ai constamment cherché à favoriser dans ma pratique de la musique. L'exploration et la manipulation plastique du matériau, de même que l'expérimentation avec les outils, souvent de façon presque naïve, occupent ainsi une place prédominante dans mon travail. Plus encore, elles représentent des étapes qui s'avèrent systématiquement déterminantes et qui vont largement influencer, voire réorienter de manière significative, le projet compositionnel, à la fois dans ce qu'il a de plus générales que dans ses constituantes spécifiques. En d'autres mots, je ne m'acharnerai habituellement pas longtemps sur des idées, des processus ou des matières sonores auxquels j'avais imaginé une intention, et qui refuseraient d'y répondre. Mon expérience m'a démontré que cela est habituellement vain. Ainsi, plutôt que de chercher à faire « plier » l'objet sonore à

l'intention, je préfère laisser ses qualités naturelles, tant plastiques que formelles, orienter les processus d'écriture qui composeront le discours de la pièce. Il va de même dans l'utilisation des outils que, malgré mon intérêt pour leurs fondements théoriques et leurs fonctionnements techniques (tel qu'en font foi les précédents chapitres), je cherche à aborder d'une manière instinctive et spontanée, voire presque ludique. Prioriser une connaissance de l'outil par l'expérimentation a comme visée, pour moi, de permettre de recentrer l'expérience sonore sur le sensible et le perceptif. Cette naïveté volontaire, presque orchestrée, dans la manipulation de l'instrumentarium compositionnel, permet un cheminement dénué de présupposés, et affranchie de la connaissance purement conceptuelle de l'outil, favorisant ainsi une approche du geste créatif dans ce qu'il a de plus brut et de plus instinctif. Fondamentalement, ces choix émanent d'une méfiance, encore là purement intuitive, envers la surintellectualisation des démarches artistiques, qui est, je crois, emblématique de notre époque. Il n'y a pas si longtemps, le compositeur John Cage suggérait que ce que nous considérons être de « l'expression personnelle », ne serait en fait qu'une infusion des diverses constructions sociales qui nous constitue. Dès lors pour en arriver à une expression artistique pure, libérée de l'illusion de la possibilité d'une véritable expressivité non construite, celui-ci proposait d'éliminer l'artiste du processus de création. Sans être aussi radical que lui dans ma vision des choses, je crois qu'au cours des dernières décennies, de nombreux milieux artistiques se sont égarés dans une course à l'inédit et au notionnel, oubliant par le fait même ce qui, pour moi, représente la véritable nature de l'art, soit une stimulation des sens. À travers la composition des deux pièces dont je discuterai maintenant, j'ai évidemment cherché à élaborer de nouvelles stratégies de composition, à réfléchir aux méthodes et processus de composition pertinents à ma vision artistique, à apprendre et à progresser dans ma pratique, mais avant tout, j'ai voulu tenter de faire des choses qui, si elles avaient été réalisées par quelqu'un d'autre, m'auraient interpellée. Je ne sais pas s'il me revient véritablement de déterminer si j'ai atteint ces objectifs, si tant est qu'il soit possible de le faire, mais je sais cependant que cette expérience s'est avérée des plus formatrice et que je ne regrette aucunement de m'y être plongé.

## **Minimale sédation**

### **Note de programme originale**

*Minimale Sédation* est une pièce nerveuse et sous médication pour batterie et électronique. Dans une sorte de canalisation de tensions rythmiques, la pièce explore l'interaction entre le jeu percussif, la synthèse sonore et l'espace octophonique. L'utilisation de l'ambisonie comme méthode de spatialisation y agit à titre de sédatif pour l'auditeur, et est destinée à un apaisement rapide des symptômes d'anxiété que peut engendrer cette construction désordonnée. Des complications restent possibles, mais les capacités analgésiques du percussionniste João Catalão arrivent généralement à limiter les intrusions au système nerveux.

### **Démarche et intentions**

Au fondement du projet, était l'intention d'explorer les dialogues possibles entre la bande et la batterie. Ayant toujours été très intéressé par le langage percussif, j'ai souhaité me plonger dans l'écriture rythmique et y expérimenter avec le phrasé musical. Au niveau de l'électronique, le projet représentait aussi une occasion de poursuivre mon intérêt pour la composition multiphonique, en développant différents types d'interactions entre l'instrument et la composante spatiale des sons fixés. La composition de la pièce m'a subséquemment permis de me familiariser avec l'ambisonie comme méthode de spatialisation, ainsi qu'avec les outils qui y sont associés. Par ailleurs, considérant que les pièces mixtes écrites pour batterie sont peu fréquentes, l'exercice me semblait comporter un aspect exploratoire additionnel stimulant. *Minimale Sédation* a également constitué pour moi une première expérience de composition de pièce mixte pour batterie et percussion. Au moment de la composition de la pièce, je n'avais eu que quelques occasions de travailler avec des instrumentistes. De plus, comme la majorité de ces expériences était basée sur l'improvisation, les musiques n'ont pas véritablement fait l'objet d'une écriture de partition. Par la composition de *Minimale Sédation*, je donc souhaité enrichir mon bagage musical, principalement axé sur la composition acousmatique, en me familiarisant avec l'écriture instrumentale.

Le processus de composition s'est globalement déroulé en trois étapes importantes : le choix et la mise en place d'une stratégie de spatialisation, le développement de matériaux sonores et, finalement, la composition et l'écriture des parties bande et partition, qui a été réalisée parallèlement.

## **Méthode de spatialisation**

J'ai choisi d'utiliser l'ambisonie pour la composante spatiale de la pièce, ce qui constituait pour moi une première expérience avec cette méthode. L'intérêt de ce choix se situait aussi à différents niveaux que j'expliquerai ci-après.

Le travail en ambisonie a constitué un apprentissage pratique et théorique très pertinent pour ma démarche. Étant à ce moment déjà engagé dans un processus de recherche sur les méthodes de spatialisation, notamment par mon implication au Groupe de Recherche en Immersion Spatial (GRIS), l'utilisation de l'ambisonie a représenté une occasion de découvrir et comprendre le fonctionnement de la méthode, tel que décrit le chapitre sur ce sujet. Configurer et faire fonctionner des outils ambisoniques requiert une bonne compréhension de la méthode et ce travail, qui s'est d'ailleurs avéré plus complexe que je ne l'imaginais au départ. En pratique, un nombre limité d'outils de spatialisation basés sur l'ambisonie existent. Après avoir évalué les quelques options qui s'offraient à moi, j'ai tôt fait de constater qu'il n'y aurait concrètement qu'une seule banque de plugiciels véritablement adaptée à mes besoins, soit la suite *Ambisonic Studio* développée par Daniel Courville. Les articles publiés sur son site ont aussi constitué une ressource importante lors de mes recherches sur le sujet et je tiens d'ailleurs à le remercier, puisque celui-ci m'a été d'une aide précieuse en acceptant de répondre à mes nombreuses questions. Le choix de cette méthode m'a ainsi amené un apprentissage à la fois sur le plan technique, par une utilisation concrète de la méthode, et théorique, par le travail de recherche qui y a été associé.

Le travail en ambisonie a aussi constitué une exploration esthétique pour moi, puisque la méthode est dotée de caractéristiques sonores particulières. La composition de *Minimale*

*Sédation* m'a permis d'en faire concrètement le constat, et d'apprendre à reconnaître et utiliser ces composantes. Il est difficile d'exprimer clairement en quoi consiste ces caractéristiques et on s'interroge parfois même sur les effets perceptibles qui leurs sont attribuables. Bien que ce phénomène de « présence » ambisonique soit relativement discret, la coloration spectrale qui y est associée constitue un trait esthétique notable de la méthode et représente certainement un élément non négligeable pour les compositeurs. La seule véritable façon de la comprendre est probablement d'en faire l'expérience à travers un projet utilisant cette méthode. Personnellement, je crois que cette caractéristique peut contribuer à amener un élément d'unité à l'ensemble d'une pièce, tel que ce fut le cas pour *Minimale Sédation*. Je note cependant que c'est lors des passages moins mouvementés, où le paysage est plus statique et les déplacements lents que la méthode m'a semblé atteindre son plein potentiel. Il est donc fort probable que j'utilise à nouveau cette méthode pour des projets adoptant ce genre d'orientation esthétique.

Finalement, c'est aussi beaucoup l'aspect compatibilité qui a motivé le choix d'utiliser cette méthode. La possibilité d'exporter une pièce vers tous les types de formats est un avantage particulier à l'ambisonie qui peut s'avérer extrêmement pratique. En effet, durant tout le processus de composition de la bande, j'ai alterné entre mon studio personnel, qui était configuré en quadriphonie, et celui octophonique de l'Université de Montréal. Un système d'encodeurs et décodeurs en ambisonie de troisième ordre, créé avec les plugiciels B2X, m'a permis d'adapter les configurations de sortie en fonction du lieu où je travaillais, pour ultimement procéder au rendu final en octophonie.



## Processus de composition

### Création d'une banque de son et composition de la bande

Pour la fabrication des matériaux sonores qui ont servis à la composition de la bande de *Minimale Sédation*, j'ai choisi d'utiliser des techniques que je n'avais pas encore véritablement explorées. Le but de cette démarche était de trouver pour la pièce, une esthétique propre qui différerait significativement de mes créations précédentes. Après avoir composé plusieurs pièces durant mon parcours au baccalauréat, j'avais l'impression de beaucoup réutiliser les mêmes stratégies pour la génération de matières musicales. Le défi était donc de développer de nouvelles techniques et de maîtriser de nouveaux outils, afin de continuer à progresser dans mon cheminement. Une large partie des éléments sonores utilisés dans la pièce est ainsi issue de différents procédés de synthèse sonore, une méthode que j'avais peu touché jusque là. Un patch Max-MSP, des modules du logiciel Cecilia ainsi que plusieurs plugiciels ont ainsi servi à créer des matériaux pour la pièce. À cela se sont ajoutées différentes stratégies de traitement de signal, de la granulation au filtrage en passant par la convolution. On retrouve très peu de sons d'origine concrète dans toute la pièce et, lorsqu'il y en a, l'utilisation de traitement rend les sources difficilement reconnaissables. Sauf quelques exceptions, les seuls sons concerts utilisés dans la pièce proviennent d'instruments percussifs enregistrés avec l'interprète au début du projet. Le travail de la bande est discuté plus spécifiquement dans l'analyse des sections de la pièce.

### Écriture instrumentale

La majorité des sections de la pièce utilise des tempos très rapides, à 170 bpm et 160 bpm, dans une métrique en 7/4. Cette vitesse rapide peut ajouter un niveau de difficulté à l'apprentissage de la pièce et c'est pourquoi il fut nécessaire de valider régulièrement la faisabilité des passages écrits avec l'interprète. La création de la pièce a eu lieu au de fin de doctorat du percussionniste João Catalão. Considérant que la pièce est complexe à apprendre il fut important de travailler conjointement avec lui afin de s'assurer qu'il serait suffisamment à l'aise pour offrir une interprétation à la hauteur de nos attentes. Ainsi, la composition s'est

ainsi faite de manière segmentée, où, pour chacune des quatre sections de la pièce, un premier jet était envoyé à l'instrumentiste, accompagné d'une réduction stéréo de la bande. De cette manière, celui-ci avait l'occasion de regarder la partition, de faire quelques essais, puis de me partager ses commentaires et suggestions. Cet exercice avait comme principal visée de s'assurer que l'écriture était optimisée pour rendre la lecture de la partition fluide, ainsi que de vérifier la faisabilité de certains passages. De cette manière, suite à la réception de ses commentaires, des corrections et parfois la réécriture de certains passages étaient effectuées pour tenir compte des suggestions de l'interprète. L'utilisation de tempos rapides peut rendre difficile l'exécution de certains enchaînements et certaines phrases, et il s'est parfois avéré plus simple d'effectuer des modifications que demander à l'interprète de mettre beaucoup de temps sur un passage.

L'écriture de la partition a donc été un processus de collaboration constitué de nombreux aller-retour et plusieurs étapes de correction et de réécriture. Après la première diffusion dans le cadre du récital de João Catalão, j'ai été invité à présenter de nouveau la pièce dans le cadre d'un concert à l'Usine C organisé par la société Code d'Accès. Fort d'une première expérience, nous avons entrepris de retravailler certains éléments de la pièce que je considérais moins réussis afin d'arriver à une version plus complète. Une seconde séquence de répétition en commun a ainsi eu lieu et a permis d'apporter des changements permettant d'arriver à un résultat plus proche de ce que j'imaginai. C'est celle-ci qui a fait l'objet de l'enregistrement final de la pièce.

## Analyse des sections de la pièce

### Section 1 (introduction) - (0 :00 à 2 :41)

Tempo: 170bpm

Métrique: 7/4

Instrumentation: Percussions variées

Pour cette première section de la pièce, l'écriture des éléments percussifs est principalement utilisée pour ponctuer le dénouement musical de la bande, à travers une recherche de complémentarité entre les sons fixés et les éléments joués. L'instrumentarium utilisé est constitué d'un spring drum, des cymbales et du berra-boi. Plusieurs techniques de jeu doivent cependant être employées par l'interprète, particulièrement en ce qui a trait aux cymbales, où celui-ci est appelé à jouer à l'aide de différents types de baguettes et d'archets, afin de créer une variété d'effets et de timbres :

The image shows a musical score for percussion instruments, consisting of three staves. The first staff (measures 35-44) features a 'loco' section with dynamics *f* and *mf*, and a 'Spring Drum' section. The second staff (measures 45-55) includes 'arco' and 'Lv.' markings, and a 'baguette de caisse' section with dynamics *mp*, *p*, and *p*. The third staff (measures 56-58) features a 'baguette de caisse' section with dynamics *ppp*, *mf*, and *p*, and a 'Démon (berra-boi)' section. The score includes various percussion symbols, such as cymbals and drums, and dynamic markings like *f*, *mf*, *mp*, *p*, and *ppp*. There are also performance instructions like 'loco', 'arco', 'Lv.', 'frotter avec le bout de la bg. de caisse', and 'Spring Drum'.

La partie bande se caractérise par un contraste important de timbres et de registres entre deux voix distinctes d'éléments composés. Le registre des bases fréquences présente en majorité des trames, grosses notes et autres types d'éléments filés, caractérisés par des attaques lentes et peu définies, venant ainsi créer un effet englobant et une sensation de

continuité tout au long de cette section de la pièce. À l'inverse, le registre moyen aigu contient des éléments ponctués très définis, qui se présentent principalement sous la forme de courtes articulations, parfois d'itérations, et qui viennent, avec la partie percussions, occuper le premier plan de l'espace sonore. C'est spécifiquement à ce niveau que l'interaction entre la bande et l'interprète se situe, et où les différentes voix cherchent essentiellement à se compléter, plutôt qu'à se fusionner dans leurs interventions.

Au niveau de la spatialisation, la profondeur réelle de l'espace sonore est démontrée sans être encore véritablement investie. L'écriture des mouvements spatiaux de cette section se veut à la fois dynamique et rapide sans cependant être trop prononcée. Les déplacements s'y veulent brefs et concernent principalement les micro-éléments et les courtes articulations. L'ensemble de cette section se veut fondamentalement une mise en contexte, où plusieurs éléments du langage musical et spatial utilisé durant la pièce sont présentés, sans cependant être complètement dévoilés. L'omniprésence d'une certaine tension tout au long du mouvement laisse aussi présager la nature de la section suivante.

## Section 2 - (2 :41 à 4 :24)

Tempo 170bpm :

Métrique 7/4

Instrumentation : Batterie

La deuxième section introduit la batterie, et se veut un dialogue rythmique, dynamique et structurel entre la bande et l'instrument. Le jeu du percussionniste utilise comme élément central le charleston (ou hi-hat), et c'est principalement autour de celui-ci que le discours instrumental est orienté. Pour cette section, j'ai souhaité que l'interaction entre l'électronique et la batterie s'illustre à travers trois processus d'écriture spécifiques que j'ai développés, et à partir desquels est construite la composition des phrases musicales. C'est donc principalement à partir de ceux-ci que s'organise le langage compositionnel de cette partie de la pièce.

**Déclenchements :** L'effet perceptif que j'ai cherché à créer est la suggestion que l'une des deux voix (instrument ou bande) est directement responsable de l'apparition d'un élément sur l'autre, amenant ainsi une impression de rapport cause à effet. Ce type d'intervention est utilisé dans la pièce de manière très brève et non systématisé, survenant rapidement et de façon inattendue à l'intérieur de certaines phrases musicales.

**Reproductions :** Le processus développé ici se veut en quelque sorte l'imitation par l'instrument d'une phrase ou d'une articulation entendue sur la bande, ou l'inverse. En effet, certains des matériaux sonores de la bande ont été sélectionnés spécifiquement parce qu'il décrivait une évolution rythmique tangible, et donc un potentiel de reproductivité en éléments percussifs. Ce processus ne concerne que l'évolution temporelle et dynamique des sonorités, et les timbres de la bande et l'instrument diffèrent et ne cherche pas à s'imiter. Cette technique d'écriture a été utilisée en synchronisme entre les deux voix où en différée l'une de l'autre.

**Actions/réponses :** Un peu comme durant l'introduction, les deux parties sont ici en réaction l'une avec l'autre, sans toutefois qu'il s'agisse d'un rapport de déclenchement, où un élément en engendre un autre. De cette manière, un geste musical distinct au niveau de la bande amènera une réponse directe de l'instrument. Des exemples de l'utilisation de ce processus peuvent être entendus à la fin de cette section, soit particulièrement au cours des mesures 97 à 104, ce qui correspond temporellement aux minutes 3 :50 à 4 :10 sur la bande.

### Section 3 (4 :25 à 7 :03)

Tempo : 80bpm

Métrie : 4/4 :

Instrumentation : Toms – casseroles - Archets sur cymbales

En contraste avec celles qui la précèdent, la troisième section de la pièce utilise, tant au niveau de la bande que de la partition, un discours nettement plus lent et répétitif.

L'instrumentiste y est d'abord appelé à effectuer une série de crescendo/diminuendo percussifs sur les toms et la casserole. Ces phrases viennent créer une séquence de vagues sonores qui s'approche et s'éloigne graduellement :

The image shows a musical score for three staves, numbered 115, 118, and 121. Each staff contains rhythmic notation with notes and rests. The notation is repetitive and features dynamic markings such as crescendo and diminuendo. The first staff (115) shows a sequence of notes with a crescendo. The second staff (118) shows a sequence of notes with a diminuendo. The third staff (121) shows a sequence of notes with a crescendo, followed by a rest and then a sequence of notes with a diminuendo. The notation is simple and focuses on rhythm and dynamics.

Ici, la bande et la partie instrumentale ne cherchent pas à se fusionner ni s'opposer l'une à l'autre, mais doivent plutôt être pensées comme une juxtaposition de deux éléments, à la fois semblables et différents. La similarité entre les deux voix peut être perçue dans l'évolution dynamique des phrases musicales, et la différenciation dans la vitesse d'exécution, le synchronisme des mouvements ainsi que dans les timbres. Ces séquences de progressions se veulent hypnotique et cherchent à amener dans la pièce une sorte de pause, telle une décontraction après une grande tension, et qui annonce la section finale, dont le contenu est aussi très chargé.

Une partie de la matière utilisée pour générer la bande provient de l'enregistrement d'archets sur cymbales, traités de façon à créer les phrasées rythmiques que nous venons de discuter. Progressivement, ce même matériau, non traité, apparaîtra au second plan de la bande et deviendra de plus distinct. Une séquence de transition (environ à 6 :10), permet de faire sortir les éléments rythmiques, à la fois de la bande et de l'instrument, et de voir émerger la conclusion de cette section, qui se veut un mélange entre les timbres de cymbales frottées de l'instrument et ceux préenregistrés.

À partir de la mesure 140, il est ainsi demandé à l'interprète de faire graduellement apparaître le son des archets sur le charleston, tout en fermant progressivement les cymbales, ce qui vient en densifier le timbre. Celui-ci doit suivre l'évolution de la bande, tout en augmentant progressivement le niveau, dans un crescendo qui se conclura subitement à la fin de la section, mesure 158 :

Utiliser les deux archets sur le hi-hat ouvert pour produire un son continu.  
 Fermer les cymbales petit à petit (suivre la bande).

140 1 2 3 4 5 6 7

*ppp*

148 8 9 10 11 12 13 14 15

156 16

allumer les timbres *ppp*

## Section 4 (7:03 à 10:14)

Tempo : 160bpm

Métrique : 7/4 :

Instrumentation : Batterie

Pour cette dernière partie de la pièce, je souhaitais introduire des éléments mélodiques et harmoniques ainsi que faire appel à un mode de jeu plus conventionnel pour la batterie. Au niveau instrumentale, cette section est imprégnée d'influence stylistique et d'éléments empruntés à la musique populaire, plus particulièrement à deux genres, soit le Drum and Bass et le Rock. Ceci fait en sorte qu'elle présente probablement un niveau de difficulté légèrement moindre pour l'interprète, malgré l'utilisation d'un tempo à 160 bpm. Contrairement à la section 2, où les phrases sont généralement très différentes les unes des autres et n'offrent donc pas véritablement de repère à l'interprète, les cellules rythmiques développées ici sont souvent des variations sur un même motif, et donc plus similaires entre elles. Ici, les références à la musique populaire sont tangibles et assumées, elles témoignent d'un intérêt personnel pour l'utilisation de la batterie dans les genres mentionnés plus tôt. Les phrases musicales développées sont aussi fréquemment réutilisées. Par exemple, le motif rythmique des premières mesures de la section :

Minimale sédation 7

♩ = 160

159

**>f** bague de caisse

161



réapparaît de façon différente plus tard (mesures 224, 225 et 226) :

The image shows a musical score for two staves. The top staff is labeled '223' and the bottom staff is labeled '225'. The music consists of rhythmic patterns with many 'x' marks above notes, indicating specific articulation or performance instructions. A dynamic marking 'mf crescendo poco a poco' is present between the staves.

Malgré plusieurs moments ponctués, cette dernière section se veut néanmoins une constante progression vers un climax qui vient conclure la pièce. Ainsi, l'ultime minute de la pièce adopte une esthétique de plus en plus chaotique et désordonnée, où l'accumulation des matériaux vient graduellement saturer le spectre et l'espace. Durant ces dernières mesures, l'interprète à la liberté d'improviser et composer des nouveaux motifs à partir des cellules déjà présentes dans la section, ou simplement de les reprendre intégralement en les répétant et les réordonnant librement.

## Conclusion

*Minimale Sédation* a constitué pour moi une première expérience concrète de composition de musique mixte, ainsi qu'une occasion de découvrir l'ambisonie comme technique de spatialisation. Le défi était grand et j'ai énormément appris à travers l'ensemble de ce processus de création. Ayant peu eu l'occasion de travaillé directement avec des interprètes dans mes projets, l'expérience s'est révélée d'autant plus enrichissante. Le travail acousmatique, permet d'exercer un contrôle important sur chacune des étapes de création, qui fait en sorte que peu de choses sont laissées au hasard. La composition de pièces mixtes est très différente à plusieurs niveaux. Entre autres, le fait de devoir communiquer aux musiciens les intentions derrière la musique et les attentes à leur égard peut être moins simple qu'il n'y paraît de prime abord. L'écriture instrumentale est en soi un exercice très complexe et il est souvent bien difficile d'expliquer avec précision au musicien la manière dont on imagine

concrètement l'interprétation. Je crois qu'en musique mixte, contrairement au travail acousmatique où l'on peut arriver à niveau de contrôle extrêmement précis sur le travail, il est très difficile, du moins avant une première interprétation, d'anticiper quel sera véritablement le résultat du travail. Et c'est peut-être justement là que l'exercice prend son sens, dans ce lâché prise sur le détail que le compositeur doit opérer, au profit d'une vision à la fois plus générale et spécifique de l'œuvre, où la musicalité trouvera son chemin si elle est exprimée intelligemment à travers le médium qu'est la partition. La composition de *Minimale Sédation* aura été pour moi une occasion de réfléchir différemment à la musique et au travail du compositeur, et ainsi que de comprendre ce que sont à la fois les forces et les difficultés de la musique mixte.

# *Fondations*

## Note de programme

Fondations est une pièce octophonique en deux parties, où la manipulation de l'espace est au cœur du propos musical. La pièce est née d'un désir d'intégrer le propos politique et social à l'intérieur des différentes étapes du processus de création. La démarche ici n'est pas de créer une œuvre engagée mais plutôt d'utiliser le contexte politique comme source pour, puiser à la fois de l'inspiration, de l'information et des matériaux sonores, mais aussi pour réfléchir aux enjeux et réalités sociales du XXIème siècle. La démarche en donc une de réflexion sur comment ces éléments peuvent s'intégrer et influencer dans un processus de composition électroacoustique. La pièce est constituée de deux parties et quatre mouvements.

Pour la première partie, Fondations, des enregistrements provenant de manifestations et de différents rassemblements de contestation ont été utilisés. La voix humaine n'est cependant pas utilisée ici pour ses qualités sémantiques, ni comme élément narratif, mais plutôt pour la nature symbolique de ce type d'enregistrement (foule, slogans contestataires, chants, etc.), ainsi que pour la charge émotive que ce matériau peut contenir. Le mélange de ces éléments vocaux, issus de différents lieux et en plusieurs langues n'y est donc pas destiné à créer des propos intelligibles. L'utilisation de la voix doit plutôt être reçue comme la manipulation d'une matière sonore, avec laquelle nous sommes tous très familiers, mais qui a été dépouillée de son système de signification. Ne reste que les tonalités, les timbres et les éléments impressionnables. C'est donc par la pratique d'une véritable écoute acousmatique que la première partie de la pièce doit être entendue, où l'auditeur est invité à faire abstraction de la source du matériau, pour se laisser porter par un flot sonore à la fois familier et abstrait.

La deuxième partie Poèmes pour les toits d'Iran, utilise aussi majoritairement la voix humaine, mais aborde la matière d'un autre angle. Chacun des deux mouvements utilise intégralement un des poèmes, récité et enregistré anonymement par une femme de Téhéran, durant les élections nationales de 2009. Les textes étant en langue persane, il ne s'agit donc pas d'utiliser le texte pour son aspect narratif, puisque cette information n'est pas destinée à être comprise par l'auditeur, mais plutôt comme lignes directrices à la structure des

mouvements. Cette deuxième partie se veut un hommage au peuple Iranien. Ces éléments seront discutés davantage lors de l'analyse de la pièce.

## **Structure de la pièce**

### **Partie 1- Fondations**

- Mouvement 1 :
  - A) Grondements (0:00 à 2:43)
  - B) Passage (2:44 à 3:53)
- Mouvement 2 : Colères (3 :54 à 6 :44)

### **Partie 2 - Poèmes pour les toits d'Iran**

- Mouvement 3 : Transmission (6 :45 à 10 :21)
- Mouvement 4 : Inja Kojast (10 :21 à 17 :58)

## **Processus de composition**

### **Matériaux et constitution d'une banque de sons**

Tel qu'expliquer ci-haut, le principal matériau sonore employé pour la composition de la pièce est la voix humaine. Plus spécifiquement, il s'agit d'échantillons sonores provenant de manifestations, survenues dans de nombreuses parties du monde. Contrairement à l'ensemble de mes autres compositions électroacoustiques, où la majorité des éléments sonores utilisés est issue de mes propres prises de sons, j'étais ici intéressé à voir quels résultats peuvent être obtenus en travaillant à partir de matériel que l'on pourrait qualifier « d'archives ». Essentiellement, la banque sonore créée pour la pièce utilise des fichiers récupérés sur différents sites et plateformes de partage web. Le développement des matériaux a nécessité plusieurs mois de recherche, sélection, capture, tri, édition et traitement de fichiers sonores. Ce sont principalement des reportages et des vidéos amateurs, enregistrés par des participants lors d'événements, qui ont été utilisés pour générer le matériel. Une partie importante du défi de création fut de trouver des échantillons intéressants et d'une qualité suffisante pour être

employés. La qualité sonore des archives disponibles laisse souvent à désirer et il m'a fallu écouter une quantité importante de matériel avant d'arriver à constituer une banque suffisante pour le projet que je souhaitais réaliser. Une ressource intéressante que j'ai pu découvrir est la chaîne No comment du site Euronews, qui offre des reportages en images et en sons sur différents événements internationaux, sans aucun commentaire ajouté et dont le contenu est « creative common ».

Au total, l'audio de plus d'une centaine de vidéos a été extrait pour constituer le matériel de la banque. Une deuxième étape d'écoute et de tri a ensuite eu lieu, où la majorité des fichiers sélectionnés ont été nettoyés à l'aide du logiciel Izotope RX, qui se dédie spécifiquement à la restauration audio et la suppression de bruit de fond. Une fois le nettoyage effectué, la plupart des fichiers ont été découpés en différents segments, pour être ensuite classés en fonction de leur nature. La stratégie utilisée pour le classement des sons découle directement de la création d'instruments spécifiquement pour la pièce, tel que cela expliqué dans la section suivante.

### Utilisation d'échantillonneurs

Pour la gestion et l'utilisation des matériaux sonores, j'ai choisi de développer des outils à l'aide d'échantillonneurs. Outre l'aspect pratique de ce choix, j'ai souhaité utiliser cette méthode afin de développer et tester de nouvelles techniques de composition. Bien que certains des instruments ont été créés spécifiquement pour cette pièce, d'autres ont été pensés pour pouvoir être réutilisés lors de projets ultérieurs. J'ai choisi le plugiciel d'échantillonnage Kontakt pour développer les instruments. Doté d'une grande flexibilité, celui-ci permet d'importer des fichiers sonores mono ou stéréo, de n'importe quelle durée, et de procéder à des manipulations d'édition à l'intérieur même du plugiciel. Par exemple, il est possible de déterminer les points de départ et de fin de lecture précis, de créer des fondus, de normaliser et contrôler l'amplitude, de transposer, de même que de nombreuses autres opérations. Chaque échantillon peut être assigné à une ou plusieurs touches du clavier virtuel, qui peut ensuite être contrôlé par une interface midi. J'ai utilisé un contrôleur *Axiom 25* du fabricant M-Audio lors de la composition. Les quatre outils suivants ont ainsi été créés avec Kontakt, mais ceux-ci peuvent être exportés vers différents formats, les rendant utilisables dans d'autres échantillonneurs.

## **Révolution**

Révolution est le premier et principal outil développé pour la pièce. Celui-ci contient 79 échantillons sonores provenant de voix humaines d'assez courtes durées (quelques secondes au plus). Dans la classification typo-morphologique proposé par Schaeffer, ceux-ci correspondraient principalement à des sons de type X, N, Y, et occasionnellement W. Globalement toutefois, il s'agit de sons où plusieurs voix humaines sont accumulées, par exemple lorsqu'une foule dense scande un slogan. Cette précision est importante puisqu'il s'agit d'une distinction avec l'instrument suivant. La première section de la pièce *Grondement* fournit un exemple clair de l'utilisation de cet instrument.

## **Solo**

À l'inverse du précédent l'instrument Solo contient, des échantillons sonores où l'on entend distinctement une seule personne parler. Des voix d'hommes et de femmes y sont reconnaissables, bien qu'en différentes langues, et aucun traitement ne venant altérer significativement la nature du matériau n'a été appliqué. L'instrument a surtout été utilisé pour les mouvements *Colères* et *Inja Kojast*.

## **Trames**

Tel que son nom l'indique, cet instrument contient la plupart des trames qui ont été utilisées dans la pièce. Plusieurs de celles-ci sont issues des matériaux collectés pour la pièce, qui ont été modifiées par différents traitements, notamment la granulation et la transposition. Quelques autres trames, créées dans d'autres contextes, font aussi partie des 43 fichiers qui constituent l'instrument. L'utilisation de ce procédé de composition par échantillonneurs s'est avérée très intéressante car elle permet d'essayer et d'entendre rapidement différentes combinaisons de sons. Ainsi, si la superposition de deux trames de la même famille peut parfois donner des résultats étonnants, la combinaison de sons de natures très différentes peut aussi créer des sonorités entièrement nouvelles. Comme c'est souvent le cas, c'est en procédant par

essais/erreurs et en explorant différentes possibilités que je suis arrivé aux résultats qui m'apparaissent des plus intéressants.

### **Impulsion**

Impulsion contient des sons aux attaques rapides de profil abrupt ou raide, et généralement de très courtes durées, qu'on pourrait qualifier de percussifs ou explosifs. L'instrument, contrairement aux précédents, utilise peu de son provenant de la banque créée spécifiquement pour le projet. En fait, il regroupe une variété d'éléments, à la fois d'origines synthétiques et concrets, provenant de ma banque de sons principale. Ceux-ci ont été sélectionnés moins en fonction du critère de masse, tel que défini par Schaeffer dans son solfège de l'objet sonore, que de celui de dynamique. Généralement, l'instrument a été utilisé pour marquer des transitions franches entre des phrases musicales, et parfois pour les ponctuer. Impulsion est un instrument que j'ai depuis mis-à-jour et réutilisé à plusieurs reprises pour d'autres projets. Il compte actuellement près de 90 échantillons sonores.

### **Techniques et outils de spatialisation**

*Fondations* a été composé directement en multiphonie. L'écriture spatiale constitue un élément déterminant du langage musical que je souhaitais développer et c'est pourquoi le travail spatial ce devait d'être intégré directement au processus de composition.

Le principale élément qui a dirigé mon choix vers Kontakt sa flexibilité au niveau des sorties. Le plugiciel est disponible en format de 8, 16 et 64 sorties indépendantes, et chaque échantillon peut ainsi être assigné à une ou plusieurs sorties. À partir des sorties, j'avais la possibilité de coupler l'échantillonneur à une version 8x8 des plugiciels Octogris et ReaSurround, pour obtenir huit sources indépendantes, pouvant être déplacées librement dans l'espace.

Pour l'assignation des fichiers sonores dans chacun des instruments, la même méthode a été utilisée. Les échantillons sont d'abord regroupés par famille quant une même matière première

a servi à générer plusieurs fichiers. Puis, les groupes ainsi que les sons individuels sont implémentés dans le logiciel en fonction de la hauteur perçue. Cette dernière étape demeure subjective, compte tenu de la composition harmonique souvent riche et complexe des matériaux et, dans certains cas, de leur nature évolutive. Globalement cependant, les sons perçus comme les plus bas sont assignés aux octaves les plus basses du clavier, et ainsi de suite.

La pièce a majoritairement été créée dans mon studio personnel et partiellement dans le studio octophonique de la faculté de musique. Mon système de diffusion était alors configuré avec six enceintes, disposées circulairement. Comme je souhaitais que la pièce se destine ultimement au format octophonique, il fut nécessaire de déterminer et mettre en place différentes stratégies techniques avant de pouvoir véritablement entamer le processus de composition. Il s'agissait aussi pour moi l'occasion de tester de nouveaux outils de spatialisation que je n'avais pas encore utilisés. J'ai choisi d'utiliser principalement le logiciel ReaSurround, discuté dans la section sur VBAP, puisqu'il offre l'avantage de permettre l'export d'une même pièce composée en multiphonie vers n'importe quel format de diffusion. Ceci rend possible le déplacement de sources dans un espace virtuel, et l'écriture des déplacements et les courbes d'automatisation associées peuvent être conservées et ensuite adaptées à différentes configurations d'enceintes. 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 système de diffusion. Par exemple, avec les outils standards, pour une octophonie qui serait diffusée sur un système comptant deux fois plus d'enceintes, soit 16, la seule option est de doubler chacun des 8 canaux, ce qui, à proprement parler, n'augmente pas la résolution et ne fait que dupliquer un même signal. Avec l'utilisation de Reasurround, les courbes d'automatisation et de déplacements écrites sont conservées et peuvent être exportées vers 16 canaux, ce qui augmentera grandement la précision des mouvements spatiaux et l'espace virtuel. En terminant sur le sujet, mentionnons qu'une version HRTF de la pièce est actuellement en chantier.



## Analyse des sections de la pièce

### **Première partie : *Fondations***

- Mouvement 1 – *Grondements, Passage* (0 :00 à 3 :53)

#### **A) *Grondements* – 0:00 à 2:43**

Cette section introduit à l'auditeur l'espace ainsi que le type de matériaux auxquels il sera exposé tout au long de la pièce. Il s'agit probablement du passage de la pièce où ces éléments sont le plus accentués. Les matériaux sont issus d'éléments vocaux auxquels plusieurs couches de traitement, notamment filtrage, contraction/expansion et FFT, ont été appliqués. Bien que ceux-ci soit nettement dénaturés, je voulais que l'origine du matériau subsiste encore et qu'on puisse en deviner la provenance, même si celle-ci est quasi imperceptible. Graduellement pendant la section, celui-ci dévoile un peu plus d'indices sur sa nature et la source en devient plus distincte, sans pourtant se révéler complètement. Les interventions des sons vocaux sont très ponctuées et des jeux de contrastes se créent tant dans le rapport au silence que dans celui avec l'espace. Mise à part dans les premières secondes de la section, l'espace et les mouvements spatiaux sont utilisés de façon extrêmement accentués, passant d'un point à un autre dans des gestes très rapides. C'est section est d'ailleurs celle qui joue le plus sur cette idée de contraste entre silence et musique, ainsi que par la directivité spatiale.

#### **b) *Passage* – 2:44 à 3:53**

*Passage* est une section courte qui sert de transition entre deux sections. Bien qu'elle ne dure qu'un peu plus d'une minute, celui-ci constitue pour moi une section complète, notamment parce qu'elle diffère significativement et marque une rupture avec *Grondements* par l'utilisation de son langage spatiale et timbrale propre. La section utilise principalement des combinaisons de sons implémentées dans l'instrument « Trames », auxquelles s'ajoutent des procédés de filtrages. Le travail de contraste constitue ici aussi un élément central du discours mais d'une manière très différente du mouvement précédent. Ici, les contrastes ne s'illustrent pas par silence/musique mais plutôt par des jeux d'ouverture et fermeture de filtre appliqué à

un même matériau. Les trames et les traitements choisis créent une tension grimpanche qui se résoudra abruptement par le début de la section suivante.

- Mouvement 2 - *Colères* (3 :54 à 6 :44)

*Colères* marque l'arrivée dans la pièce de sons plus concrets. Pourtant, il est encore demandé à l'auditeur de faire abstraction de la source du matériau, pour se laisser porter par les panoramas sonores du mouvement. L'utilisation de l'espace s'y veut à la fois englobante et immersive, où l'auditeur est invité à se noyer dans un flot d'interventions qui, bien que distinctement humaines, se veulent abstraites. *Colères* est constitué de séquences de basculements entre des paysages sonores inventés, habités par la gronde et le désir de révolte. Sans se vouloir agressive, cette section cherche cependant à cerner et à représenter l'essence et le caractère des mouvements de contestation, qui n'ont souvent en commun que la colère de ceux qui y participent, et le chaos dans lequel ils se déroulent. Ce sont ces éléments, profondément universels et pourtant insaisissables que cette section cherche à décrire. De tout temps, le phénomène de la contestation a existé, dans toutes les cultures. Lorsque des individus se révoltent, peu importe les raisons, quelque chose se crée et devient palpable, transcendant les mots et le langage. La colère devient donc un élément substantiel qui habite à la fois l'événement et les gens qui le crée, et que j'ai essayé de capturer pour ce passage.

### **Deuxième partie : *Poèmes pour les toits d'Iran***

Les Poèmes pour les toits d'Iran nécessitent une mise en contexte avant d'être discutés. J'en ai fait la découverte alors que, dans le cadre de cette pièce, j'ai été amené à faire des recherches sur les élections présidentielles de juin 2009 en Iran. Organisé par le gouvernement sortant de Mahmoud Ahmadinejad, soutenu par les autorités religieuses de l'Ayatollah Ali Khamenei, les résultats de ces élections ont été largement contestés et de nombreuses irrégularités ont été dénoncées par la communauté internationale. Bureau de votes non conformes, disparition de nombreuses urnes, omniprésence des autorités, sont autant de phénomènes qui ont eu lieu et dont ont été témoin de nombreux observateurs. Dans la capitale, l'insatisfaction de la

population s'est rapidement fait sentir, avant, pendant et après le déroulement du vote, et a culminé avec l'annonce des résultats et de la réélection du gouvernement Amadinejad. Témoin du mécontentement général et de la dénonciation massive, le gouvernement a immédiatement ordonné un couvre-feu à Téhéran afin d'éviter un soulèvement populaire. Les forces de l'ordre et l'armée furent ainsi dispersées dans la rue de la ville afin d'empêcher tout rassemblements citoyens, ainsi que pour obliger les résidents à rentrer chez eux dès la fin de la journée. De nombreux contestataire furent arrêtés, et plusieurs y ont même perdu la vie.

Malgré ces mesures de contrôle, le mécontentement populaire et la grogne ont continués de croître, notamment par l'entremise des réseaux sociaux et via différents moyens de télécommunication. La réponse du gouvernement fut donc draconienne. Durant une période s'étalant sur plus d'une dizaine de jours, l'accès à Internet et aux services de téléphonie furent ainsi régulièrement coupés dans tout le pays, entre autres durant le soir et la nuit. Ainsi, privé de tout moyen de communication et même d'accès aux rues de la ville, les citoyens et citoyennes de Téhéran entreprirent de sortir sur les toits de leur bâtiment à chaque nuit. Durant plus d'une semaine, des milliers d'entre eux se firent ainsi entendre par des cris, le seul moyen de communication restant. Les phrases « Allahu Akbar » (ou « Allah-o Akbar »), qui signifie « Dieu est grand » ainsi que « mort à la dictature » furent scander par les contestataires des nuits durant, et devinrent le symbole de la résistance. C'est durant ces nuits que furent enregistré cinq textes, aujourd'hui connus sous le nom des « Poèmes pour les toits d'Iran », par une femme anonyme de Téhéran. Les poèmes ont éventuellement été traduits et publiés sur différents sites, où j'en ai fait la découverte quelques années plus tard. C'est donc deux de ces textes qui ont servi d'inspiration et de ligne directrice à la deuxième partie de la pièce. Ceux-ci sont intégralement utilisés pour constituer chacun un mouvement.

## **Inja Kojast**

*Tomorrow is Saturday. Tomorrow is a day of destiny.*

*Tonight, the crie of Allah-o Akbar are heard louder and louder than the nights before.*

*Where is this place? Where is this place where every door is closed? Where is this place where people are simply calling God? Where is this place where the sound of Allah-o Akbar gets louder and louder?*

*I wait every night to see if the sounds will get louder and whether the number increases. It shakes me. I wonder if God is shaken.*

*Where is this place that where so many innocent people are entrapped? Where is this place where no one comes to our aid? Where is this place that only with our silence we are sending our voices to the world? Where is this place that the young shed blood and then people go and pray -- standing on that same blood and pray. Where is this place where the citizens are called vagrants? Where is this place? You want me to tell you? This place is Iran. The homeland of you and me.*

*This place is Iran.*

(Traduction du poème *Inja Kojast*, qui signifie « où est cet endroit? »)

### ▪ Mouvement 3 – *Transmission* (6 :45 à 10 :21)

Ce premier mouvement de la seconde partie symbolise la coupure de la télécommunication opérée par le gouvernement. Sorte de quarantaine imposée sur Téhéran, le blocus des communications avait pour objet de mater l'organisation de toute forme de résistance, en isolant les citoyens les uns des autres. À travers ce silence forcé, la voix de la narratrice cherche à nous parvenir. La voix en elle-même porte une charge suffisante, comprendre le sens des mots n'est plus nécessaire. Durant plus de trois minutes, malgré tous les « systèmes » qui vont chercher à la faire taire, la voix de cette femme continuera de réciter son texte. Son anonymat est à la fois sa force et son fléau, dans un pays où le simple fait de s'exprimer peut nous mettre en danger. Ce troisième mouvement ne se veut pas agréable à l'écoute, il se veut exigeant, comme une conversation qui ne cesserait de s'interrompre.

- Mouvement 4 - *Inja Kojast* (10 :22 à 17 :58)

Pour ce dernier mouvement, mon intention était de reconstituer une des nuits durant lesquelles les textes ont été enregistrés. En plus du poème, j'ai pu trouver plusieurs enregistrements des événements de Téhéran, où les « Allah-o Akbar » et les autres cris des manifestant-e-s se font entendre toute la nuit durant. Cette partie de la pièce est probablement celle que je préfère, puisqu'elle est à mon avis la plus proche de l'esprit des poèmes et qu'elle constitue, bien modestement, un hommage à leur auteure, ainsi qu'à ceux et celles qui ont eu le courage de dénoncer l'injuste. Les premières minutes de ce dernier mouvement sont statiques. J'ai voulu les imaginer de la perspective d'un citoyen, qui parmi les autres, serait sorti sur son toit. Partout autour, la clameur du mécontentement. Derrière, la lectrice anonyme, isolée, s'adresse à la ville. Progressivement, la clameur et les appels se font plus insistant, la tension augmente, on sent que le conflit est près. Après une première vague de confrontations, la pression semble se relâcher, la lectrice s'est tue. Quelques ultimes soubresauts, comme un dernier spasme, et les voix s'éteignent dans la nuit.

## **Conclusion**

Composer la pièce *Fondations* était important pour moi. D'abord, ce travail m'a permis de poursuivre ma démarche d'exploration des méthodes de spatialisation, ainsi que de développer des techniques et des outils pour l'écriture spatiale. Ensuite, cette idée de créer une pièce s'inspirant de mes intérêts pour le politique et le social m'habitait depuis longtemps, et j'éprouve aujourd'hui une satisfaction de l'avoir menée à terme. Je pense avoir beaucoup appris, non seulement durant la composition de la pièce, mais aussi dans toutes les étapes qui ont précédées et suivies ce processus. Cette expériences, c'est avérée extrêmement enrichissantes pour moi et m'a permis tant sur les plans humain, professionnel, qu'artistique, de repousser les limites de ma créativité et de plonger un peu plus dans ce médium unique qu'est la musique électroacoustique. Si, pour le compositeur, chaque pièce est une aventure différente, je suis particulièrement heureux d'avoir vécu celle-ci. Elle m'aura permis de réaliser que dans la création, le chemin qu'on emprunte est souvent tout aussi important que la destination.

# Bibliographie

## Références littéraires

Bosseur, Jean-Yves. 1992. *Vocabulaire de la musique contemporaine*. Paris : Minerve.

Chion, Michel :

1983. *Guide des objets sonores*. Paris. Éditions Buchet/Chastel.

1991. *L'Art des sons fixés*. Paris. Éditions Metamkine/NotaBene/SonoConcept.

1998. *Le son*. Paris. Éditions Nathan.

Roy, Stéphane. 2003. *L'analyse des musiques électroacoustiques : modèles et propositions*. Paris : L'Harmattan.

Schaeffer, Pierre :

1952. *À la recherche d'une musique concrète*. Paris : Éditions du Seuil.

1966. *Le traité des objets musicaux*. Paris : Éditions du Seuil.

Schafer, R. Murray. 1979. *Le paysage sonore*. Paris. Éditions J.C. Lattes.

Rumsey, Francis et McCormick, Tim, 1992. *Sound and recording: an introduction*. NY. Focal Press

## Thèses consultées :

Courville, Daniel. 1993 « Procédés et systèmes d'enregistrement et de reproduction sonores en trois dimensions ». Thèse (M. Com.) : Université du Québec à Montréal

Dall'Ara-Majek, Ana. 2011. « Stratégies de composition dans la musique mixte et assistée par ordinateur » Thèse (M. Mus.) : Université de Montréal.

D'Ambrosio, Simone. 2012. « Villusions : Construction spatiale de paysages sonores musicalisés » Thèse (M. Mus.) : Université de Montréal.

Gonot, Antoine. 2008 « Conception et évaluation d'interfaces de navigation dans les environnements sonores 3D » Thèse (D. Art) : Conservatoire National des Arts et Métiers de Paris

Normandeau, Robert. 1992. « Un cinéma pour l'oreille : cycle d'oeuvres acousmatiques incluant Éclats de voix, Jeu, Mémoires vives et Tangram » Thèse (D. Mus.) : Université de Montréal.

## Pages web et articles en ligne :

Courville, Daniel.

2012. « Les fruits du hasard » Interfaces Montréal

2008. « Comparative Surround Recording »

2008. « Fifth Order Planar B-Format Encoding and Decoding »

2008. « Decoding B-Format Music to 5.1 Surround »

2007. « Native B-Format Recording »

Articles consultés à <http://www.radio.uqam.ca/ambisonic/>

Clara, Sebastien. 2011. « Trois critères du SOS ». *Sebastien Clara* (blogue)

<http://sebastienclara.wordpress.com/articles/3-criteres-du-sos>

Colafrancesco, Julien. « L'ambisonie d'ordre supérieur et son appropriation par les musiciens : Présentation de la bibliothèque MAX/MSP HOA.LIB ». *Les Journées d'informatique musicale*. [http://jim.afim-asso.org/jim12/pdf/jim2012\\_24\\_p\\_colafrancesco.pdf](http://jim.afim-asso.org/jim12/pdf/jim2012_24_p_colafrancesco.pdf)

DSP Ear training course. 2013, « Panning and Crossfades »

<http://folk.ntnu.no/oyvinbra/delete/Lesson1Panning.html>

Duchenne, Jean-Marc. 2011. « Multiphonie »

<http://multiphonie.free.fr/>

Gandemer, Lennie. 2013 « Influence de l'immersion sonore sur la posture ». *Centre National de la recherche scientifique*. [http://www.master-acoustique.lma.cnrs-mrs.fr/sites/www.master-acoustique.lma.cnrs-mrs.fr/IMG/pdf/Biblio\\_Gandemer.pdf](http://www.master-acoustique.lma.cnrs-mrs.fr/sites/www.master-acoustique.lma.cnrs-mrs.fr/IMG/pdf/Biblio_Gandemer.pdf)

iXBT Labs – Computer Hardware in Details Anonyme. 2003. « Modern Audio Technologies in Games ». <http://ixbtlabs.com/articles2/sound-technology/index.html>

Malham, D.G. 1995. « Basic ambisonics ». *Ambisonic Studio*

[http://www.radio.uqam.ca/ambisonic/basic\\_ambisonics.html](http://www.radio.uqam.ca/ambisonic/basic_ambisonics.html)

Samplecraze – The science of sound. 2012. « The Panning Law ».

<http://www.samplecraze.com/tutorials/panning-law>

Sanson, Joseph et Warusfel Olivier. 2010. « Evaluation perceptive des apports de la reproduction sonore par WFS pour une situation de concert » *10<sup>ème</sup> Congrès Français d'Acoustique à l'Ircam*. <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/54/68/32/PDF/000402.pdf>

SoundOnSound, 2001, « You are surrounded ». Parties 1 à 10.

<http://www.soundonsound.com/sos/Oct01/articles/surroundsound3.asp>

Wolfe, Joe. 2003. «Acoustic FAQ ». *The University New South Wales*.  
<http://www.phys.unsw.edu.au/jw/musFAQ.html#add>

## Articles

Gardner B. et Martin, K. 1994. « HRTF Measurement of a KEMAR Dummy-Head Microphone ». *Rapport technique*, numéro 280. MIT Media Lab Computing.

Pulkki, Ville et Lokki, Tapio, 1998. « Creating Auditory Displays with Multiple Loudspeakers Using VBAP: A Case Study with DIVA Project ».

Pulkki, Ville et Hirvonen, Toni. 2005. « Localization of virtual sources in multichannel audio reproduction ». *Speech and Audio Processing, IEEE Transactions*. 13 (1), 105-119

Pulkki, Ville :

1998. « Virtual sound source positioning using vector base amplitude panning »  
*Journal of the Audio Engineering Society*. 45 (6), 456-466.

2001. « Localization of amplitude-panned virtual sources I: stereophonic panning »  
*Journal of the Audio Engineering Society* 49 (9), 739-752.

2001. « Localization of amplitude-panned virtual sources II: Two-and three-dimensional panning ». *Journal of the Audio Engineering Society* 49 (9), 753-767.

2001. « Spatial sound generation and perception by amplitude panning techniques »  
Helsinki University of Technology

2007. « Spatial sound reproduction with directional audio coding »  
*Journal of the Audio Engineering Society* 55 (6), 503-516.

Normandeau, Robert. 1993. « ... et vers un cinéma pour l'oreille ».  
*Circuit : musiques contemporaines*, Volume 4, numéro 1-2, p. 113-126

Schönstein et B. Katz, 2010. « Sélection de HRTF pour la synthèse binaurale d'une base de donnée en utilisant des paramètres morphologiques. ». 10eme Congrès Français d'Acoustique. Lyon. pp. 1-7,



# Annexe I

## Description du contenu du DVD

Le disque DVD joint en annexe contient les fichiers et les documents suivants :

NeronBaribeau\_Raphael\_2014\_memoire.pdf

Fichier texte du présent mémoire en format PDF.

Minimale\_Sédation (dossier)

- Minimale\_Sedation\_partition.pdf  
Partition de la pièce *Minimale Sédation*
- Minimale\_Sedation\_Stereo (Dossier)
  - Minimale\_SedationSTEREO.wav  
Version stéréo de la pièce *Minimale Sédation*, 24bits/ 48kHz
- Minimale\_Sedation\_Octophonie (dossier)  
Version octophonique de la pièce *Minimale*, format 24bits/ 48kHz
  - Fondations\_CH1\_Front\_L.aif
  - Fondations\_CH2\_Front\_R.aif
  - Fondations\_CH3\_SideFront\_L.aif
  - Fondations\_CH4\_SideFront\_R.aif
  - Fondations\_CH5\_SideRear\_L.aif
  - Fondations\_CH6\_SideRear\_R.aif
  - Fondations\_CH7\_Rear\_L.aif
  - Fondations\_CH8\_Rear\_R.aif

## Fondations (dossier)

- Fondations\_Stereo (dossier)

FondationsSTEREO.wav

Version stéréo de la pièce *Fondations*, format 24bits/ 48kHz

- Fondations\_Octophonie (dossier)

Version octophonique de la pièce *Fondations*, format 24bits/ 48kHz

- Fondations\_CH1\_Front\_L.aif
- Fondations\_CH2\_Front\_R.aif
- Fondations\_CH3\_SideFront\_L.aif
- Fondations\_CH4\_SideFront\_R.aif
- Fondations\_CH5\_SideRear\_L.aif
- Fondations\_CH6\_SideRear\_R.aif
- Fondations\_CH7\_Rear\_L.aif
- Fondations\_CH8\_Rear\_R.aif