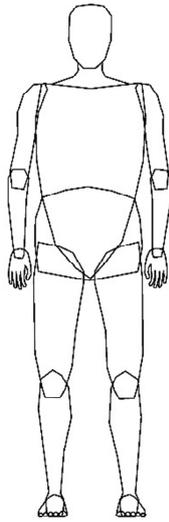


Clément HUBERT

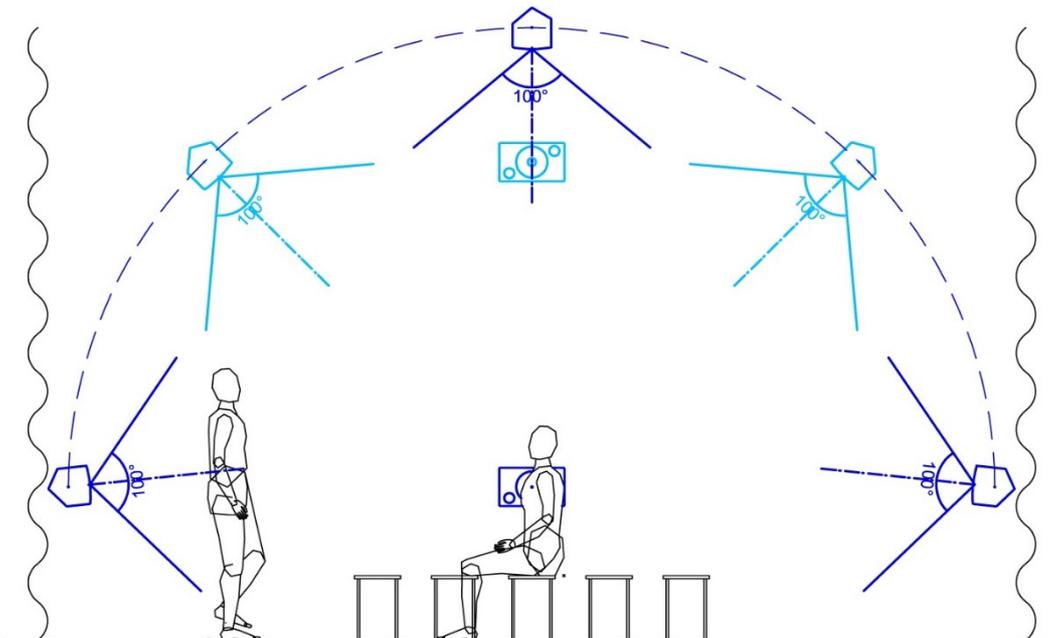
Conception Son



## L'ESPACE SONORE

Perception et Écriture au Théâtre

## MÉMOIRE DE RECHERCHE



ENSATT 2015-2016



Clément HUBERT

Conception Son

ENSATT 2015-2016

Promotion Ariane MNOUCHKINE

## MÉMOIRE DE RECHERCHE

### L'ESPACE SONORE

### Perception et Écriture au Théâtre

Tuteurs : Daniel DESHAYS et Michel MAURER

Coordinatrice : Mireille LOSCO-LENA

Responsable de la filière : Daniel DESHAYS



## MÉMOIRE DE RECHERCHE

Titre : L'ESPACE SONORE : Perception et Écriture au Théâtre  
Auteur : Clément HUBERT  
Année : 2016  
Filière : Conception Son  
Tuteur(s) du mémoire : Daniel DESHAYS et Michel MAURER  
Coordinatrice des mémoires : Mireille LOSCO-LÉNA

Je soussigné(e) Clément HUBERT

- Certifie la conformité de la version électronique avec l'exemplaire officiel remis au jury,
- M'engage à transmettre à la bibliothèque une version finalisée si le jury exige des corrections,
- Certifie que mon mémoire ne comporte pas de documents non libres de droit **ou** joins une table des illustrations, avec la référence précise (page, numéro ou description de la figure...) des documents figurant dans mon mémoire pour lesquels il n'y a pas d'autorisation de diffusion.
- Autorise la consultation\* de mon mémoire à la bibliothèque de l'ENSATT par des personnes extérieures, sa copie en version numérique et sa diffusion par prêt entre bibliothèques (PEB).

À Lyon, le vendredi 10 juin 2016

Signature de l'étudiant(e)



Mémoire consultable par des personnes extérieures à l'ENSATT

OUI  NON

Signature du Président(e) du jury

\*Etant entendu que les éventuelles restrictions de diffusion de mes travaux ne s'étendent pas à leur signalement dans le catalogue de la bibliothèque, accessible sur place ou par les réseaux, ni à leur consultation sur place, ni à leur diffusion par Prêt entre Bibliothèques (PEB) ou sur le réseau intranet de l'ENSATT. En cas de diffusion du mémoire mentionné ci-dessus selon les conditions précitées, l'ENSATT s'engage à respecter le droit moral de l'auteur sur le mémoire.



### Résumé :

Ce mémoire vise à interroger la notion d'*espace sonore*, entendue en tant que *lieu sonore*. Il s'intéresse à la manière dont, en tant qu'être humain, nous appréhendons par l'écoute les lieux dans lesquels nous vivons, en abordant la question des acoustiques et celle du champ sémantique des sons. Il retranscrit la mise au point d'un outil de spatialisation et de réverbération, et questionne la potentialité d'écriture des *espaces sonores* au théâtre.

### Mots-clés :

ambisonie d'ordre supérieur  
espace-temps sonore  
imaginaire collectif  
simulation d'acoustique



## TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	13
CHAPITRE 1 - L'acoustique des lieux de vies : contexte d'émergence du son.....	17
1.1. <i>Éléments d'acoustique architecturale</i> .....	18
1.1.1. Réponse impulsionnelle d'une salle.....	18
1.1.1.1 Premières réflexions.....	18
1.1.1.2 Champ réverbéré.....	19
1.1.1.3 Échos.....	20
1.1.2. Réponse fréquentielle d'une salle.....	21
1.1.3. Perception de la réponse acoustique d'un espace.....	22
1.1.4. Faire correspondre des critères subjectifs de description du comportement d'une salle avec des critères objectifs.....	23
1.2. Niveau, spectre et directivité des sources.....	24
1.2.1. Influence du niveau de la source.....	24
1.2.2. Influence de la directivité de la source.....	24
1.2.3. Influence du spectre de la source.....	26
1.3. Le bruit de fond.....	27
1.3.1. Qu'appelle-t-on bruit de fond ?.....	27
1.3.2. Quelles informations porte-t-il ?.....	27
1.3.3. D'où provient-t-il ?.....	28
1.3.4. Comment l'utiliser ?.....	29
1.3.5. Mesure du niveau de bruit de fond d'un lieu.....	30
CHAPITRE 2 – Appréhender l'espace sonore : l'écoute entre perception et imagination.....	31
2.1. Les sons in : ici maintenant.....	32
2.1.1. Deux types de sons.....	32
2.1.2. Identité du lieu.....	33
2.2. Les sons off : dialectique du dehors et du dedans.....	37
2.2.1. Renforcement des limites.....	37
2.2.2. Contextualisation du lieu.....	38
2.3. Le mouvement : facteur de zoom.....	39
2.3.1. Un espace charnel et dynamique.....	39
2.3.2. Qu'est-ce qui se meut dans ce que j'écoute ?.....	40

2.3.3.	Un mouvement entre perception et imagination.....	42
2.3.4.	Le zoom sonore .....	43
CHAPITRE 3 – Recréer des espaces sonores au théâtre .....		45
3.1.	Lieu de représentation et scénographie .....	46
3.1.1	Scénographie .....	46
3.1.2	Acoustique du lieu de représentation .....	47
3.1.2.1	Niveaux d’influence de l’acoustique sur la perception de l’auditeur .....	47
3.1.2.2	Critères acoustiques.....	49
3.1.2.3	Traitement acoustique.....	50
3.2.	Les systèmes de simulation d’acoustique .....	51
3.2.1	Deux type de systèmes .....	51
3.2.2	Exemples de systèmes de simulation d’acoustique .....	52
3.3.	De la réverbération numérique* à la convolution* .....	53
3.3.1.	Les réverbérations numériques*.....	53
3.3.2.	Les réverbérations à convolution* .....	56
3.4.	De la multi-diffusion à l’ambisonie d’ordre supérieur* .....	57
3.5.	Caractéristiques du système mis au point.....	59
3.5.1.	Fonctionnement de la bibliothèque HOA.....	60
3.5.2.	Mise au point du module de convolution .....	63
3.5.3.	Fonctions de base et fonctions avancées.....	66
CHAPITRE 4 – Potentiel d’écriture au théâtre .....		69
4.1.	La topographie de notre être intime .....	70
4.2.	Des lieux réalistes.....	72
4.3.	Des lieux fantasmés .....	74
4.4.	Des lieux imaginaires .....	75
4.5.	Jeu de sources, jeu d’espaces.....	77
CONCLUSION .....		81
ANNEXE – Tableau final des facteurs perceptifs .....		85
GLOSSAIRE.....		87
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....		89
BIBLIOGRAPHIE .....		91
REMERCIEMENTS.....		95





## INTRODUCTION

La notion d'espace, polymorphe et difficile à appréhender, n'a cessé d'être maniée et remaniée par des générations de penseurs à travers l'Histoire. Jusqu'à assez récemment, elle restait cantonnée à l'univers visuel. Tous les arts picturaux étaient des arts de l'espace. La musique, alors seule branche « noble » du son, était un art du temps.

Depuis la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle, la musique s'est de plus en plus affirmée comme un art du son, notamment à travers l'apparition des musiques électroacoustique et informatique. Pour augmenter leurs possibilités de jeu, ces musiques se sont très vite emparées de la notion d'espace. Au cinéma, dans les jeux vidéo, de multiples technologies prétendent aujourd'hui produire du son « spatialisé en trois dimensions »... Pourtant, nous demeurons souvent incapables de définir l'espace inhérent au son. Qu'est-ce que l'espace du son ? Qu'est-ce que *l'espace sonore* ?

Chaque son produit un espace par sa nature, son niveau, son sens... Il s'inscrit ensuite dans un espace volumétrique, une acoustique qui le contextualise, le colore et lui apporte une dimension sémantique supplémentaire. La question du sens d'un son et de l'espace qui le contient est donc une question fondamentale de l'écriture sonore. Ce mémoire propose de réinterroger ces fondamentaux.

Être transporté d'un lieu à un autre en assistant à un spectacle, sans avoir besoin de bouger de son fauteuil, est un vieux rêve que les jeux de toiles peintes et la machinerie du théâtre à l'italienne ont longtemps poursuivi dans le domaine visuel. Un questionnement sur l'espace que peut porter le son, doublé d'un goût pour les techniques de spatialisation et leurs possibilités m'ont donné envie de relever ce défi dans le domaine sonore. Le terme *espace sonore* est donc souvent entendu en tant que *lieu sonore*, tel que la chambre, la cuisine, le grenier, la gare, le quartier urbain...

L'objectif de ce mémoire est de répondre à trois questions, liées les unes aux autres.

*De quelle manière, en tant qu'être humain, appréhendons-nous, par l'écoute, les lieux dans lesquels nous vivons ?*

Il s'agira d'étudier quels sont les différents paramètres sonores qui participent à la sensation d'être dans « tel ou tel lieu ». Nous verrons que cette question concerne à la fois les acoustiques et le champ sémantique des sons. Nous expliquerons en quoi cette sensation est

fortement liée au fonctionnement de l'écoute et s'effectue dans un mouvement entre ce qui est perçu et ce qui est imaginé<sup>1</sup>.

*Comment pouvons-nous recréer artificiellement des lieux sonores dans une salle de représentation ?* Nous déterminerons les conditions qu'il faut réunir afin de pouvoir recréer des *lieux sonores* dans une salle de théâtre. Nous aborderons les questions de l'acoustique du lieu de représentation et de la scénographie, puis nous mettrons au point un dispositif, un outil, dont nous tenterons d'évaluer l'efficacité en termes techniques et artistiques<sup>2</sup>.

Et enfin : *Qu'apportent ces lieux sonores à l'écriture d'un récit ou d'une pièce de théâtre ?* Nous confronterons alors l'outil que nous aurons mis au point avec la création théâtrale : quelles possibilités offre-t-il au théâtre, quelles sont ses limites ?... Nous éprouverons le système en tentant d'explorer le rapport intime que nous entretenons avec notre environnement sonore à travers le récit d'un personnage. Nous utiliserons tous les paramètres que nous avons recensés jusqu'alors comme des indices jalonnant un parcours d'écoute. L'enjeu sera alors de déterminer combien d'indices sont nécessaires pour guider l'écoute sans la surcharger et permettre la compréhension et le déroulé de l'intrigue<sup>3</sup>.

La question de l'*espace sonore*, recouvre des champs extrêmement larges tels que : les mathématiques, l'acoustique architecturale, la scénographie, la psychoacoustique, les neurosciences, la philosophie...

Ce mémoire s'intéresse avant tout à la question des acoustiques et à celle du champ sémantique des sons. Il se présente comme un parcours particulier, artistique et technique qui s'appuie sur une réflexion personnelle, diverses expérimentations et une bibliographie choisie. Il n'a donc pas vocation à présenter le sujet de manière exhaustive. Il espère cependant donner des clés afin que cette démarche puisse être transposable à des spectacles professionnels.

---

<sup>1</sup> Cf. *infra*, chap. 1, p. 171 et chap. 2 p. 31 1.

<sup>2</sup> Cf. *infra*, chap. 3, p. 45.

<sup>3</sup> Cf. *infra*, chap. 4, p. 691.

« Le champ sonore entremêle en permanence trois composantes :

- des signaux acoustiques [...]

- des espaces de diffusion [...]

- des perceptions ouvrant sur le domaine des significations, des représentations, des multiples interprétations et des pratiques sociales. Le travail de modelage du son par son contexte est redoublé par un autre façonnage dépendant des attitudes neurophysiologiques de l'auditeur, de sa psychologie et de sa culture. Il n'y a pas d'écoute universelle : chaque individu, chaque groupe, chaque culture entend à sa manière. »<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> TORGUE, Henry, *Le sonore, l'imaginaire et la ville : de la fabrique artistique aux ambiances urbaines*, Paris, L'Harmattan, Logiques sociales (Études culturelles), 2012, p. 120.



## CHAPITRE 1 - L'acoustique des lieux de vies : contexte d'émergence du son

Lorsqu'un son est émis par une source dans un espace, qu'il s'agisse d'une pièce fermée, partiellement fermée ou d'un lieu extérieur, une partie nous parvient directement à l'oreille, c'est le son direct ou champ direct. Mais une grande partie du son se répand dans l'espace, se réfléchit sur le sol, les parois, subit des interférences, se transforme et arrive enfin à notre oreille chargée de toutes ces informations, c'est le champ rayonné.

« *Les principaux facteurs* qui interviennent dans la structure du champ rayonné sont :

- *la source sonore* [...]
- *le milieu de propagation* [...]
- *la nature des parois et obstacles* [...] »<sup>5</sup>

La perception objective d'un son émis dans un espace dépend donc des caractéristiques de la source, du milieu de propagation, de l'acoustique de l'espace de diffusion, auxquels on ajoutera la place de l'auditeur pour les espaces de petit volume.

Il faut noter que la situation dite de « champ libre », champ de propagation dans lequel le son ne rencontre aucun obstacle, est une situation théorique qui n'est quasiment jamais rencontrée dans l'expérience. En effet, même lorsque je me tiens seul dans un terrain vague, les réflexions provenant du sol entrent en jeu. Il n'y a guère qu'en chute libre ou en parachute que l'on pourrait se considérer en champ libre, situations pour le moins exceptionnelles !

Les rappels exposés dans ce chapitre pourraient paraître saugrenus au premier abord. Or, nous oublions souvent que la réverbération n'est pas le seul paramètre qui nous permet de nous sentir dans un lieu particulier. Il me paraît donc important de rappeler brièvement ces éléments simples d'acoustique architecturale, mis en regard du projet de récréation de différents *lieux sonores*.

---

<sup>5</sup> JOUHANEAU, Jacques / POLACK, Jean-Dominique, *Acoustique des salles et sonorisation*, Paris, Tec & Doc, Collection Acoustique appliquée, 1997, p. 3.

## 1.1. Éléments d'acoustique architecturale

Comme le rappelle souvent Daniel Deshays, le lieu de diffusion des sons est décisif,

« [...] non seulement comme amplificateur colorant, qui va par ses résonances habiller nos sons, mais aussi comme contexte. Les lieux dans lesquels sont produits les sons ne sont pas neutres ; s'ils sont des résonateurs qui marquent la matière, ils sont aussi des lieux sociaux, et leur degré de silence ou la nature de leur bruit de fond exprime une particularité sociale, du calme à la surcharge, à la violence. »<sup>6</sup>

Il existe deux façons d'aborder l'acoustique d'un lieu. Ou bien on le considère de l'extérieur, on s'intéresse alors à l'isolation phonique du lieu par rapport au dehors ; ou bien on le considère de l'intérieur, on s'intéresse alors à la réponse de l'espace à un son émis à l'intérieur de celui-ci. Dans cette partie, nous nous placerons dans cette dernière approche.

### 1.1.1. Réponse impulsionnelle d'une salle

« Supposons qu'un son très bref (ce qu'on appelle une impulsion) soit émis par une source sonore et considérons un point de réception dans la salle. L'onde est émise dans toutes les directions. [...] La pression recueillie en un point donné constitue la *réponse impulsionnelle* de la salle. »<sup>7</sup>

« La réponse impulsionnelle d'une salle peut se décomposer en trois parties : le son direct, les réflexions précoces, et le champ diffus. »<sup>8</sup>

#### 1.1.1.1 Premières réflexions

« On appelle *réflexions précoces*, ou *premières réflexions*, les réflexions qui parviennent au point de réception dans les 80 à 100 premières millisecondes qui suivent le son direct. [...] Il n'existe pas de limite temporelle précise qui délimite les réflexions précoces du champ diffus. Cependant, on peut les distinguer des réflexions ultérieures car leur distribution temporelle n'est pas la même. En effet, il n'y a aucune forme de régularité dans les temps d'arrivée et les niveaux des réflexions précoces. Ces deux grandeurs dépendent des positions de la source et du récepteur, ainsi que de la configuration des parois mises en jeu (sol, mur du fond de scène, parois latérales...). »<sup>9</sup>

L'effet des premières réflexions est donc une amplification et/ou un détimbrage du son, particulièrement perceptibles lorsque la source et/ou l'auditeur sont proches des parois.

---

<sup>6</sup> DESHAYS, Daniel, *Pour une écriture du son*, Paris, Klincksieck, 50 questions, 2006, p. 41.

<sup>7</sup> FISCHETTI, Antonio, *Initiation à l'acoustique : cours et exercices*, 2e édition, Paris, Belin, Belin Sup Sciences, 2003, p. 80.

<sup>8</sup> *Ibid.*, p. 82.

<sup>9</sup> *Ibid.*, p. 83.

J'ai pu vérifier expérimentalement ce comportement en créant une impulsion dans une salle de petit volume (90 m<sup>3</sup>) par le choc de deux petits tasseaux de bois et en l'écoutant à travers un système direct micro-casque.

Lorsque qu'on place micro et impulsion à différents endroits de la pièce tout en gardant une certaine distance avec les parois (environ un mètre), on ne perçoit pas de réel changement de niveau ou de timbre.

En revanche, lorsque le micro est placé au centre de la pièce et l'impulsion créée dans un coin, celle-ci semble plus forte, plus agressive, et son spectre semble modifié.

On obtient une sensation comparable lorsque le micro est placé dans un coin de la pièce et l'impulsion créée au centre.

Ceci est dû au fait qu'en rapprochant la source ou le récepteur des parois, on diminue les temps d'arrivée des premières réflexions par rapport au son direct. Au niveau de l'écoute, ces réflexions fusionnent avec le son direct et on obtient alors un détimbrage.

Si je veux accroître le réalisme de mes espaces virtuels, il faudra donc, si possible, que je dose l'effet des premières réflexions sur la perception de la source en fonction de sa position et de la position de l'auditeur.

#### 1.1.1.2 Champ réverbéré

« Au-delà d'un certain temps après l'arrivée du son direct [...], le récepteur reçoit le *champ diffus*. Celui-ci présente trois caractéristiques principales :  
\* en un point donné, *l'intensité* réverbérée décroît de *manière exponentielle* (la décroissance en *niveau* est donc *linéaire*). »<sup>10</sup>

On mesure souvent la réverbération d'un lieu à sa durée de décroissance ou temps de réverbération, qui correspond au temps mis par une impulsion pour revenir à la valeur du bruit de fond à partir de la fin des premières réflexions.

Étant donné que le niveau de bruit de fond peut varier d'un endroit à un autre, on a instauré le TR<sub>60</sub> qui correspond à la durée nécessaire pour que le son réverbéré décroisse de 60 dB dans la salle après extinction de la source.

Les espaces dits plutôt mats tels que les chambres, salons meublés, greniers etc. ont un TR<sub>60</sub> de l'ordre de 0,5 seconde. Les espaces réverbérants tels que les salons vides, caves, halls de bâtiment public, etc. ont un TR<sub>60</sub> de l'ordre de 2 secondes. Les espaces très réverbérants tels que les cathédrales, usines en friche etc. ont un TR<sub>60</sub> de l'ordre de 4 secondes.

Toutefois, la valeur de TR<sub>60</sub> d'une salle ne suffit pas à caractériser son acoustique.

---

<sup>10</sup> *Ibid.*, p. 83.

« \* le champ diffus est *homogène* dans la salle : son intensité est statistiquement la même pour toutes les positions dans la salle (alors que les réflexions précoces dépendent de la position dans la salle). » <sup>11</sup>

Ce deuxième point est important. Il montre que je n'aurai pas besoin de prendre en compte la position de la source et la position de l'auditeur si je veux obtenir un rendu réaliste du champ diffus dans mes espaces virtuels.

### 1.1.1.3 Échos

« La réponse impulsionnelle peut servir à détecter les échos. Ceux-ci sont de plusieurs types. » <sup>12</sup>

#### « Écho franc

Quand l'oreille reçoit deux sons identiques qui se succèdent avec un intervalle  $\Delta t$  assez faible, elle ne perçoit généralement qu'une seule image sonore. C'est le phénomène de *fusion*. La limite de ce phénomène, qui donne la superposition de l'onde directe et de l'onde réfléchie une image unique, est d'environ 50 ms. Au-delà, l'oreille perçoit deux sons distincts dans le temps : il y a *écho*. La condition d'apparition de l'écho correspond donc à une différence de marche supérieure à 17 mètres. » <sup>13</sup>

L'écho franc est dû à la présence d'une paroi réfléchissante sur le trajet du son. Sa perception est reliée à la distance entre l'auditeur et la paroi en question. C'est souvent le signe d'un vaste lieu (le trajet de la réflexion doit être de 17 mètres minimum) dont l'acoustique n'a pas été pensée ou a mal été pensée. C'est un phénomène typique des espaces dans lesquels sont présentes des parois très réfléchissantes, comme la baie vitrée d'une salle des fêtes ou une façade d'immeuble en béton dans la rue. Je pourrai donc utiliser un effet d'écho franc si je veux recréer l'acoustique de ce type de lieu.

#### « Écho tonal

Un son bref peut être suivi d'une série rapide d'impulsions réfléchies. Dans le cas où la série de réflexions apparaît sous forme d'impulsions équidistantes, la fusion peut donner lieu à la perception d'une hauteur liée à la fréquence de ces impulsions [...]. » <sup>14</sup>

Un écho tonal peut être produit par les lieux présentant des structures périodiques telles que les amphithéâtres à gradins, les théâtres antiques etc. On rencontre aussi ce phénomène dans une ruelle étroite aux murs très réfléchissants. Je pourrai donc utiliser un effet d'écho tonal si je cherche à recréer l'acoustique de ce type de lieu.

---

<sup>11</sup> *Ibid.*, p. 83.

<sup>12</sup> *Ibid.*, p. 86.

<sup>13</sup> JOUHANEAU, Jacques, *op. cit.*, p. 27.

<sup>14</sup> *Ibid.*, p. 28.

#### « Flutter echo

On appelle *flutter echo*, ou *écho flottant*, une succession d'échos qui arrivent avec régularité, tout en étant suffisamment séparés pour être discernés les uns des autres. Dans ce cas, on n'entend pas une note précise, comme dans le cas de l'écho tonal, mais des répétitions à la manière du battement d'ailes d'un oiseau (d'où le nom, inspiré de l'anglais « *flutter* » qui peut se traduire par « *battre des ailes* »). »<sup>15</sup>

Un flutter écho peut être produit dans un espace présentant deux parois réfléchissantes et parallèles (baies vitrées, murs lisses...) alors que les autres parois sont absorbantes ou très éloignées. Je pourrai donc utiliser un effet de flutter écho si je désire recréer l'acoustique de ce type de lieu.

#### 1.1.2. Réponse fréquentielle d'une salle

« La *réponse fréquentielle* illustre la façon dont la salle accentue ou atténue les différentes fréquences émises par la source (comme la réponse impulsionnelle, la réponse fréquentielle correspond à une position donnée de la source et du récepteur). »<sup>16</sup>

« Les fréquences propres sont les fréquences de vibration 'naturelles' de la salle. Elles correspondent aux fréquences pour lesquelles existent des *ondes stationnaires*. [...] En se déplaçant entre les parois, on rencontre alors des successions de maxima ('ventres') et de minima ('nœuds') de pression. »<sup>17</sup>

Cela concerne les salles de formes géométriques simples (parois parallèles, cylindriques, sphériques, etc.) ayant un petit ou moyen volume. En effet, plus les dimensions d'une salle sont grandes et plus les fréquences propres sont basses et ainsi se rapprochent de la limite de la bande audible.

Or, la majorité des lieux auxquels je vais m'intéresser sont des espaces parallélépipédiques de petit ou moyen volume. Si je veux obtenir un rendu réaliste, il faudra donc que je prenne en compte l'influence des modes propres dans la simulation d'acoustique des lieux, la difficulté résidant dans le fait que la perception de ces modes est directement liée à la place de l'auditeur dans l'espace.

Néanmoins, dans le dispositif que j'envisage, le public sera fixe. Si je veux simuler un comportement modal, je pourrai donc essayer de ruser en appliquant simplement des filtres résonnants, chaque spectateur recevant ainsi la même réponse modale, sans en être conscient.

---

<sup>15</sup> FISCHETTI, Antonio, *op. cit.*, p. 87.

<sup>16</sup> *Ibid.*, p. 90.

<sup>17</sup> *Ibid.*, p. 91.

Cela me permettra aussi de jouer sur ces fréquences pour faire sonner la pièce artificiellement. Sur une voix par exemple, je pourrai accentuer ou brouiller certaines syllabes.

### 1.1.3. Perception de la réponse acoustique d'un espace<sup>18</sup>

« Le poids de l'énergie tardive et celui de l'énergie précoce non-frontale sur la présence d'effet de salle sont égaux. »<sup>19</sup>

Il n'y a donc pas de partie prépondérante dans la perception de la réponse acoustique d'un espace. Pour autant, parmi les réflexions précoces, les réflexions latérales sont particulièrement importantes.

« Les réflexions latérales sont plus efficaces que les réflexions du plafond pour l'impression de présence de l'effet de salle. »<sup>20</sup>

« Le seuil d'audibilité, pour des forts niveaux de reproduction, est le plus faible pour des réflexions latérales. »<sup>21</sup>

« Les réflexions latérales augmentent l'impression d'espace. »<sup>22</sup>

« Les réflexions latérales augmentent la puissance et la présence des sources. »<sup>23</sup>

Ces affirmations soulignent l'importance, déjà évoquée, des réflexions latérales et des premières réflexions en général sur la perception de l'acoustique des lieux. Si je veux obtenir un rendu réaliste, il faudra donc appliquer dans la simulation d'acoustique l'effet des premières réflexions en fonction des positions respectives de la source et de l'auditeur. De plus, le seuil d'audibilité d'une réflexion isolée tardive (> 70ms) dépend du niveau sonore<sup>24</sup>. Cela peut être l'explication psycho-acoustique de la sensation d'éveil d'une salle lors d'un crescendo. La perception de l'acoustique d'un espace dépend donc du niveau de la source.

---

<sup>18</sup> Développement nourri par THOMELIN, Jean-François, *Simulation d'acoustique appliquée au spectacle vivant*, Mémoire de projet personnel de fin d'études – Régie Son, Lyon, ENSATT, 2000, p. 11-13.

<sup>19</sup> Ulrich LEHMAN, cité par KHALE, Eckhard, *Validation d'un modèle objectif de la perception de la qualité acoustique d'un ensemble de salles de concerts et d'opéras*, Thèse de doctorat en Acoustique, Trondheim (Norvège), Université du Maine (Le Mans), 1995, p. 26.

<sup>20</sup> *Ibid.*, p. 27.

<sup>21</sup> Rüdiger WETTSCHUREK cité par *ibid.*, p. 29.

<sup>22</sup> Michael BARRON cité par *ibid.*, p. 31.

<sup>23</sup> *Ibid.*, p. 31.

<sup>24</sup> Reformulation des propos de Rüdiger WETTSCHUREK cité par *ibid.*, p. 28.

Le niveau de réverbération artificielle diffusée est donc important. Pour un même réglage de TR, plus je la diffuserai fort et plus elle semblera longue.

Je pourrai donc jouer sur le niveau envoyé dans la réverbération pour obtenir des rapports d'intimité/distance différents en fonction du sens voulu.

C'est quelque chose que j'ai déjà pu tester sur la voix lors de l' « essai » *La philosophie dans le boudoir*<sup>25</sup> à l'ENSATT. En complément de la dynamique de voix du comédien, cela crée du jeu avec l'espace acoustique virtuel.

#### 1.1.4. Faire correspondre des critères subjectifs de description du comportement d'une salle avec des critères objectifs

Les paramètres utilisés pour décrire le comportement d'une salle (TR<sub>60</sub>, EDT...) sont des critères objectifs, mesurables, mais qui n'ont pas de sens pour une personne ne travaillant pas dans les techniques du son, comme un metteur en scène par exemple.

L'établissement d'un langage commun est donc indispensable afin que ces personnes puissent se comprendre lorsqu'elles parlent de l'acoustique d'un lieu.

Dans le cas présent, je suis à la fois concepteur son et metteur en scène si j'ose dire, la question ne se pose donc pas. Cependant, si on veut transposer la démarche à des spectacles professionnels, il faudra prendre le temps de faire écouter au metteur en scène les différentes possibilités du système de simulation d'acoustique. On ira dans les extrêmes pour bien lui faire sentir les minimas et maximas correspondant à chaque paramètre, ou chaque critère. On l'aidera à mettre des mots sur ces critères pour qu'il puisse ensuite les réutiliser.

Dans son mémoire sur la simulation d'acoustique, Jean-François Thomelin présente le tableau à 9 facteurs perceptifs réalisé par Eckhard Khale, qui correspond aux 9 facteurs utilisés par le logiciel SPAT, résultant des travaux de l'IRCAM dans les années 90.

J'ai reproduit en annexe ce tableau et les formules des critères objectifs correspondants. Ces paramètres n'ont rien d'absolu. Ils sont simplement cités à titre indicatif car ils résultent de la seule démarche importante que j'ai pu trouver et peuvent apporter des indices pour définir ce langage commun.

---

<sup>25</sup> *La philosophie dans le boudoir*, mis en scène par Ariane BERENDT, conception sonore de Clément HUBERT, 2015, ENSATT.

## 1.2. Niveau, spectre et directivité des sources

Le niveau, le spectre et la directivité des sources influencent notre perception de l'acoustique d'un lieu.

### 1.2.1. Influence du niveau de la source

Comme nous l'avons déjà vu<sup>26</sup>, l'acoustique du lieu sera plus ou moins excitée en fonction du niveau de la source. Or, plus une source est proche de l'auditeur, plus son niveau perçu est élevé, et plus le rapport champ direct/champ réverbéré est élevé.

Dans un cadre réaliste, il faudra donc que je veille à ce qu'il n'y ait pas d'incohérence de rapport entre les différents sons joués à l'intérieur d'un espace virtuel. En revanche, cela peut aussi être un paramètre de jeu. Je pourrai choisir de donner à chaque son un rapport champ direct/champ réverbéré différent et donc un rapport à l'espace différent.

### 1.2.2. Influence de la directivité de la source

« En pratique, on peut considérer qu'une source est omnidirectionnelle si ses dimensions sont petites par rapport à la longueur d'onde (émise). »<sup>27</sup>

Chaque source sonore possède une directivité particulière. Toutefois, on peut considérer que la plupart des sources ont un comportement quasi omnidirectionnel : elles diffusent du son dans toutes les directions de l'espace.

Ce sera le cas pour la plupart des sons in dont nous parlerons plus tard, à l'exception des haut-parleurs encastrés, d'une radio ou d'une chaîne-hifi par exemple, qui eux sont directifs.

Dans ce projet, l'idée est de faire ressentir au public l'acoustique du lieu comme s'il se trouvait en compagnie du personnage, qu'il accompagne comme dans un voyage. J'aimerais même tenter de donner au public, non pas le point de vue mais le point d'écoute du personnage. Public et personnage seront donc inclus dans un même espace virtuel.

---

<sup>26</sup> Cf. *supra*, chap. 1, 1.1.3 Perception de la réponse acoustique d'un espace, p. 22.

<sup>27</sup> FISCHETTI, Antonio, *op. cit.*, p. 39.

En revanche, la voix ne se comporte pas comme une source omnidirective. Elle rayonne avant tout vers l'avant et vers le bas.

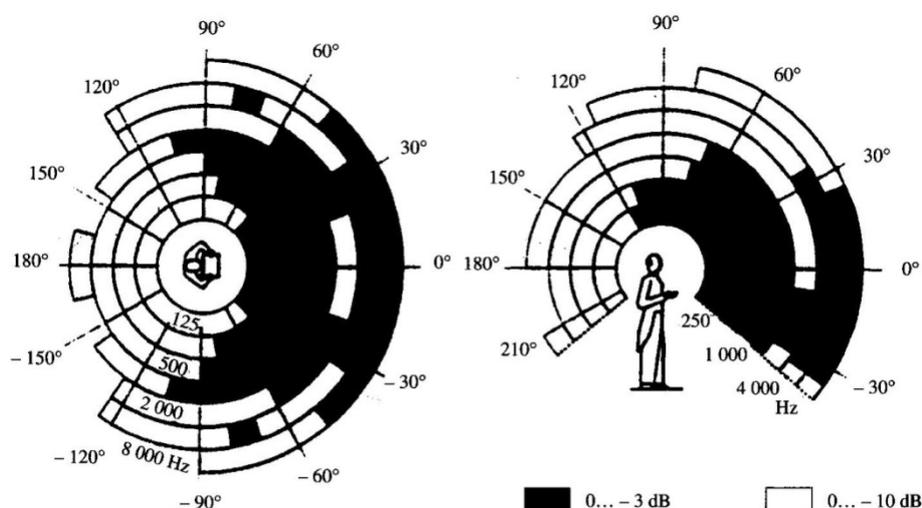


Fig. 1 : FISCHETTI, Antonio, *Fig. II.4. Rayonnement de la voix*, 2003, Schéma (d'après Marshall et Meyer, *Acustica*, vol. 58, 1985) in FISCHETTI, Antonio, *Initiation à l'acoustique : cours et exercices*, 2e édition, Paris, Belin, Belin Sup Sciences, 2003 p. 42.

La voix étant une source directive, les parois de l'espace virtuel sur lesquelles le son subira des réflexions sont donc directement liées à l'orientation de la tête du comédien. Le suivi de la rotation de la tête du comédien par un système de capteurs ou un suivi actif en régie peut donc être envisagé. Si ce n'est pas possible, on pourra considérer que le comédien parle majoritairement face au public. Les parois de l'espace principalement mises en jeu seront donc les parois latérales, le sol, le mur derrière le public et éventuellement le plafond.

### 1.2.3. Influence du spectre de la source

Chaque source sonore possède un spectre particulier et excitera l'acoustique du lieu dans un domaine fréquentiel particulier.

Bien que cela semble aller de soi, j'ai pu le vérifier expérimentalement en écoutant la réponse d'une salle à deux impulsions différentes. La première, plutôt medium-aiguë était obtenue par le choc de deux petit tasseaux de bois et excitait naturellement une grande partie de la réponse de la salle mais pas les fréquences graves. La seconde impulsion, plutôt grave, était obtenue en frappant de la main le dessous d'un seau en plastique et excitait, elle, principalement les fréquences graves.

La plupart des processeurs de réverbération fonctionnent de cette manière. Dans un cadre réaliste, je n'aurai donc pas à m'en soucier. En revanche, si je veux créer une distorsion, un effet particulier, je pourrai essayer de déroger à cette règle.

## 1.3. Le bruit de fond<sup>28</sup>

### 1.3.1. Qu'appelle-t-on bruit de fond ?

L'être humain peut décider à tout moment de ne plus voir. Son œil se ferme grâce aux paupières et limite ainsi les informations qu'il reçoit. Il ne perçoit plus, à travers ces filtres, que des variations de lumière.

L'oreille ne possède pas cette faculté. Elle ne s'arrête jamais d'entendre. Lorsque nous dormons, notre ouïe fonctionne toujours, vigilante dans le silence de la nuit. Si l'oreille entend toujours, c'est que le silence n'existe pas. Même dans le vide de l'espace, sans atmosphère pour conduire les sons, en apnée pendant quelques secondes, c'est le bruit de nos organes qui nous parviendrait par l'intérieur de notre corps. Le silence absolu, au sens d'absence totale de son n'existe pas pour l'homme.

Ce que nous nommons silence est en fait un bruit de fond résiduel. La plupart du temps c'est un amoncellement d'éléments distincts dont on s'est éloigné et qui est encore audible, à la limite du perceptible. Il représente à la fois le continuum de l'ouïe et du sonore lui-même. En effet, s'il n'existe pas, c'est que notre ouïe ne fonctionne plus (surdité ou mort), ou que toute vibration a cessé dans l'atmosphère (état inerte des choses, mort des éléments).

On parle souvent en électronique ou en acoustique du rapport signal/bruit d'un son. En effet, un son est un signal, une perturbation par rapport à un état initial. Pour qu'il advienne, il faut qu'existe un état préalable. Le bruit de fond forme cet état préalable. Il est donc important de considérer les éléments sonores d'un lieu en regard du bruit de fond associé à ce lieu.

### 1.3.2. Quelles informations porte-t-il ?

« Les fonds ou nappes, comprennent les états sonores stables, peu sujets aux modifications rapides et caractérisant des espaces traversant ou de grande dimension. »<sup>29</sup>

Ce qui caractérise le bruit de fond est principalement son aspect dynamique quasiment nul ou seulement observable à long terme.

---

<sup>28</sup> Développement nourri par DESHAYS, Daniel, « Du proche au lointain. L'existence discontinue des bruits et sa représentation continue » in MERVANT-ROUX, Marie-Madeleine / PISANO, Giusy (cahier conçu par), *Art et Bruit, Ligeia, Dossiers sur l'art*, juillet 2015, n° 141-144. Et GUIJONNET, Jean-Luc, Le bruit de fond [en ligne], disponible sur : <http://www.jeanlucguionnet.eu/Le-bruit-de-fond> (consulté le 13 février 2016).

<sup>29</sup> TORGUE, Henri, *op. cit.*, p. 122.

En effet, si on l'écoute pendant seulement quelques minutes, il nous semblera d'une continuité très monotone. Si on l'écoute sur un laps de temps plus long : quelques heures, jours ou mois on s'apercevra cependant qu'il varie. Par exemple, le silence (bruit de fond) du jour diffère fortement de celui de la nuit. Il nous donne des informations telles que l'heure qu'il est, les mouvements de l'air, la saison, le temps qu'il fait, le relief, l'architecture...

Il est aussi fonction de l'emplacement géographique : le bruit de fond (silence) de la ville n'est pas le même que celui de la campagne.

Il porte donc des informations à la rupture : rupture de temps (comparaison du bruit de fond d'un même espace à deux moments d'intervalle long) ou rupture d'espace (comparaison du bruit de fond à un même moment dans deux lieux différents).

### 1.3.3. D'où provient-t-il ?

« Aujourd'hui, les sources sonores liées aux transports, notamment routiers mais aussi aériens et parfois ferroviaires, en constituent la principale matière, rôle tenu auparavant par les activités industrielles. Plus généralement, le drone urbain, assis sur des fréquences basses, compose la rumeur sourde ou intense de la ville au quotidien et s'installe dans la durée. À noter dans les espaces intérieurs, la multiplication des fonds de proximité, liés aux ventilations et circulations d'air (refroidissement des appareils et climatisation). »<sup>30</sup>

Le bruit de fond est donc parfois in (bruit du frigo), parfois off (rumeur de la ville), et parfois échappe à toute distinction.

Où se situe la limite entre son in, son off et bruit de fond ?

La première tentative de réponse que l'on peut apporter est celle du niveau. Un bruit de fond est par définition en *fond*, il peut donc difficilement être de fort niveau. Mais cela ne suffit pas à le définir.

La deuxième tentative de réponse que l'on peut apporter concerne la notion de signal. Un signal est quelque chose qui porte des informations. Un bruit de fond, par son aspect dynamique réduit, porte peu d'informations. Une fois qu'on les a extraites (exemple : des voitures circulent dans la ville tout autour), il ne nous intéresse plus. Il passe du statut de signal à celui de bruit.

La notion de signal a donc aussi à voir avec l'attention, l'intérêt.

Si je joue d'un instrument dans une pièce plutôt calme, alors je suis concentré sur mon instrument, c'est lui le signal, celui qui m'intéresse. Au-delà du fait que le son de

---

<sup>30</sup>*Ibid.*, p. 122.

l'instrument couvre sûrement une grande partie des autres sons, je n'y fais pas attention. Ils ne m'intéressent pas, ce sont des bruits.

Prenons un autre exemple, celui d'une réception ou d'un bar avec un grand nombre de personnes discutant en même temps. Si je reste dans un coin et suffisamment ouvert à cet espace, chaque conversation est susceptible de capter mon attention qui va aller d'une discussion à l'autre au gré des surgissements. C'est un entremêlement de signaux possibles. Si je fais l'effort de suivre une conversation particulière, elle devient le signal. Toutes les autres discussions deviennent des bruits. Ils sont inintéressants voire gênants.

Puis un éclat de voix capte mon attention, devient le signal, je perds le fil de la conversation, qui l'espace d'un moment bascule dans le bruit. Un même son devient donc tour à tour bruit (de fond) ou signal.

Cette attitude de focalisation de l'écoute porte divers noms tels que : effet cocktail-party, écoute désirante ou écoute amoureuse. Cette écoute est brisée par les sons pouvant représenter un danger, qui arriveront dans un surgissement : « Dans l'écoute, le son surgissant l'emporte toujours, c'est-à-dire que l'écoute de protection l'emporte toujours sur l'écoute désirante. »<sup>31</sup>.

L'écoute amoureuse sera néanmoins primordiale dans l'élaboration du parcours d'écoute des spectateurs à l'intérieur des *lieux sonores* créés.

#### 1.3.4. Comment l'utiliser ?

L'oreille finit par oublier les bruits de fond. L'enjeu sera donc, si je veux les utiliser dans une écriture, d'en recréer une écoute chez le spectateur.

Pour cela j'essaierai plusieurs choses. L'écoute de la résonnance d'un espace, d'une réverbération sera l'occasion de se laisser glisser dans ce bruit de fond. Une fois qu'on y sera, je pourrai amener du jeu avec des discontinuités, des ruptures, en rapprochant puis éloignant les sources qui le forment, en les faisant apparaître et disparaître.

Le bruit de fond inhérent à un lieu ou à une salle de représentation est important car il conditionne la perception de la réverbération. En fonction de son niveau, on percevra tout ou partie de la réverbération. Un bruit de fond de fort niveau aura pour effet de ne laisser percevoir que les premières réflexions. Avec un bruit de fond plus faible on percevra une partie de la réverbération. Et avec un bruit de fond très faible on percevra la quasi-totalité de

---

<sup>31</sup> DESHAYS, Daniel, *Entendre le cinéma*, Paris, Klincksieck, 50 questions, 2010, p. 87.

la réponse impulsionnelle, avec la fin de réverbération, appelée aussi queue de réverbération.

J'aurai donc la possibilité, en modulant le niveau de bruit de fond avec une même réverbération d'ouvrir ou fermer plus ou moins l'espace (accentuer ou diminuer la sensation d'espace).

### 1.3.5. Mesure du niveau de bruit de fond d'un lieu<sup>32</sup>

Le niveau de bruit de fond dépend à la fois du niveau de bruit au dehors, de l'isolation acoustique de la salle et du niveau des bruits de fond d'origine intérieure (ventilation, climatisation, chauffage...).

Pour le quantifier, on évalue le NC (Noise Criterium) ou NR (Noise Rating) du lieu. Avec un sonomètre intégrateur ou un analyseur de spectre, on relève d'abord le niveau du bruit de fond sur une durée d'au moins 10 minutes et, si possible, à plusieurs moments de la journée, sans pondération (=> SPL ou courbe Z). On compare ensuite la mesure aux courbes NC, définies de 5 en 5 dB. Un bruit de fond dont les crêtes sont situées entre les courbes NC x-5 et NC x, est un bruit de fond de NC x. Ainsi, un lieu avec un bruit de fond de niveau moyen à 30 dB<sub>SPL</sub> et des crêtes à 34 dB<sub>SPL</sub>, correspondra à un NC 35. Plus le NC d'un lieu est bas, plus son bruit de fond est faible.

Le tableau suivant reprend quelques exemples de NC recommandés en fonction du type de lieu, classés par ordre décroissant.

Type de lieu	NC recommandé
Usine	NC 40-65
Restaurant	NC 40-45
Bureaux en « open-space »	NC 35-40
Bureau privé	NC 30-35
Maison ou appartement	NC 25-35
Chambre d'hôpital	NC 25-30
Salle de classe ou de lecture	NC 25-30
Régie de studio d'enregistrement	NC 20
Salle de théâtre ou auditorium	NC 15-20
Cabine de studio d'enregistrement	NC 10-15

---

<sup>32</sup> Sous-partie nourrie par le cours d'acoustique architecturale donné par Jean-Pierre LAFONT en 2014 à l'ENSATT et par The Engineering Toolbox, NC - Noise Criterion [en ligne], disponible sur : [http://www.engineeringtoolbox.com/nc-noise-criterion-d\\_725.html](http://www.engineeringtoolbox.com/nc-noise-criterion-d_725.html) (consulté le 16 février 2016).

## **CHAPITRE 2 – Appréhender l'espace sonore : l'écoute entre perception et imagination**

Ce titre est volontairement identique au titre de l'ouvrage de Renaud Meric, qui a beaucoup influencé ma réflexion sur le comportement de l'écoute.

Dans ce chapitre, nous chercherons à identifier quels sont les sons caractéristiques qui composent les *lieux sonores*. Nous tenterons de les classer en deux catégories, les sons in et les sons off, et nous verrons ce que chacun apporte à la construction des lieux.

Sous les lumières de Renaud Meric, nous essaierons ensuite de mieux comprendre le fonctionnement de l'écoute. Nous aborderons alors les sons sous l'angle de la mémoire et du mouvement entre perception et imagination.

## 2.1. Les sons in : ici maintenant

Grâce à l'écoute et à la vue, nous percevons facilement des sons qui appartiennent manifestement au *lieu sonore*. Clairement définis, nous pouvons aisément déterminer leur direction, leur position dans l'espace, leur origine, qu'elle soit visible ou devinée. J'ai choisi de regrouper ces sons sous l'appellation de sons in.

### 2.1.1. Deux types de sons

« Le son du théâtre est double, il se partage entre :

- un sonore éphémère : celui de la voix de l'acteur, fugitif et fragile, chaque fois différent, un sonore vivant, musique vivante des instrumentistes, dont rien ne subsiste, mais également celui de tous les mouvements et gestes produits en scène ;
- et un sonore inscrit, déposé, celui qui se trouve fixé sur des bandes ou autres supports et que l'on appelle la bande-son du spectacle. »<sup>33</sup>

Cette affirmation de Daniel Deshays concernant le sonore théâtral prendra tout son sens lorsque j'aurais réuni le matériau nécessaire, le sonore inscrit, qui permettra de recréer mes différents *lieux sonores*.

Au stade de notre recherche, nous pouvons malgré cela retrouver une distinction dans les sons in avec :

- d'une part les sons produits par les corps présents : voix mais également respiration, raclements de gorge, toux, bruit des organes internes, bruit de frottement des vêtements entre eux.

- d'autre part les sons de tous types relevant de l'environnement sonore : bruit du frigidaire qui se fait oublier, le tic-tac de l'horloge, le son des diverses machines...

- et un cas limite, résultant de l'interaction entre le corps humain et l'environnement sonore : frottement des vêtements avec l'environnement, action du corps sur un objet...

Il faut prendre en compte la variation des sons de chaque type en fonction du *lieu sonore*.

Par définition, les sons produits par le corps ne varient pas d'un lieu à l'autre.

En revanche, les sons résultant de l'interaction entre l'être humain et l'environnement sonore comme les bruits de pas, varient d'un lieu à l'autre. On pourrait donc aller jusqu'à modifier les bruits de pas du comédien sur scène en fonction du *lieu sonore* désiré.

Par définition également, les sons relevant de l'environnement sonore varient fortement d'un lieu à l'autre. On peut même dire que certains sons appartiennent à un lieu ou un espace particulier.

---

<sup>33</sup> DESHAYS, Daniel, *Pour une écriture du son*, p. 88.

### 2.1.2. Identité du lieu

« Percevoir est aussi se souvenir, chercher volontairement et inconsciemment dans le catalogue de sa mémoire l'indice de lecture qui orientera le sens, l'indice qui permettra de retrouver plutôt que de découvrir. »<sup>34</sup>

Pour Raymond Murray Schafer, chaque son possède un « acoustic space » qui est l'espace physique délimité par l'audibilité de ce son. En s'éloignant de la source d'un son, on finit par atteindre une distance à laquelle on ne l'entend plus, bien que la source continue d'émettre : on a atteint son « horizon acoustique ».

Pour Murray Schafer cet « espace acoustique » démarque la propriété, comme peuvent le faire un mur ou une barrière. Ainsi, l'étendue d'une paroisse est symbolisée par la faculté d'entendre la cloche de l'église ou la voix du muezzin. Le son crée son propre espace.

« When one first tries to conceptualize what acoustic space might consist of, the geometrical figure that most easily comes to mind is the sphere [...]. One would then argue that a sound propagated with equal intensity in all directions simultaneously would more or less fill a volume of this description, weakening towards the perimeter until it disappeared altogether at a point that might be called the acoustic horizon. »<sup>35</sup>

Pour prendre des exemples qui relèvent davantage du quotidien : comment imaginer une salle à manger sans le tic-tac d'une l'horloge, ou une gare sans le bruit d'une machine à composter les billets, sans annonce vocale, sans sons de trains ?

Ces sons participent à définir l'identité du lieu dans lequel nous nous trouvons. Ils sont connotés, appartiennent à la mémoire associée à ces espaces. Mais comment fonctionne cette mémoire ?

Daniel Deshays nous dit qu' « Il n'est de mémoire que d'expérience. »<sup>36</sup>. C'est donc à partir des situations que nous vivons depuis l'enfance que nous associons des sons à chaque lieu.

Ceci peut expliquer la sensation de désorientation qui se produit parfois lorsque nous arrivons dans un lieu jusqu'alors inconnu, typiquement une ville dans un autre pays.

---

<sup>34</sup> TORGUE, Henri, *op. cit.*, p. 102.

<sup>35</sup> MURRAY SCHAFFER, Raymond, « Acoustic Space » in DHOMONT, Francis (cahier conçu par), *L'espace du son II, Lien (Musiques et Recherches - Ohain)*, 1991, hors-série, p. 15-20.

Traduction : Quand chacun tente d'imaginer pour la première fois ce que pourrait être l'espace acoustique, la forme géométrique qui vient le plus facilement à l'esprit est la sphère [...]. Chacun plaide ensuite qu'un son se propageant avec la même intensité dans toutes les directions simultanément remplit plus ou moins un volume de ce type, s'affaiblissant au niveau du périmètre jusqu'à ce qu'ils disparaissent tous deux en un point qu'on pourrait appeler l'horizon acoustique.

<sup>36</sup> DESHAYS, Daniel, *Entendre le cinéma*, p. 16.

Lorsque j'ai visité Sofia pour la première fois, j'ai tout de suite identifié les sons que j'avais déjà entendus ou qui étaient proches de ceux déjà entendus tels que les sons de moteurs et klaxons des voitures. D'autres étaient pour moi méconnus, tel que le bruit strident et particulier du vieux tramway sur les rails, dans l'acoustique particulière des rues de Sofia. Entendu pour la première fois sans que j'en voie la source, ce son m'a fait légèrement tressaillir.

Suite à cette petite frayeur, mon instinct de proie a recherché la source du danger, l'origine visuelle du son. Une fois cette source identifiée, le son était connu comme *le son de*. Le son strident que j'ai entendu à Sofia est donc devenu le son *du tramway de Sofia*. Et donc par extension un son *appartenant à la ville de Sofia*. Si c'est un exemple qu'on pourrait peut-être contester car l'environnement sonore des villes européennes tend à l'uniformisation, le malaise ressenti à l'arrivée dans une ville d'un autre continent, d'une culture très différente pourrait mieux en attester. Malgré la mondialisation, l'environnement sonore y est différent comme l'explique Henri Torgue.

« À l'échelle de la planète, le flux sonore suit une tendance à l'uniformisation des territoires et de leurs valeurs acoustiques, avec la circulation comme principal vecteur. [...] D'un autre côté se manifeste le désir d'une diversification des lieux. [...] Ainsi le sonore devient-il l'enjeu d'une territorialisation identitaire [...]. Davantage que les sources sonores elles-mêmes, les configurations spatiales d'une ville formalisent son identité. L'espace de propagation – rues étroites, courbes ou droites, larges avenues, hauteur du bâti, types de matériaux, végétalisation, aménagement et mobiliers divers... – est une dimension fondamentale des modulations du perçu. »<sup>37</sup>

Nos repères sonores sont donc inévitablement bouleversés d'une ville à l'autre du globe.

Il faut préciser que les mécanismes d'association d'un son à un lieu et inversement, du lieu à un ou plusieurs sons, restent souvent inconscients, comme l'explique Henri Torgue.

« [...] l'impact inconscient fonctionne totalement, y compris dans le champ sémantique. En deçà de la conscience explicite, se joue la représentation du monde et les valeurs de sens qu'on lui prête. Dans le creuset de l'imaginaire, se mélangent les flux sensoriels, les connotations, les affects et les logiques dont seules quelques bribes parviennent à remonter à la surface consciente et à franchir le seuil de la parole. »<sup>38</sup>

---

<sup>37</sup> TORGUE, Henri, *op. cit.*, p. 133-135.

<sup>38</sup> *Ibid.*, p. 104.

Nous construisons aussi un imaginaire sonore des différents moments de la journée. Par exemple, rien ne me fait plus penser au moment du coucher que le son de fermeture de ma boîte à lunettes ou le clic de l'interrupteur de la lampe de chevet, qui sont souvent les derniers sons définis que j'entends avant de sombrer dans le sommeil. Autre exemple, le son du grille-pain est pour moi synonyme de petit-déjeuner.

Or, même quand je voyage, je ne transporte pas ces objets d'un lieu à l'autre, à l'exception de la boîte à lunettes peut-être. Ils sont donc toujours entendus dans la même acoustique.

Plus que les sons associés à des moments de la journée, nous construisons donc un imaginaire sonore des *espaces-temps* de notre vie quotidienne.

Pour toutes ces raisons et pour celles dont nous parlerons plus tard, il me paraît désormais plus juste de parler d'*espaces-temps sonores* plutôt que de *lieux sonores*. On parlera par exemple de la chambre à midi, la gare à 10h, le quartier urbain à 4h du matin...

Ainsi, nous composons chacun notre « catalogue sonore ». Mais si les pages de ce catalogue passent par le filtre de la perception, elles possèdent inévitablement des points communs d'un individu à l'autre.

Le son *du tramway de Sofia* n'est peut-être pas exactement le même dans la mémoire de chaque individu l'ayant entendu mais possède suffisamment de points remarquables pour être reconnu comme tel par chacun, même en situation acousmatique<sup>\*39</sup>. Associé à d'autres indices, le clic d'interrupteur de la lampe de chevet résonnera comme le signe du moment du coucher pour tout un chacun. Idem pour le son du grille-pain et le petit-déjeuner.

L'expérience participe donc aussi à l'élaboration d'un imaginaire sonore collectif.

C'est particulièrement intéressant pour mon usage. Cela me permettra de proposer aussi bien des *lieux sonores* réalistes que des lieux fantasmés, déconstruits ou imaginaires.

Un second facteur entre en compte dans l'élaboration de cet imaginaire sonore commun : l'imaginaire sonore véhiculé par les médias. En particulier, la production cinématographique et le jeu vidéo, par l'intermédiaire du bruitage, véhiculent l'idée de sons propres à certains lieux (ou certains *espaces-temps*). Sans qu'on y soit jamais allé, sont ainsi associés le désert américain et le cri des oiseaux charognards, le canyon et le cri de l'aigle, le torrent de la cascade ou plus simplement la gare, l'aéroport et le cliquetis du tableau d'affichage mécanique (alors que ce type de tableau est devenu assez rare). Ces idées préconçues, parfois carrément devenues des clichés, ne doivent pas pour autant être

---

<sup>39</sup> \* Les mots ou expressions qui seront suivis de ce signe renvoient au glossaire.

ignorées, sous peine de prendre le risque de faire des contresens manifestes. Au contraire, je pourrai les utiliser, par souci de simplicité, mais avec justesse et parcimonie pour ne pas alourdir le propos.

En revanche, le formatage médiatique est gênant du fait qu'il est la plupart du temps inconscient. On jurerait que *tel* son est associé à *tel* objet, sans avoir conscience de n'avoir en réalité jamais entendu cet objet produire ce son dans l'expérience.

« [...] on finit par croire que le son qui nous est ainsi offert est le son du réel, qu'il est ce que j'aurais entendu si je m'étais situé à cet endroit. Vérité de ce que l'on a toujours entendu au cinéma ou à la télévision, réel médiatique, cette forme est devenue convention de représentation sonore [...] »<sup>40</sup>

Par exemple, la plupart d'entre nous n'a jamais entendu le brinquebatement produit par une armure de chevalier. Nous y associons le son que l'on entend le plus souvent au cinéma alors qu'il diffère souvent fortement de la réalité ; de même pour le bruit des armes à feu et des explosions.

De plus, ce codage médiatique a tendance à uniformiser les sens de lecture. Or je désire questionner le rapport intime de chaque individu avec son environnement sonore, et donc permettre à chaque spectateur de suivre son propre sens de lecture des *espaces-temps sonores* que je recréerai. Il faudra donc que je m'en méfie.

---

<sup>40</sup> DESHAYS, Daniel, *Entendre le cinéma, op. cit.*, p. 96.

## 2.2. Les sons off : dialectique du dehors et du dedans

Lorsqu'un son est émis par une source dans un espace, qu'il s'agisse d'une pièce fermée, partiellement fermée ou d'un lieu extérieur, une partie nous parvient directement à l'oreille, une seconde partie nous parvient dans un second temps sous forme de réflexions et une dernière partie est partiellement absorbée et s'échappe vers l'extérieur.

Dans un même bâtiment, des sons circulent donc d'une pièce à l'autre, et entre un bâtiment et l'extérieur, des sons circulent également, du dehors vers le dedans, et du dedans vers le dehors.

Ils circulent par voie aérienne ou par conduction solidienne\* et nous parviennent atténués, filtrés, en fonction des propriétés de l'air et des parois.

Entre un lieu extérieur et un autre lieu extérieur, les frontières sont moins nettes ; ce sont la configuration du terrain, l'architecture, le vent et les propriétés de l'air qui entrent en jeu.

Les sons qui nous intéressent ici sont ceux perçus depuis le *lieu sonore* désiré. Ce sont ceux qui circulent depuis le dehors vers le dedans. J'ai choisi d'appeler ces sons, que l'on pourrait qualifier de « bruits intrusifs », les sons off. Off car ils sont en situation acousmatique (la source de ces sons est souvent invisible bien que devinée) et off car ils proviennent du dehors.

### 2.2.1. Renforcement des limites

Les sons off sont aussi importants que les sons in puisqu'ils renforcent les limites des espaces.

En effet, lorsque j'entends depuis ma chambre, le bruit d'une voiture passant à ma gauche, la direction du son et son intensité m'indiquent qu'à quelques mètres, cette paroi de ma chambre est percée d'une fenêtre donnant sur la rue, car moins bien isolante de l'extérieur.

Lorsqu'une voix perçue clairement vient de ma droite, cela m'indique que je suis séparée d'elle par une paroi dont le pouvoir isolant est faible, typiquement une porte légère séparant les pièces les unes des autres dans un appartement.

Lorsque la pluie tambourine au-dessus de moi, cela m'indique que mon plafond n'est autre que le toit du bâtiment ou est très proche de celui-ci.

On prend donc conscience des limites de l'espace dans lequel on se trouve, non seulement grâce aux réflexions du son sur ses parois ou murs, mais aussi grâce aux sons off que l'on y perçoit.

## 2.2.2. Contextualisation du lieu

Les sons off nous permettent aussi de contextualiser le lieu dans lequel on se trouve à l'intérieur d'un ensemble plus grand.

En effet, quand j'entends le passage proche de gens sur un des côtés, cela peut signaler l'existence d'un couloir bordant la pièce. Si j'entends des bruits de talons au-dessus de moi, cela peut supposer l'existence d'un autre étage au-dessus. Si j'entends des voix venir d'à côté, cela peut indiquer l'existence de pièces mitoyennes.

Ces indices nous révèlent que la pièce dans laquelle nous nous trouvons appartient à un bâtiment plus grand, plus vaste comprenant plusieurs pièces, couloirs et étages. Sans la présence de ces sons, impossible d'avoir ces informations à partir de la seule écoute.

D'autres sons, comme par exemple le bruit du trafic routier, le ressac de la mer, certains chants d'oiseaux, la force du vent etc. peuvent également nous indiquer l'emplacement géographique du bâtiment dans lequel nous nous trouvons.

Le drone<sup>41</sup> urbain peut m'indiquer que le bâtiment dans lequel je me trouve est situé en centre-ville, banlieue ou bordure de ville, la force du vent peut me dire si ce bâtiment est plutôt isolé ou intégré à une rue, certains chants d'oiseaux qu'il y a sûrement un parc avec des arbres proche etc.

Les sons off ont donc la faculté de contextualiser architecturalement, topographiquement et géographiquement le lieu dans lequel on se trouve. Le lieu, contexte d'émergence du son, est lui-même contextualisé par d'autres sons.

---

<sup>41</sup> « De l'anglais *drone*, faux-bourdon, ce mot est de plus en plus utilisé en français pour qualifier la nappe sonore permanente caractéristique de l'urbain ou des infrastructures de transports ; rappel du bourdonnement grave permanent qui sert d'assise fixe à certains instruments (cornemuse, tampoura, vielle...). Le drone, avion-espion télécommandé, ne trahit sa présence que par son bruissement. »  
TORGUE, Henri, *op. cit.*, p. 115.

## 2.3. Le mouvement : facteur de zoom

« Lorsque nous tentons d'appréhender un son dans l'espace, notre corps tout entier se meut, toutes nos facultés gestuelles – auditives, visuelles, tactiles, kinesthésiques et toutes nos prédispositions imaginatives se projettent vers lui. *L'espace se construit alors dans un mouvement réciproque : nous allons vers le son et il vient vers nous.* »<sup>42</sup>

### 2.3.1. Un espace charnel et dynamique

Partant du constat que la vue seule est incapable de saisir véritablement le mouvement dont la substance est avant tout temporelle, Renaud Meric invite à considérer l'espace comme un espace corporel, charnel, faisant intervenir tous les sens. Dans la citation suivante, le « moi » et le « je », entre guillemets, sont entendus en termes phénoménologiques. Ils ne caractérisent pas l'expérience personnelle de l'auteur mais manifestent une posture générale, objectivable de l'homme, tout du moins l'homme occidental. Renaud Meric prend ici l'exemple de l'existence spatiale d'un crayon posé sur une table.

« Même si 'je' ne le vois pas, même si 'je' n'ai pas la possibilité de le décrire objectivement, il reste dans l'espace, l'espace dans lequel 'je' suis présent et dans lequel 'je' me meus. Ce crayon est lié spatialement à 'ma' chair et, finalement, à 'moi-même'. Au-delà du lien charnel se tissent de multiples dynamiques spatiales, qui restent difficilement descriptibles, puisque que 'je' suis acteur – et non un simple observateur extérieur et distant – de l'espace et du temps. »<sup>43</sup>

C'est donc nous-mêmes qui faisons émerger l'espace. Il n'existe pas d'espace hors de la conscience. Cet espace est dynamique. Il n'est ni objectif, ni subjectif.

« Lorsque 'je' vois un objet ou que 'je' pense à lui, ce n'est pas seulement l'objet que 'je' saisis du regard qui est présent : toutes les manières d'appréhender cet objet sont présentes (les différentes actions, agissements, ou approches possibles, qui ne se réduisent pas à la visibilité). [...] les dynamiques spatiales qui naissent de 'mon' rapport à l'objet ne peuvent être qualifiées ni d'objectives (dans la mesure où elles n'appartiennent pas seulement à l'objet, puisqu'elles impliquent 'mes' gestes, 'mon' corps), ni de subjectives (puisque'elles s'articulent autour de dynamiques qui n'appartiennent pas au seul sujet puisqu'elles sont liées à un objet, et qui ne peuvent donc pas être rationnellement considérées comme subjectives). »<sup>44</sup>

---

<sup>42</sup> MERIC, Renaud, *Appréhender l'espace sonore : l'écoute entre perception et imagination*, Paris, L'Harmattan, Collection Musique-philosophie, 2012, p. 12.

<sup>43</sup> *Ibid.*, p. 134.

<sup>44</sup> *Ibid.*, p. 136-137.

Il y a une fusion du temps et de l'espace. Le temps n'est plus figé durant l'espace de la description. Celle-ci devient une relation dynamique avec un objet, relation qui s'inscrit dans l'espace et dans le temps.

L'écoute charnelle forme un chiasme. « Le terme 'écoute' constitue à lui seul un chiasme : l'écoute est à la fois celui qui écoute et ce qui est écouté, ce qui saisit et ce qui est saisi. »<sup>45</sup>

La notion de mouvement est importante pour l'écoute car elle « permet de créer le lien entre les 'deux écoutes' (l'écoute/ouïe et l'écoute/son) qui sans lui, restent dans leurs univers respectifs [...]. »<sup>46</sup>

« Il existe un mouvement de l'ouïe pour saisir un autre mouvement révélé par le son. À son tour et réversiblement, ce dernier mouvement saisit lui-même l'ouïe (en des termes plus généraux – et évanesifs : 'il capte notre attention'). »<sup>47</sup>

### 2.3.2. Qu'est-ce qui se meut dans ce que j'écoute ?

Afin de mieux appréhender l'espace inhérent au son, Renaud Meric propose de l'appréhender comme le « mouvement de » au lieu du « son de » en répondant à la question : « Qu'est-ce qui se meut dans ce que j'écoute ? »<sup>48</sup>. Il prend ici l'exemple d'un son de voiture.

« Nous constatons que ce que 'j'entends est composé d'une myriade de mouvements : ce sont la rotation du moteur, les multiples vibrations – souffles, grincements, sifflements, etc. – à l'intérieur de ce dernier, les vibrations de tôles et des matériaux divers trépidants de la voiture ; ce sont également les frottements des pneus sur le bitume, (les multiples irrégularités de ce dernier modulent à la fois les bruits de frottement et les vibrations à l'intérieur de la voiture et du moteur qui se mettent en branle sous l'effet de celle-ci), les bruits des autres véhicules – et plus généralement le brouhaha ambiant – qui, par leurs mouvements propres, déforment et modulent les phénomènes et les bruits précédemment évoqués... Ce sont aussi les matériaux qui 'm' environnent et qui environnent pareillement la voiture : les vitres des façades de la rue qui vibrent sous l'effet du trafic ou d'autres mouvements insoupçonnés, le mouvement d'air, les radios à l'intérieur des voitures ou des appartements de la rue, 'mes' propres mouvements, les mouvements d'un avion qui traverse le ciel à cet instant, etc. L'aménagement et l'architecture de la rue dans laquelle évolue ce complexe de mouvements doivent être également pris en compte [...]. Les mouvements écoutés vont (donc) se refléter, se disperser, se combiner, être absorbés : en des termes simples, ils seront modulés et réorientés. »<sup>49</sup>

---

<sup>45</sup> *Ibid.*, p. 235.

<sup>46</sup> *Ibid.*, p. 235.

<sup>47</sup> *Ibid.*, p. 235.

<sup>48</sup> *Ibid.*, p. 245.

<sup>49</sup> *Ibid.*, p. 246-247.

Ainsi, dans ce que « j »'écoute se meuvent une multitude, une infinité de choses (ici, tous les éléments de la voiture, mais aussi de son environnement). Cela révèle :

- une absence de limite : ce mouvement ne peut être enfermé dans une durée temporelle ou une étendue spatiale.
- une dépendance et un entrelacement des mouvements : chaque mouvement est dépendant et complémentaire des autres mouvements qui l'environnement et qui, en même temps, le constituent.
- une absence de frontière entre perception et imagination : dans ces mouvements interdépendants, lesquels relèvent de ma perception et lesquels relèvent de mon imagination ?
- le mouvement comme une image complexe : le mouvement de la voiture est un déplacement complexe et instable d'image en image. Ce déplacement fait naître des images et réciproquement ces images font naître ce déplacement.

Remarquons qu'il ne faut pas confondre l'imaginaire et l'imagination. L'imaginaire se situe du côté de la fonction de réel, il est composé d'images arrêtées, il est nourri par le vécu et le codage médiatique (passé et réalité, présent, le catalogue dont nous parlions précédemment). L'imagination se situe du côté de la fonction d'irréel, elle ouvre sur l'avenir, elle agit comme un moteur : elle peut tout construire.

Je suis sensible à la démarche de Renaud Meric car elle évite de restreindre le son à son origine visuelle. Le son n'est plus seulement le son d'un objet, mais le son provenant d'un objet inséré dans un contexte (une acoustique), ce qui permet à l'écoute de se mettre en mouvement et au son de mettre en mouvement l'écoute.

« 'Je' ne peut concevoir le son que 'j' écoute sans le geste que 'je' fais pour l'appréhender. Ainsi, l'espace du son est nécessairement et corrélativement 'mon' espace. »<sup>50</sup>

---

<sup>50</sup> *Ibid.*, p. 346.

### 2.3.3. Un mouvement entre perception et imagination

Où se situe la limite entre la perception et l'imagination ? Notre imagination ne vient-elle pas sans cesse déformer et influencer ce que nous percevons ? « Dans ce que 'j' écoute, qu'est-ce qui vient du monde, qu'est-ce qui vient de moi ? »<sup>51</sup>

Une analyse en neuroscience du processus de la vision montre que 80% des informations qui parviennent au CGL (corps genouillé latéral, interface avec le cortex visuel) vient du dense réseau qui la relie aux autres régions du cerveau plutôt que de la rétine. La définition de perception doit donc être revue radicalement et celle d'imagination peut-être encore davantage.

Grâce à l'idée d'énaction (le faire-émerger, concept utilisé en phénoménologie) abordée en tant que geste de saisie, Renaud Meric redéfinit le concours de la perception et de l'imagination dans l'écoute.

« Pour le son et pour l'écoute, la présence de ce geste lié à l'imagination est fondamentale : il apparaît comme constitutif de l'écoute et du son. Il n'apparaît pas ainsi comme un simple *réflexe* de l'attention qui se tourne vers des objets sonores préconstitués : il est le catalyseur du processus d'écoute. [...] »

Nous avons tendance à concevoir les objets – ou des sons réifiés – *uniquement comme des apparitions* : ils sont 'là', dans le temps et dans l'espace. Ils ne sont jamais pensés comme des disparitions : ils peuvent et ils doivent nécessairement disparaître – un son, éphémère, ne dure jamais éternellement –, mais ils ne sont jamais conçus comme *le processus de disparition lui-même*. Or un geste lié à l'imagination rend ce processus possible et concevable, voire nécessaire : *le son se manifeste comme une forme de lutte entre apparition et disparition.* »<sup>52</sup>

\* L'imagination est le désir de saisir : le geste idéal qui parviendrait à appréhender le phénomène sonore dans son ensemble.

\* La perception est l'accomplissement du geste : le geste effectif perpétuellement confronté à l'espace et au corps et guidé et orienté par eux.

\* Le point de rupture entre l'une et l'autre se situe au niveau de la disparition du son.

« La perception subvertit l'imagination tout en la mettant en œuvre et en lui permettant de se réaliser ; l'imagination désoriente la perception en lui indiquant un chemin à suivre qui est en train de se dérober dans l'espace et qui n'existe déjà plus. »<sup>53</sup>

Ainsi, perception et imagination ne peuvent pas être considérées indépendantes l'une de l'autre, elles s'auto-entretiennent.

---

<sup>51</sup> *Ibid.*, p. 383.

<sup>52</sup> *Ibid.*, p. 380-381.

<sup>53</sup> *Ibid.*, p. 389.

« Cela nous permet de penser le phénomène sonore comme une pure dynamique qui se situe dans une relation entre perception, imagination et espace [...]. »<sup>54</sup>

#### 2.3.4. Le zoom sonore

L'écoute voyage parmi les différents mouvements initiés par un son, autant que parmi différents sons. Si l'écoute se meut, c'est qu'elle s'attarde temporairement sur un aspect du son (un mouvement initié par le son) ou un son particulier. Elle effectue alors l'équivalent d'un zoom sonore.

On peut rapprocher l'idée de zoom sonore de la *caméra dans le crâne* de Dario Fo.

« La grande différence entre le jeu sans masque et le jeu masqué tient à l'attitude mentale qu'ils imposent l'un et l'autre au spectateur. Ils l'obligent à cadrer différemment les images produites par l'acteur, en utilisant en quelque sorte des objectifs photographiques.

L'acteur amène en effet le public à privilégier un détail de l'action ou sa totalité en utilisant les objectifs que notre cerveau recèle à notre insu. Dans *La Faim du Zanni*, par exemple, je crée un large espace autour de moi, pour donner au spectateur la vue de l'ensemble de mon corps. Mais à un moment donné, je lui fais oublier l'ensemble en immobilisant toute la partie inférieure, qui perd du coup tout intérêt, et je l'oblige à cadrer un plan rapproché sur mon visage. Mes gestes ont une amplitude de trente centimètres au maximum, et je ne dois jamais déborder de ce cadre fictif, sinon le spectateur ne pourrait plus se concentrer. »<sup>55</sup>

Ce que Dario Fo parvient à faire avec son corps dans le domaine visuel, nous devons l'opérer dans le domaine sonore. Si le mouvement permet de définir un espace et qu'appréhender un son demande à l'écoute de se mouvoir alors le son permet de définir un espace.

Par exemple, trois sons provenant de trois directions, positions différentes font exister un *espace sonore* tout autour de l'auditeur. Si on coupe deux des trois sons, l'écoute vient se fixer sur le dernier son qui joue. *L'espace sonore* s'est refocalisé autour de ce son et son rayon dépend du niveau, et du rapport champ direct/champ réverbéré du son. Ainsi, en jouant sur l'apparition/disparition des sons, l'évolution des matières (temporalité, continuité, discontinuité...), les rapports champ direct/champ réverbéré, on proposera à l'écoute de se mouvoir et de se renouveler sans cesse.

---

<sup>54</sup> *Ibid.*, p. 396.

<sup>55</sup> FO, Dario / RAME, Franca, *Le gai savoir de l'acteur*, traduit de l'italien par TASCA, Valeria, Paris, L'Arche, 1990, p. 77.

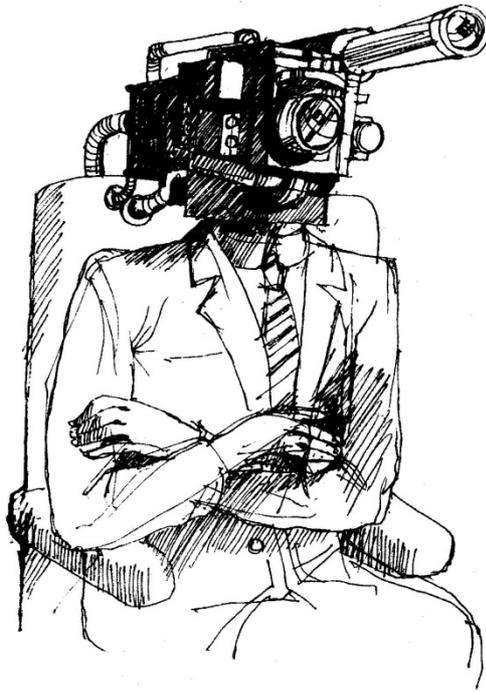


Fig. 2 : FO, Dario, *Sans titre*, 1990, Dessin, in FO, Dario / RAME, Franca, *Le gai savoir de l'acteur*, traduit de l'italien par TASCA, Valeria, Paris, L'Arche, 1990, p. 79.

## CHAPITRE 3 – Recréer des espaces sonores au théâtre

Ces deux premiers chapitres m'ont permis de me constituer une grille de lecture et d'analyse des *espaces-temps sonores* du quotidien. Je peux maintenant identifier les composants de ces *espaces-temps sonores* et chercher à les utiliser comme signes ou indices d'une écriture sonore. Je vais donc maintenant chercher un dispositif qui me permette de les mettre en jeu dans une salle de représentation.

« Au théâtre, la notion de lieu est une notion esthétique centrale dans l'ordre de la représentation : cette notion conjugue l'espace et le temps. [...] Toute poétique théâtrale implique une poétique des lieux. »<sup>56</sup>

L'écriture sonore que je propose à travers ce mémoire est une écriture de lieux, et donc peut-être, au fond, une écriture sonore scénographique. De ce fait, la question de la scénographie du dispositif est primordiale.

Nous aborderons donc dans un premier temps les critères visuels et acoustiques de ce dispositif concernant le lieu de la représentation et le décor.

Puis, nous ferons un point sur les systèmes de simulation d'acoustique existants.

Enfin, nous décrirons les expérimentations qui nous ont permis de mettre au point, petit à petit, un outil sonore dont nous ferons une description complète.

---

<sup>56</sup> FREYDEFONT, Marcel, *Petit traité de scénographie : représentation de lieu/lieu de représentation*, Nantes, Ed. Joca seria / Maison de la culture de Loire-Atlantique, Les Carnets de la Maison de la culture de Loire-Atlantique, 10, 2007, p. 23.

## 3.1. Lieu de représentation et scénographie

Afin de recréer nos *espaces-temps sonores* il est nécessaire que le lieu de représentation et la scénographie soient aussi neutres que possible, autant en termes visuels qu'en termes acoustiques.

### 3.1.1 Scénographie

« L'objet de la scénographie est de composer le lieu nécessaire et propice à la représentation d'une action, le moyen en est l'aménagement de l'espace et du temps. Autant que la spatialité, la temporalité est un élément constitutif du travail scénographique, et cela toujours en relation avec un texte, entendu comme projet dramatique. Il n'y a pas de scénographie concevable sans dramaturgie : c'est le fondement même de toute scénographie. Inversement, il n'y a pas de dramaturgie qui puisse être effective sans régie et sans scénographie : l'art de l'acteur et l'art du lieu sont indispensables. »<sup>57</sup>

Recréer différents lieux sonores dans une même salle à travers un dispositif de simulation d'acoustique revient en quelque sorte à créer des acoustiques acousmatiques. On perçoit des réflexions venant de parois qui n'existent pas, ou du moins sont invisibles. Nous cherchons sans cesse à faire concorder notre ouïe et notre vue. Si l'un est en contradiction avec l'autre, on perçoit une gêne ou une invraisemblance. Pour que les lieux sonores que l'on souhaite recréer puissent prendre vie il va donc falloir déjouer la vue en lui donnant le moins de repères visuels possibles.

Au théâtre, la boîte noire est souvent l'équivalent de la page blanche de l'écrivain. Un dispositif de ce type avec des parois et un sol noir formera donc un bon point de départ. Il faudra cependant veiller à ne pas trop révéler au public les limites de cet espace. Par conséquent, on utilisera un éclairage très ciblé sur les acteurs, avec des sources étroites et ponctuelles. Il pourra même être intéressant, dans certains cas, de ne pas révéler le sol sur lequel ils évoluent.

Pour ma part, j'ai choisi de travailler sur une boîte noire qui enserrera une scène annulaire sur laquelle évoluera une comédienne. Des accessoires seront peut-être répartis sur cet anneau pour renforcer les différents espaces, comme un lit ou une couette pour la chambre, un bureau, une table pour la cuisine... Le public, situé au centre de cet anneau, sera assis sur des tabourets lui permettant de pivoter sur lui-même afin de suivre l'action.

---

<sup>57</sup> FREYDEFONT, Marcel, *Lectures de la scénographie*, Nantes, CRDP des Pays de la Loire, Collection Carnets du pôle, 2007, p. 20.

### 3.1.2 Acoustique du lieu de représentation

Comme nous l'avons déjà vu : « Diffuser un son n'est pas projeter, c'est mettre en charge un espace, c'est répandre dans toutes les directions. »<sup>58</sup> On ne peut pas considérer un son en dehors de l'espace dans lequel il est produit. Et ce sera bien sûr le cas lors de la création de nos *espaces-temps sonores*. Sonore éphémère (voix et corps des acteurs et du public), sonore inscrit (bande son) et réverbérations seront diffusés dans l'acoustique particulière du lieu de représentation.

#### 3.1.2.1 Niveaux d'influence de l'acoustique sur la perception de l'auditeur

Pour tout son capté en direct puis diffusé dans une même pièce, on peut résumer l'influence des acoustiques sur la perception de l'auditeur à travers le schéma suivant.

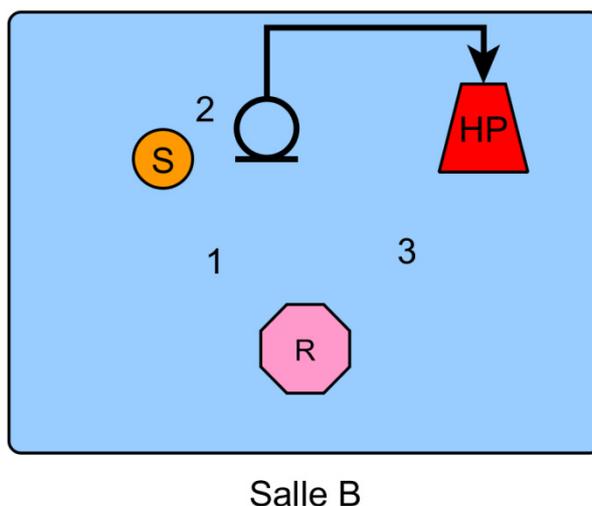


Fig. 3 : Influence acoustique pour un son capté et diffusé dans une même salle, 2016, schéma personnel. (S = source, R = auditeur).

Ce premier cas de figure correspond au traitement de la voix et corps de l'acteur et des spectateurs dans mon dispositif. Seule l'acoustique du lieu de captation/diffusion (B) entre en compte mais à trois niveaux différents. L'auditeur perçoit :

- 1 : les réflexions de B en réponse au son produit par S qui lui parviennent directement
- 2 : les réflexions de B en réponse au son produit par S qui sont captées par le microphone
- 3 : les réflexions de B en réponse au son produit par les haut-parleurs

<sup>58</sup> DESHAYS, Daniel, *Entendre le cinéma*, op. cit., p. 29.

L'enjeu est de diminuer autant que possible l'influence de l'acoustique B afin qu'elle devienne négligeable.

On peut diminuer l'effet de 1 en traitant acoustiquement la salle B et/ou en rapprochant la source de l'auditeur.

On peut diminuer l'effet de 2 en rapprochant le micro de la source S et/ou en augmentant sa directivité.

On peut diminuer l'effet de 3 en traitant acoustiquement la salle B et/ou en jouant sur les caractéristiques du haut-parleur : angle de diffusion et distance à l'auditeur.

Pour mon dispositif il y a donc de fortes chances que le lieu de représentation ait besoin d'un traitement acoustique. Pour la captation, j'utiliserai un ou plusieurs micros HF miniatures placés sur le comédien et je rapprocherai au maximum le micro destiné à reprendre les bruits du public. Pour la diffusion, j'utiliserai des enceintes en diffusion directe qui possèdent un angle de diffusion assez serré.

Pour tout son enregistré puis diffusé, on peut résumer l'influence des acoustiques sur la perception du spectateur à travers le schéma suivant.

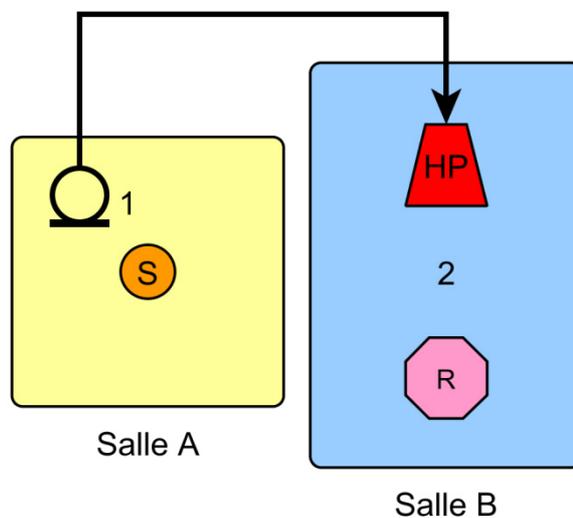


Fig. 4 : Influence acoustique pour un son capté et diffusé dans deux salles différentes, 2016, schéma personnel. (S = source, R = auditeur).

Ce second cas de figure correspond à l'enregistrement et la diffusion des sons qui composent la bande son dans mon dispositif. L'acoustique du lieu de captation (A) et celle du lieu de diffusion (B) entrent en compte, à deux niveaux différents. Le spectateur perçoit :

- 1 : les réflexions de A en réponse au son produit par S qui sont captées par le microphone
- 2 : les réflexions de B en réponse au son produit par les haut-parleurs

On peut diminuer l'effet 1 en rapprochant le micro de la source S et/ou en augmentant sa directivité et/ou en traitant la salle A.

On peut diminuer l'effet 2 en traitant acoustiquement la salle B et/ou en jouant sur les caractéristiques du haut-parleur : angle de diffusion et distance à l'auditeur.

Pour effectuer mes enregistrements, j'utiliserai donc une pièce déjà traitée en approchant au maximum les micros de la source. Il faut noter que le résultat d'une telle prise de son implique une extrême proximité dans le son qu'il faudra adapter à la distance que l'on veut obtenir dans chaque cas.

J'ai essayé de recréer la réverbération d'un escalier à l'aide d'une réverbération numérique\* stéréo diffusée sur plusieurs enceintes dans une salle non traitée. Le  $TR_{60}$  de l'escalier était bien supérieur à celui de la salle de diffusion : 2,8 s contre 1,2 s. Malgré cela, l'acoustique de la salle de diffusion influençait beaucoup le rendu final (masquage et allongement de la réverbération simulée). Pour simuler un espace plus petit ( $TR_{60}$  de 0,8 s) le problème était encore plus flagrant. Un traitement de la salle s'avérait indispensable pour travailler.

### 3.1.2.2 Critères acoustiques

Comme nous l'avons vu, il convient de bien choisir le lieu de représentation et d'y appliquer un traitement acoustique si nécessaire.

On choisira donc une salle dont les dimensions sont supérieures ou égales à 10x10x5m avec si possible trois dimensions différentes. Ainsi les fréquences de résonance se situeront majoritairement dans le grave (en dessous de 100 Hz). Le spectre de la plupart des sons diffusés n'étant pas chargé dans les basses fréquences, on pourra ainsi négliger l'influence des modes propres de la salle.

On veillera aussi à ce qu'il n'y ait pas d'échos notables type écho franc, écho tonal ou flutter echo dans cette salle. Si c'est le cas, le traitement pourra permettre d'y remédier.

On choisira une salle dont la réverbération de départ n'est pas trop importante, que ce soit en énergie ou en durée avec un  $TR_{60}$  de 1,5 secondes maximum. On appliquera ensuite un traitement acoustique de façon à abaisser le  $TR_{60}$  à 0,7-0,8 s.

On choisira également une salle dont le bruit de fond résiduel est faible. En effet, ce bruit de fond est souvent indépendant de notre volonté mais s'inscrira comme composante

mineure de tous les sons diffusés, nous empêchant de recréer nos propres silences. Le bruit de fond résiduel d'une salle dépend du niveau des sons extérieurs, de l'isolation de la salle, que ce soit par rapport au reste du bâtiment ou par rapport au dehors et du niveau des sources intérieures de bruit de fond. On peut difficilement maîtriser le niveau des sons extérieurs et renforcer l'isolation acoustique nécessite des travaux lourds. On choisira donc, si possible, une salle assez isolée du reste du bâtiment et offrant une bonne isolation acoustique. Une fois la salle choisie, on pourra seulement limiter le niveau des sources intérieures de bruit de fond pour tenter d'arriver à un bruit de fond de NC 30 maximum.

### 3.1.2.3 Traitement acoustique

J'ai mis en place un traitement acoustique temporaire dans la salle 136 de l'ENSATT dont les dimensions sont les suivantes : l 6,70m x L 12,09m x H 4,40m. Son volume est donc égal à 356,41 m<sup>3</sup> et le total des surfaces est de 327,36 m<sup>2</sup>. Les murs sont en béton peint avec très peu de surfaces vitrées, le toit est en tôle métallique et le sol en parquet sur lambourdes. Les dimensions de la salle étaient plus faibles que ce je préconise ci-dessus mais je n'ai pas déploré trop de problèmes dus aux modes propres. Il y avait un léger flutter echo dû au toit métallique. Le TR<sub>60</sub> de départ avait pour valeur 1,2 secondes.

J'ai installé 32 m<sup>2</sup> de pendrillons épais, ce qui a fait passer le TR<sub>60</sub> à 0,9 s et fait disparaître le flutter echo. Cette modification de l'acoustique était déjà bien audible.

J'ai ensuite installé 4 panneaux de mousse acoustique fibreuse de 3 m<sup>2</sup> chacun soit un total de 12 m<sup>2</sup>. Le TR<sub>60</sub> est alors passé à 0,55 s. Le résultat n'avait plus rien à voir avec l'acoustique de départ et offrait une très bonne base de travail.

Le bruit de fond de départ était de NC 40. J'ai coupé le circuit de chauffage et la ventilation de la salle. J'ai utilisé des amplificateurs silencieux installés dans une pièce séparée. Le bruit de fond est alors passé à NC 35, ce qui n'est pas exceptionnel mais déjà meilleur.

Cette expérience m'a montré que le traitement temporaire d'une salle de cette dimension est possible sans être lourd pour autant. Pour mon dispositif, je choisirai donc une salle légèrement plus grande dans laquelle j'installerai immédiatement un carré de pendrillons qui contiendra la scène et le public.

## 3.2. Les systèmes de simulation d'acoustique<sup>59</sup>

Les systèmes de « simulation d'acoustique » présents sur le marché sont des systèmes d'optimisation acoustique active (« active acoustic enhancement »). Ils sont dits actifs car utilisent des systèmes électro-acoustiques, en opposition aux systèmes n'utilisant que des dispositifs acoustiques passifs, comme l'espace de projection à acoustique variable de l'IRCAM<sup>60</sup>.

Les systèmes de simulation d'acoustique ont été créés pour améliorer les caractéristiques acoustiques d'une salle ou pour l'adapter à différentes utilisations sans avoir besoin de recourir à de lourds travaux ou dispositifs mécaniques. Ils sont donc davantage envisagés comme des outils de confort que des outils de création. Toutefois, il m'a paru intéressant d'y consacrer un court passage.

### 3.2.1 Deux type de systèmes

Deux méthodes différentes sont utilisées dans les systèmes de simulation d'acoustique active, parfois en combinaison dans les systèmes hybrides.

La méthode « in-line » consiste à synthétiser les réflexions nécessaires à partir du son direct puis à les diffuser avec un système de haut-parleurs adapté au public. Cette méthode en fait un système peu sensible au larsen et à la coloration. Si la salle est plutôt absorbante, le résultat dépend essentiellement des réflexions synthétisées, ce qui en fait un système très flexible. Si la salle est plutôt réverbérante, le résultat est la somme des réflexions originales et des réflexions synthétisées.

La méthode « regenerative » consiste à utiliser une multitude de systèmes micro-enceinte pour capter les réflexions originales de la salle, les amplifier et les rediffuser. Comme nous l'avons vu précédemment<sup>61</sup>, lorsqu'on augmente le niveau des réflexions, la réverbération semble s'allonger. Le système est naturellement plus sensible au larsen et incorpore des calculs supplémentaires pour éviter la coloration. Le résultat est très naturel mais est entièrement dépendant de l'acoustique originale de la salle.

---

<sup>59</sup> Sous-chapitre largement nourri de BAKKER, R. / GILLAN, S., « The history of active acoustic enhancement systems », Publications of the Institute of Acoustics, 2014, Vol. 36. Pt. 2, p. 56 à 65.

<sup>60</sup> IRCAM, Visite virtuelle - Les espaces [en ligne], disponible sur : <http://www.ircam.fr/1039.html> (consulté le 9 avril 2016).

<sup>61</sup> Cf. *supra*, 1.1.3., p. 22.

Par sa faible sensibilité au larsen et sa flexibilité, la méthode « in-line » semble la mieux adaptée à mon projet.

### 3.2.2 Exemples de systèmes de simulation d'acoustique

De nombreux systèmes sont encore commercialisés aujourd'hui malgré leur obsolescence. J'ai choisi de mentionner trois systèmes qui ont fait leurs preuves ou ont fait l'objet d'un récent développement.

\* AFC3 (Active Field Control 3) est un système hybride développé par Yamaha depuis 1987. Il a fait l'objet de plusieurs mises à jour et la conception actuelle du système date de 2009. Il équipe aujourd'hui plus de 80 salles dans le monde. Pour plus de détails concernant sa technologie, reportez-vous à « The history of active acoustic enhancement »<sup>62</sup> et au site de Yamaha Pro Audio<sup>63</sup>.

\* Constellation est un système hybride commercialisé par Meyer Sound depuis 2005. Il équipe aujourd'hui plus de 30 salles dans le monde. Pour plus de détails concernant sa technologie, reportez-vous à « The history of active acoustic enhancement »<sup>64</sup> ou au site de Meyer Sound<sup>65</sup>.

\* Transcend est un système développé par Wenger et Harman depuis 2014. Par sa protection marketing et sa relative nouveauté, il est difficile de trouver des détails concernant sa technologie. Vous pouvez cependant vous reporter au site de Wenger<sup>66</sup>.

---

<sup>62</sup> BAKKER, R. / GILLAN S., « The history of active acoustic enhancement systems », Publications of the Institute of Acoustics, 2014, Vol. 36. Pt. 2, p. 56 à 65.

<sup>63</sup> Yamaha Pro Audio, AFC - fiche produit [en ligne], disponible sur : <http://www.yamahaproaudio.com/global/en/products/afc/> (consulté le 9 avril 2016).

<sup>64</sup> BAKKER, R. / GILLAN S., « The history of active acoustic enhancement systems », Publications of the Institute of Acoustics, 2014, Vol. 36. Pt. 2, p. 56 à 65.

<sup>65</sup> Meyer Sound, Constellation - fiche produit [en ligne], disponible sur : <http://www.meyersound.com/product/constellation/> (consulté le 9 avril 2016).

<sup>66</sup> Wenger Corp., Transcend – fiche produit [en ligne], disponible sur : <https://www.wengercorp.com/transcend/> (consulté le 9 avril 2016).

### 3.3. De la réverbération numérique\* à la convolution\*

#### 3.3.1. Les réverbérations numériques\*

En septembre 2015, la reprise de l' « essai » *La philosophie dans le boudoir*<sup>67</sup> à l'ENSATT en salle Lerrant 1 m'a permis de faire une première tentative de simulation d'acoustique. Sur une scène de l'essai, j'avais envie de simuler, à partir des voix des acteurs, l'acoustique d'un grand volume type nef d'église ou grande bâtisse.

Nous partions déjà d'une salle de grand volume (environ 2000m<sup>3</sup>) avec un temps de réverbération déjà assez long (1,8 s). La scénographie, assez grandiose, intégrait le public à l'espace avec un rapport bi-frontal et soulignait la hauteur de la salle. J'avais suspendu au gril (à 7m au-dessus du sol) deux micros statiques cardioïdes DPA 2011C entrant directement dans une carte son puis dans deux moteurs de réverbération du logiciel Ableton Live avec deux temps de réverbération différents, diffusés ensuite dans quatre couples d'enceintes différents placés très haut, deux en façade-douche et deux autres en arrière-douche.

Le niveau de chaque micro entrant dans chacune des réverbérations était géré depuis la régie. Je me suis d'ailleurs vite aperçu qu'il faut effectivement mieux gérer le niveau d'envoi que le niveau de retour de la réverbération. Car, dans le second cas, le moteur est toujours excité de la même façon. La réverbération devient plus lisse et on supprime des possibilités de jeu.

L'effet marchait assez bien si le niveau était assez faible ; en fait beaucoup plus faible que le niveau de champ diffus qu'on aurait en réalité dans un espace aussi grand. Mais cela dépend aussi directement du moteur de réverbération. Plus il est de bonne qualité, et plus on pourra se permettre de diffuser la réverbération fort.

L'effet fonctionnait aussi assez bien car on simulait un très grand espace dans une salle déjà assez grande, avec des enceintes placées très haut, ce qui ouvrait littéralement l'espace en révélant la hauteur de la scénographie. Il y avait donc concordance entre univers sonore et univers visuel.

---

<sup>67</sup> *La philosophie dans le boudoir*, mis en scène par Ariane BERENDT, conception sonore de Clément HUBERT, 2015, ENSATT.

Malgré cela, je restais un peu sur ma faim quant à la qualité de la réverbération du plugin Ableton Live. Je l'ai donc remplacée par une réverbération externe TC Electronic M2000 en fonctionnement dual-mono. Bien que le gain en qualité soit certain, je n'étais toujours pas convaincu. Ce type d'appareil est avant tout conçu pour la musique et donne des réverbérations très belles, mais assez lisses, qui ne correspondent pas aux acoustiques des lieux de vie. Il faut passer un certain temps à régler chaque paramètre en vue d'obtenir un résultat plus « crédible » mais jamais satisfaisant.

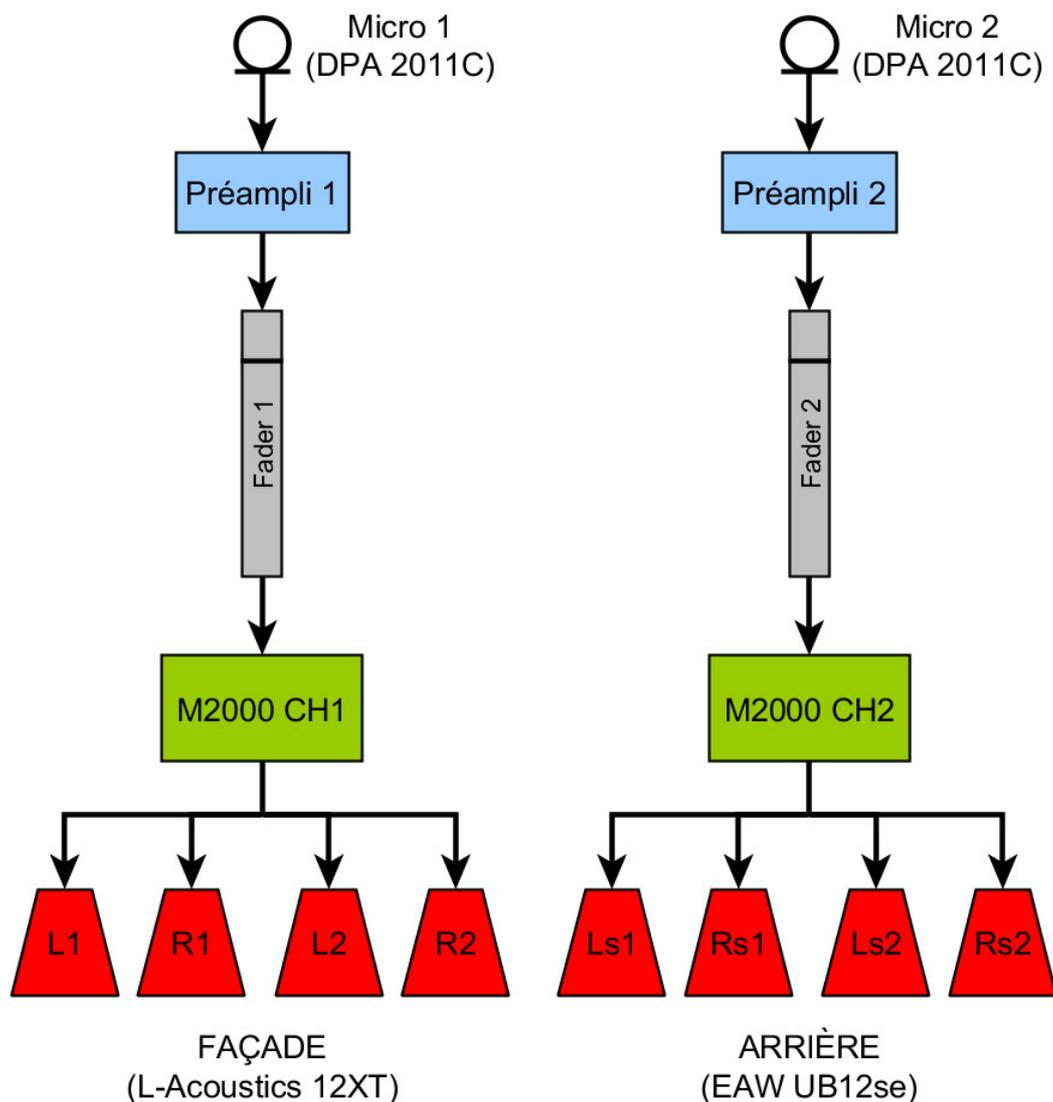


Fig. 5 : Synoptique du dernier système de simulation d'acoustique de *La philosophie dans le boudoir*, 2016, schéma personnel.

Plus tard, en janvier 2016, j'ai réalisé des enregistrements témoins de la réverbération de différentes salles de l'ENSATT pour une impulsion medium-aigüe, une impulsion grave et un échantillon de voix en prise de son binaurale\*. Pour cela j'ai utilisé deux micros omnidirectionnels miniatures DPA 4060 fixés au-dessus de chacun de mes pavillons d'oreille. Chacun des micros était enregistré sur une piste séparée d'enregistreur. C'était pour moi la meilleure façon de garder, avec les moyens de l'ENSATT, un bon témoin stéréo des réverbérations que j'allais chercher à recréer dans un autre lieu. Le rendu était très fidèle, avec une belle image sonore réaliste.

Suite à ces enregistrements, j'ai essayé de recréer les réverbérations de ces lieux au casque avec le moteur de réverbération de la console DM1000. Une fois encore, c'est la faible qualité de l'algorithme qui a fait défaut. En comparaison avec l'enregistrement, le rendu était artificiel, sans vie. J'ai de nouveau essayé avec des réverbérations externes types Lexicon PCM81 ou TC Electronic M2000 mais je me suis confronté aux mêmes problèmes que sur *La Philosophie dans le boudoir*<sup>68</sup>. Devant cette déception, je me suis tourné vers les réverbérations à convolution\*.

---

<sup>68</sup> *Ibid.*

### 3.3.2. Les réverbérations à convolution\*

Avant toute chose, j'ai capturé les réponses impulsionnelles des lieux de l'ENSATT pour lesquels j'avais réalisé des enregistrements binauraux. Pour cela, j'ai utilisé un micro de mesure omnidirectionnel associé au logiciel Smart Live 7. On obtient ainsi une réponse impulsionnelle correspondant à un point donné de la pièce en question. Pour les grands espaces, j'ai réalisé plusieurs mesures à différents endroits.

J'ai les ai ensuite chargées dans différents plug-ins de réverbérations à convolution gratuits tels que : Voxengo Pristine Space, Liquidsonics Reverberate LE, Knufinke SIR2 (Demo) ou RedState Revolverb Lite. J'ai joué une impulsion puis un échantillon de voix à travers ces plug-ins et j'ai comparé au casque les réponses de chacun à mes enregistrements binauraux.

Globalement, pour une restitution au casque, les réverbérations à convolution\* permettent un rendu assez réaliste en comparaison des enregistrements binauraux. On retrouve facilement les caractéristiques de l'espace dont on a fourni la réponse impulsionnelle. On n'a pas besoin de passer beaucoup de temps à ajuster chaque paramètre pour obtenir un résultat crédible.

Mais là où se situe le principal avantage de ces réverbérations se situe aussi leur grand inconvénient. Elles dépendent entièrement des réponses impulsionnelles qu'on leur fournit et sont donc a priori moins flexibles que les réverbérations numériques\*. Certains paramètres ne peuvent être modifiés qu'en effectuant des opérations sur les réponses impulsionnelles elles-mêmes, opérations complexes à réaliser en temps réel.

De plus, une réponse impulsionnelle est un indice de la réverbération d'un lieu en un point donné. Si la source ou le public se déplacent, elle n'est plus valable. Dans le dispositif que j'imagine, le public sera fixe. On devra par contre prendre en compte l'influence des premières réflexions sur la position de la source. Pour cela, on pourra mesurer des réponses impulsionnelles en plusieurs points de l'espace et les pondérer en fonction de la position voulue.

De surcroît, ce qui fonctionne au casque ne suffira certainement pas à recréer l'illusion d'un espace acoustique en trois dimensions. Il va falloir mettre au point un dispositif de convolution\*-diffusion interdépendant, performant et adapté à la création.

### 3.4. De la multi-diffusion à l'ambisonie d'ordre supérieur\*

Fin janvier 2016, j'ai testé une réverbération à convolution avec différentes dispositifs de diffusion. Je comparais chaque fois le rendu en salle avec mes enregistrements binauraux écoutés au casque.

#### 1 source

J'ai d'abord utilisé une réverbération mono diffusée dans une seule enceinte devant moi, à hauteur d'oreille. Comme on pouvait s'y attendre, cela ne fonctionne pas. On localise trop l'enceinte comme étant la source de la réverbération, ce qui n'est pas du tout naturel.

#### 2 sources

Avec une réverbération stéréo diffusée sur deux enceintes, on gagne en largeur de reproduction. L'image est globalement devant nous. On localise moins les sources que précédemment si on est situé à équidistance des deux enceintes. Si on écarte trop les deux enceintes, un trou se crée au centre et on a de nouveau deux sources bien localisables. Mais de manière générale, pour un rendu réaliste, cela manque de sensation d'enveloppement.

#### 3 sources

En ajoutant une enceinte à l'arrière, de façon à ce que les trois enceintes soient régulièrement réparties sur le plan horizontal, on gagne en sensation d'enveloppement. Il manque cependant la dimension verticale.

#### 4 sources

Le gain apporté par une quatrième enceinte au-dessus de la tête de l'auditeur n'est pas négligeable. Il ajoute une dimension au système. L'ajout d'une enceinte au sol n'est par contre pas concluant. En effet, les réflexions du sol sont souvent davantage assimilées à des premières réflexions qu'à une dense réverbération.

#### + de 4 sources

En suivant une répartition hémisphérique, plus on ajoute d'enceintes, et plus on augmente la sensation d'enveloppement et donc le réalisme. On commencera par ajouter une enceinte dans le plan horizontal. Puis une deuxième enceinte de plafond pour avoir plafond-avant et plafond arrière et etc.

À partir de sept sources, on commence à obtenir une diffusion qui fonctionne vraiment bien. Je me suis donc intéressé aux systèmes qui incluent ce type de diffusion hémisphérique.

Les systèmes multicanaux utilisés dans le cinéma tels que le 5.1 ou 7.1 n'intègrent de sources que sur le plan horizontal (devant, sur les côtés et derrière) ; ils ne convenaient donc pas.

De plus, j'avais besoin d'un système de spatialisation performant qui me permette de gérer facilement les sons in, les sons off, et les bruits de fond. Pour cela, je ne voulais pas me contenter d'utiliser les traditionnels pan-pots ou envois d'une console ou d'un logiciel. J'avais besoin d'une interface dans laquelle chaque son puisse être mis en mouvement dans un espace sonore virtuel.

Avec le système Atmos, Dolby a introduit une dimension verticale en ajoutant des haut-parleurs au-dessus du public, ainsi que le mixage par objets sonores\* (« object based ») qui se distingue du mixage par canaux\* (« channel based »). Chaque son est considéré comme un objet qui peut être positionné, déplacé et traité dans un espace sonore reproduit par un nombre variable de haut-parleurs. Cependant, la technologie Atmos est avant tout pensée pour le cinéma, avec un mixage en amont de la diffusion, et non en temps réel pour le live. De plus, elle est très protégée et demande un matériel coûteux, que peuvent seuls s'offrir les studios de cinéma.

En revanche, l'ambisonie d'ordre supérieur (High Order Ambisonic, HOA) est un système d'enregistrement et de diffusion qui utilise une multitude de sources réparties selon l'un des cinq solides de Platon : cube, tétraèdre, octaèdre, dodécaèdre, icosaèdre. À travers la bibliothèque gratuite HOA pour Max/MSP développée par le Centre de recherche Informatique et Création Musicale (CICM) de la Maison des Sciences de l'Homme (MSH) de Paris Nord, elle permet une spatialisation en langage objet pour des systèmes de diffusion variables, une manipulation très créative des objets sonores et une intégration intelligente de la réverbération à convolution. J'ai donc opté pour ce système.

### 3.5. Caractéristiques du système mis au point

Pour des raisons de faisabilité à l'ENSATT, j'ai choisi de limiter mon système ambisonique à 9 enceintes réparties sur une demi-sphère dont le public est le centre (cf. le schéma du dispositif, Fig. 6 et 7 ci-dessous). L'ambisonie en trois dimensions fonctionne selon un ordre de décomposition qui détermine le nombre minimal de haut-parleurs du système (cf. Glossaire p. 87). Plus l'ordre est élevé et plus la spatialisation est précise. Pour un système de 9 enceintes réparties sur une demi-sphère seulement, on peut donc utiliser un ordre de décomposition 2 ou 3.

Il est possible que je doive ajouter un subwoofer pour étendre la bande passante du système et d'autres enceintes pour la diffusion des sons off.

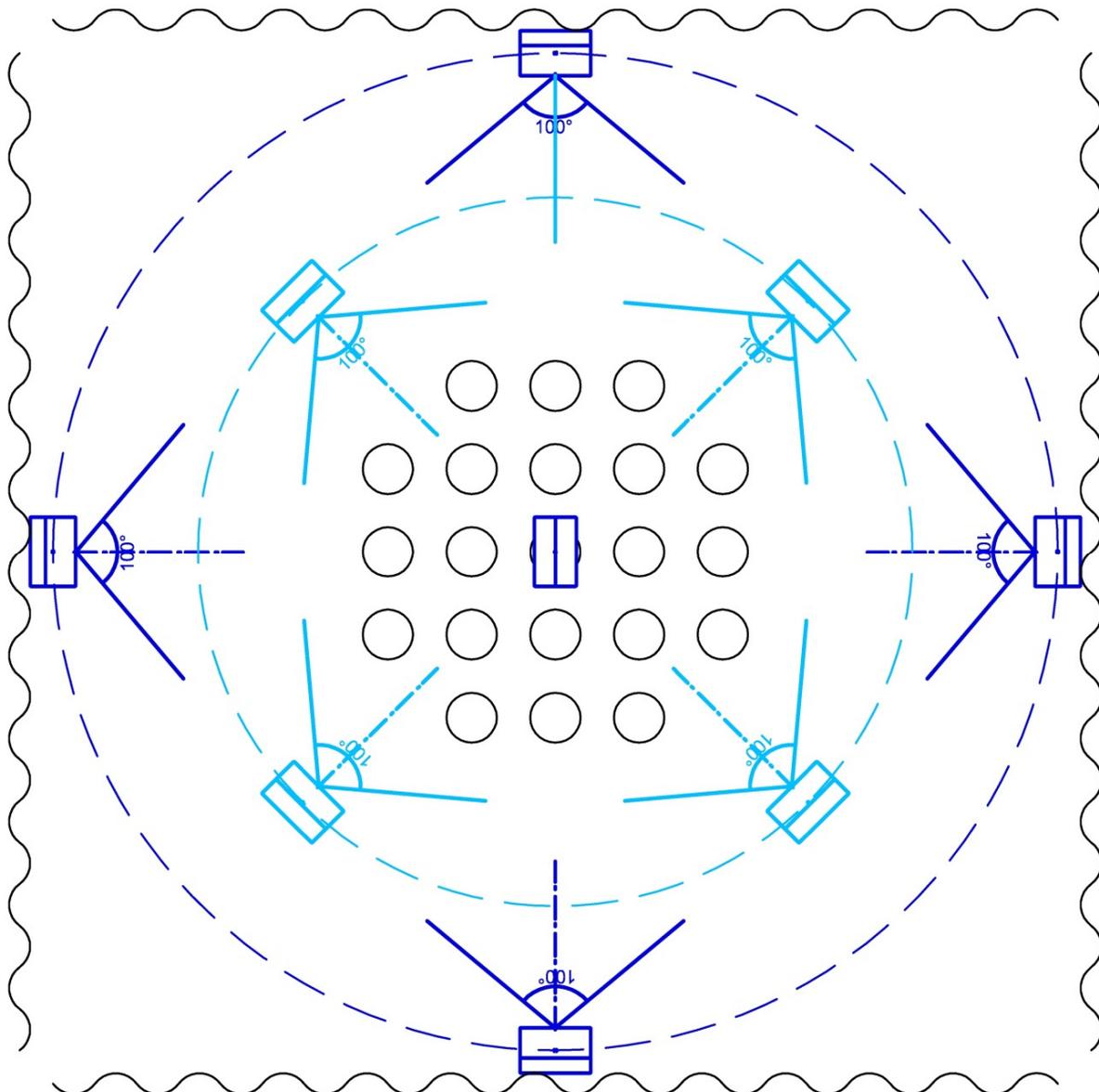


Fig. 6 : Schéma du dispositif imaginé - vue de masse, 2016, réalisé sur AutoCAD (~ = pendrillon, o = tabouret).

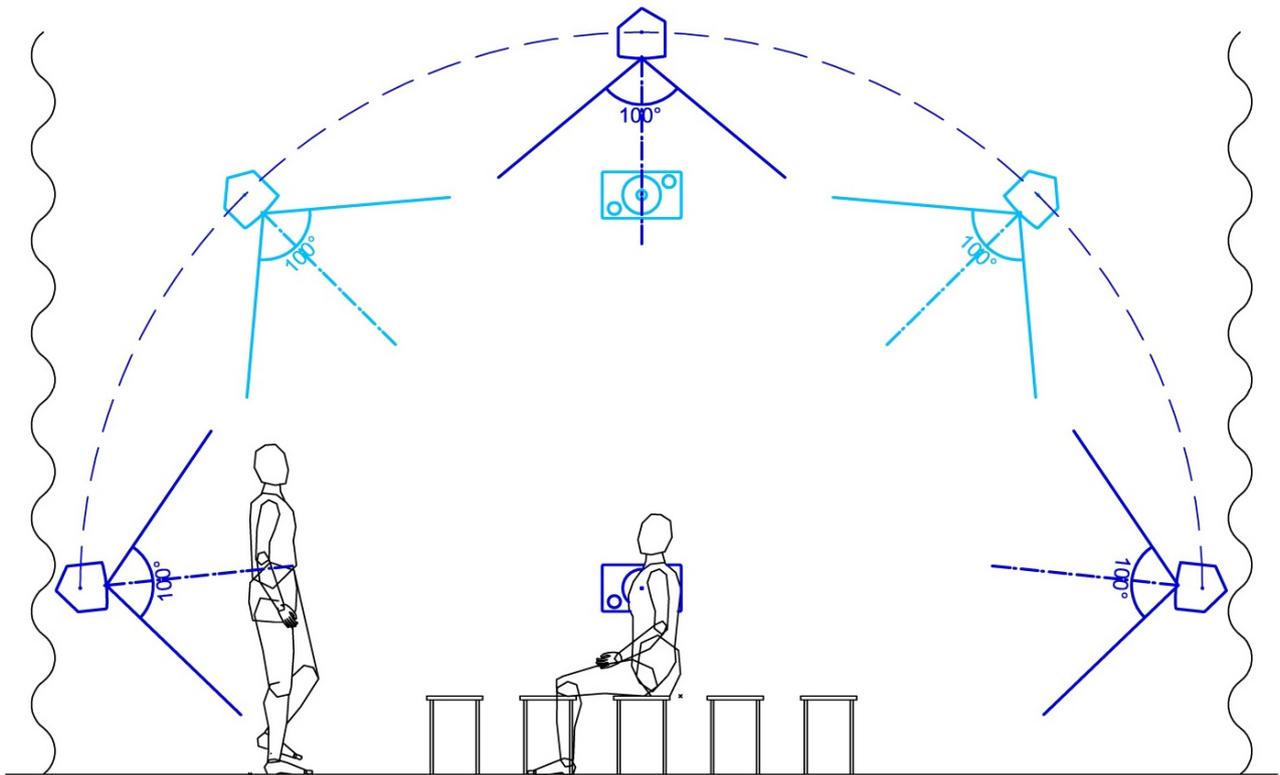


Fig. 7 : Schéma du dispositif imaginé - vue de coupe, 2016, réalisé sur AutoCAD (~ = pendrillon).

### 3.5.1. Fonctionnement de la bibliothèque HOA<sup>69</sup>

La bibliothèque HOA fonctionne comme un système modulaire (suivre sur l'aperçu de patch, Fig. 6 ci-dessous).

#### Encodage

Chaque objet sonore est représenté par un point dans un repère polaire orthonormé en trois dimensions. Ce repère (objet *hoa.3d.map* dans Max) constitue l'interface utilisée pour la spatialisation des sons. Le signal est ensuite encodé. En ambisonie, l'encodage est le fait de convertir un signal dans le domaine des harmoniques sphériques. Il est réalisé par l'objet *hoa.3d.map~* auquel on va donner un ordre de décomposition fixe, un signal, une valeur de rayon, une valeur d'azimut et une valeur d'élévation.

<sup>69</sup> Bien qu'elle ne s'y réfère pas toujours explicitement, cette sous-partie utilise des informations obtenues dans GUILLOT, Pierre, *Les traitements musicaux en ambisonie*, Mémoire de Master II en Musique (spécialité Musicologie, création, musique et société), Vincennes, Université Paris VIII, 2013. Et PARIS, Eliott, *Des interfaces pour la mise en espace du son avec la bibliothèque HOA*, Mémoire de Master II en Musique (spécialité Musicologie, création, musique et société), Vincennes, Université Paris VIII, 2013.

## Traitement

Une fois le signal encodé, le champ sonore peut subir de multiples transformations grâce aux différents objets de la bibliothèque HOA, offrant de grandes possibilités créatives. Une représentation de la décomposition du signal dans le domaine des ondes sphériques peut être fournie par l'objet *hoa.3d.scope~*.

En ambisonie, l'efficacité de la spatialisation dépend directement du champ sonore synthétisé et de la position de l'auditoire. Elle est optimale pour un spectateur situé au centre du système. Lorsque l'auditoire n'est pas précisément au centre, une optimisation peut donc être nécessaire. Elle se fait via l'objet *hoa.3d.optim~*.

## Décodage

Le champ sonore est ensuite décodé pour être restitué sur un système de diffusion grâce à l'objet *hoa.3d.decoder~* auquel on va donner un ordre de décomposition, un mode (répartition régulière des haut-parleurs, répartition irrégulière, mode binaural) et un nombre de haut-parleurs. En théorie, une même création est donc facilement transposable d'un système à un autre. Cela me permettra de pouvoir travailler la spatialisation en amont au casque, sans avoir besoin du système de 9 haut-parleurs dont je disposerai à la soutenance.

Après décodage, on obtient donc un canal audio par haut-parleur que l'on peut envoyer vers les sorties d'une carte son. On peut visualiser la contribution de chaque haut-parleur du système à l'aide de l'objet *hoa.3d.meter~*.

J'ai pu tester la spatialisation en conditions réelles avec 8 haut-parleurs et cela fonctionne plutôt bien. En revanche, il ne faut pas être trop décentré par rapport au système. En augmentant le rayon de la demi-sphère et en utilisant judicieusement les optimisations, on devrait accroître la zone de confort de l'auditoire.

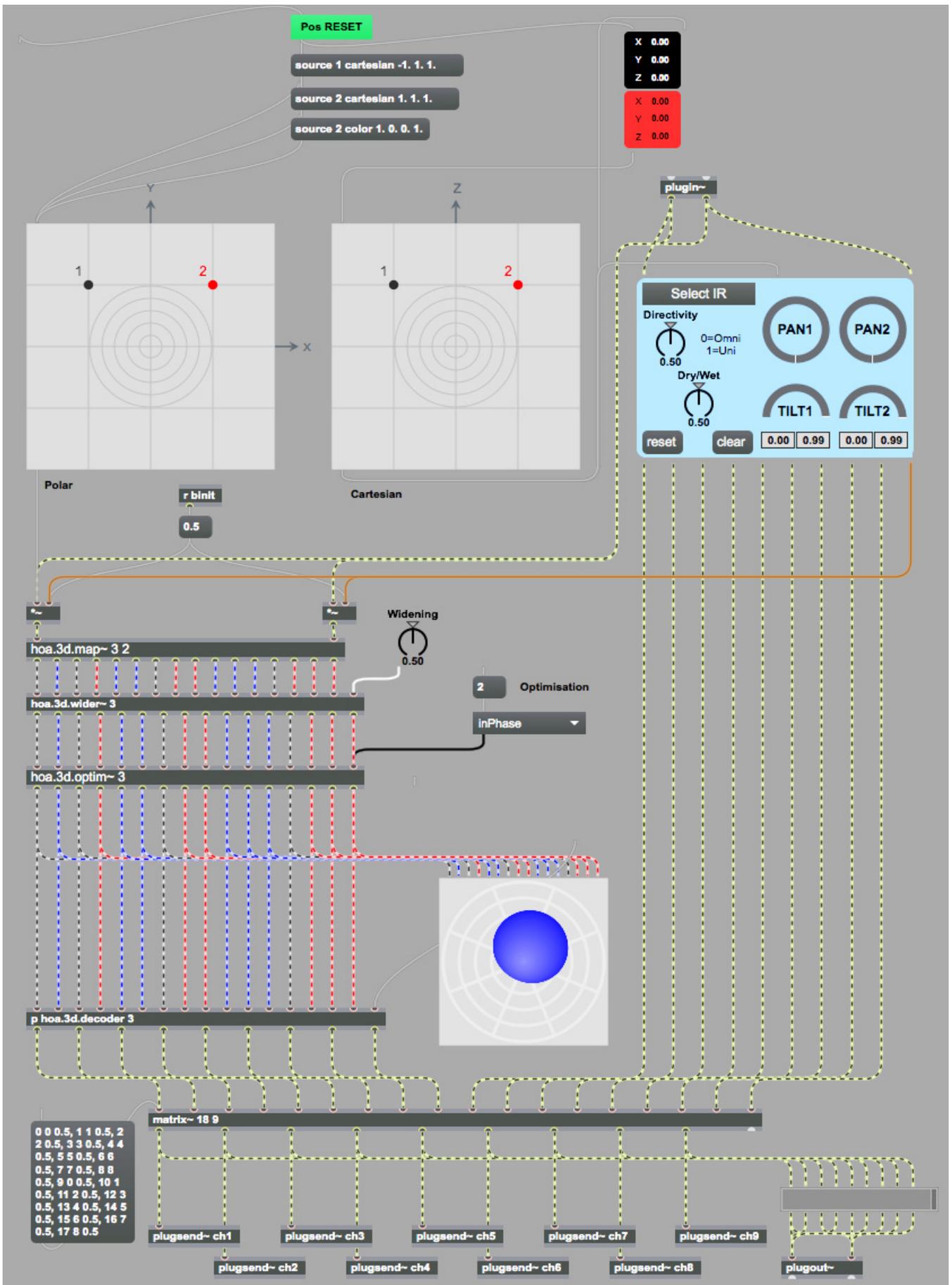


Fig. 8 : Capture d'écran du patch Max for Live du plugin version stéréo, conception personnelle, 2016.

### 3.5.2. Mise au point du module de convolution

Avec un total de 9 haut-parleurs, l'utilisation d'une réverbération à convolution avec une seule réponse impulsionnelle n'est plus satisfaisante. C'est ce que propose un exemple de patch fourni avec la bibliothèque HOA. Cela ne demande pas beaucoup de ressources CPU\* mais cela ne me semble pas optimal en termes de rendu. De plus, une réponse impulsionnelle n'est valable qu'en un seul point de la salle, comme l'explique Antonio Fischetti :

« La réponse impulsionnelle dépend de la position de la source et de celle du récepteur. On ne parle pas de réponse impulsionnelle d'une salle, mais de la réponse impulsionnelle pour des sources et des récepteurs donnés. La réponse impulsionnelle illustre la manière dont la salle modifie le son émis par la source. »<sup>70</sup>

Il faudrait donc diffuser dans chacun des 9 haut-parleurs du système un canal de réverbération différent.

J'ai réalisé des recherches sur internet et j'ai trouvé quelques exemples intéressants de mesures de réponses impulsionnelles en trois dimensions (ou « surround ») à l'aide de plusieurs micros directionnels<sup>71</sup>.

Dans mon cas, le public étant fixe, l'idéal serait de mesurer en un point (le centre de la pièce) les réponses impulsionnelles de 9 micros identiques, orientés dans les directions des 9 haut-parleurs du système. Cependant, pour une plus grande faisabilité, j'ai limité le nombre de micros à 5.

J'ai réalisé un système de mesure composé de 4 capsules cardioïdes Schoeps MK4 régulièrement orientés dans le plan horizontal et une capsule canon AKG CK8 orientée vers le haut (cf. photo, Fig. 9 ci-dessous). Un patch Max/MSP associé à une couronne de haut-parleurs m'a permis d'effectuer les mesures (cf. patch, Fig. 10 ci-dessous).

---

<sup>70</sup> FISCHETTI, Antonio, *op. cit.*, p. 80.

<sup>71</sup> ARQUEN - Surround Sound Acoustic Measurement, Room Impulse Response, Reverberation Measurement & Convolution Reverb [en ligne], disponible sur : <http://arqen.com/acoustics/surround-sound-impulse-response/> (consulté le 24 mai 2016). Ou, CARSON, Madeline / GIESBRECHT, Hudson / PERRY, Tim, *Surround Sound Impulse Response : Measurement with the Exponential Sine Sweep; Application in Convolution Reverb*, Projet de fin d'études en Ingénierie électrique et informatique, Victoria (Texas, Etats-Unis), Université de Victoria, 2009. Et YOKOYAMA, Sakae / UENO, Kanako / SAKAMOTO, Shinichi / TACHIBANA Hideki, *6-channel recording/reproduction system for 3-dimensional auralization of sound fields*, Compte rendu technique en Acoustique, Sciences et Techniques, Tokyo, Université de Tokyo, 2002.

Ces 5 réponses impulsionnelles étaient ensuite convoluées avec le signal entrant (non encodé en ambisonique) et les cinq canaux de réverbération ainsi obtenus étaient ensuite matricés sur les 9 haut-parleurs.



Fig. 9 : Le système de mesure de réponse impulsionnelle à 5 micros, 2016, photo personnelle.

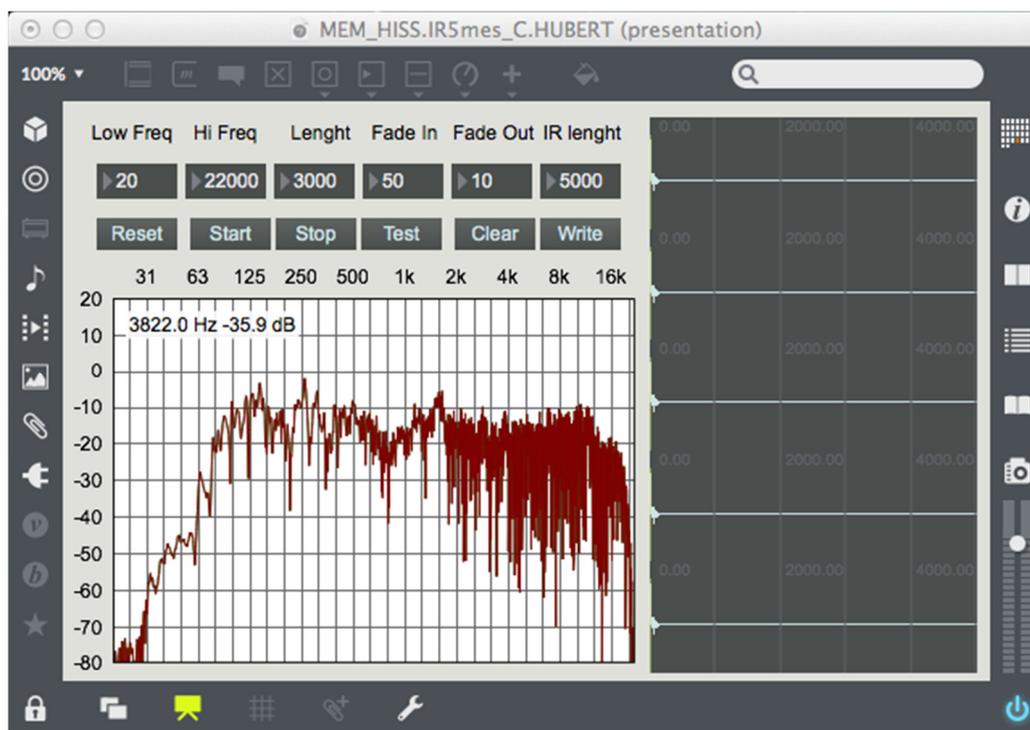


Fig. 10 : Capture d'écran du patch Max de mesure de réponse impulsionnelle à 5 micros, 2016, conception personnelle.

J'ai pu tester ce principe en conditions réelles avec 8 haut-parleurs et je me suis rendu compte que cela fonctionnait bien mais que la mesure à 5 micros impliquait forcément une direction. Le résultat n'était pas uniforme : on obtenait logiquement plus de niveau dans la direction virtuelle de la couronne de haut-parleurs. Or, pour un son spatialisé dans une direction opposée, cela n'a rien de naturel.

J'ai alors eu l'idée de réaliser cette même mesure pour quatre positions de haut-parleurs différentes et de pondérer les quatre sets d'IR ainsi obtenus en fonction de la position désirée de la source. Les quatre sets d'IR sont donc convolués en permanence avec le signal entrant, puis pondérés et matricés, pour chaque set d'IR, de la façon suivante :

$$\begin{aligned}HP_1 &= 0,25 \times IR_1 \\HP_2 &= 0,125 (IR_5 + IR_2) \\HP_3 &= 0,125 (IR_2 + IR_3) \\HP_4 &= 0,125 (IR_3 + IR_4) \\HP_5 &= 0,125 (IR_4 + IR_5) \\HP_6 &= 0,25 \times IR_2 \\HP_7 &= 0,25 \times IR_3 \\HP_8 &= 0,25 \times IR_4 \\HP_9 &= 0,25 \times IR_5\end{aligned}$$

Je n'ai pas encore pu tester ce principe avec le système de diffusion complet. Toutefois, avec 20 réponses impulsionnelles par pièce mesurée, je pense que le rendu sera plus réaliste. De plus, ce système semble présenter l'avantage de prendre en compte assez facilement l'influence de la position de la source sur les premières réflexions.

J'ai également ajouté, en amont, une première pondération entre les 5 réponses impulsionnelles de chaque set qui, dans le cas d'une source directive, permet de prendre en compte l'orientation de la source dans le plan horizontal (le Pan) et dans le plan vertical (le Tilt).

Pour l'utilisation avec la voix, j'avais d'ailleurs envisagé de suivre l'orientation et la position de la tête du comédien avec des capteurs. Or, par manque de matériel adéquat, ils seront certainement remplacés par un suivi actif en régie via un ou deux joysticks.

### 3.5.3. Fonctions de base et fonctions avancées

L'outil de spatialisation HOA et de convolution est compilé sous la forme de plusieurs plugins Max for Live.

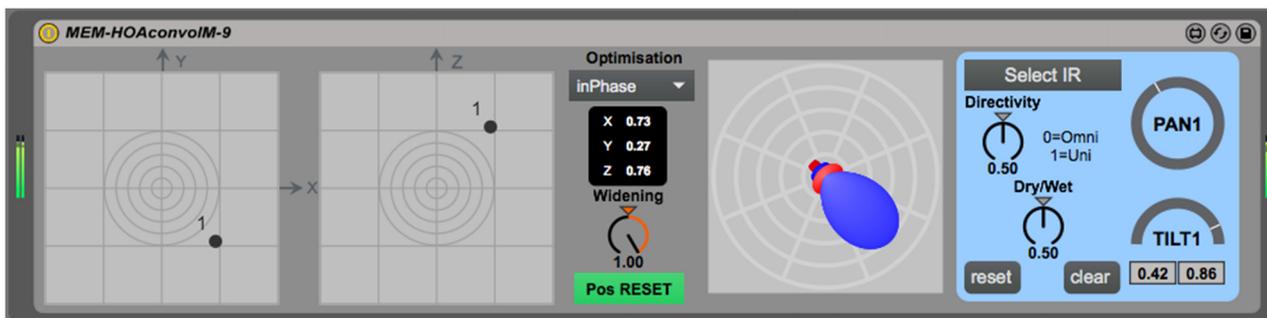


Fig. 11 : Capture d'écran du plugin Max For Live version mono, conception personnelle, 2016.



Fig. 12 : Capture d'écran du plugin Max For Live version stéréo, conception personnelle, 2016.

L'objet *hoa.3d.map* permet de positionner les objets sonores dans l'espace sonore virtuel (coordonnées cartésiennes). On peut ajuster la directivité (le « widening ») de chaque source de omnidirectionnel à unidirectionnel (0 à 1).

Concernant la réverbération, on peut bien sûr sélectionner la mesure d'IR que l'on veut utiliser parmi une bibliothèque préalablement constituée, et régler le ratio son sec/son traité (Dry/Wet). On a aussi accès à un deuxième paramètre de directivité, qui permet d'ajuster l'importance de la pondération des réflexions précoces en fonction de l'orientation de la source. On peut ainsi régler le Pan et le Tilt de chaque source. L'ensemble de ces paramètres est envoyé à Ableton Live afin de les automatiser ou les contrôler en MIDI.

Pour augmenter le potentiel créatif de cet outil, j'aurais aimé mettre en place les effets de focalisation du champ sonore et de distorsion de la perspective que présente Pierre Guillot dans son mémoire<sup>72</sup>, mais les objets Max correspondant n'ont pas encore été développés en 3D.

Afin d'élargir les possibilités de création, j'aimerais aussi mettre en œuvre un traitement en temps réel des réponses impulsionnelles qui permettrait de rendre la réverbération plus flexible : réglage du pré-délai, réglage du temps de réverbération de 25% à 200%, réglage du volume de la pièce de 25% à 200%, égalisation dynamique... Je n'ai malheureusement pas encore eu le temps d'implémenter ces fonctions. Les opérations sur les réponses impulsionnelles étant difficile à obtenir en temps réel, j'espère y parvenir avant la soutenance.

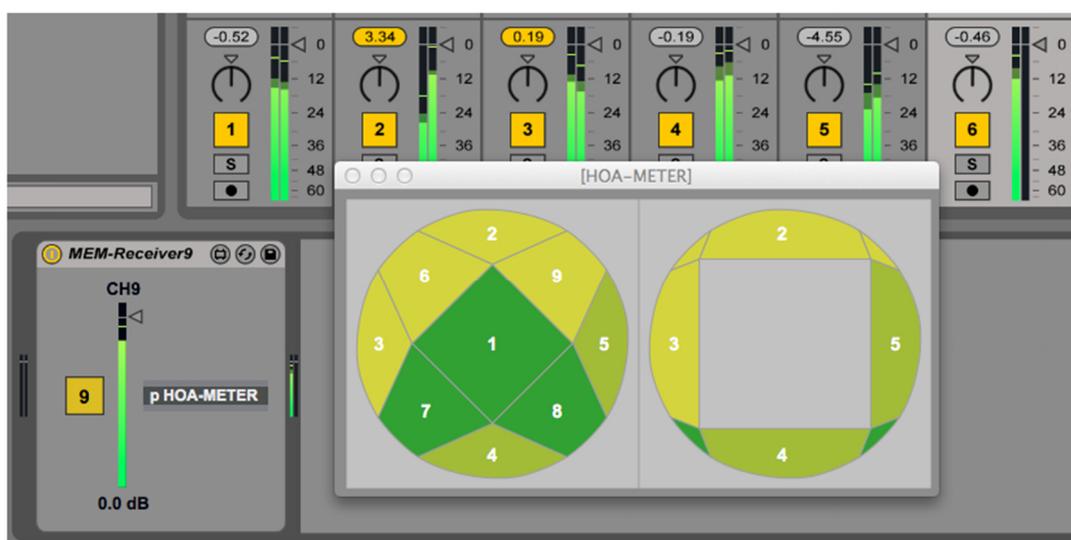


Fig. 13 : Capture d'écran de l'interface *hoa.3d.meter~* (intégrée à un des plugins nécessaire au routing), conception personnelle, 2016. Elle permet de visualiser la contribution de chacun des 9 haut-parleurs du système de restitution

<sup>72</sup> GUILLOT, Pierre, *op. cit.*, p. 53 à 60.



## CHAPITRE 4 – Potentiel d’écriture au théâtre

Dans le chapitre précédant, j’ai mis au point un outil qui devrait me permettre de recréer les *espaces-temps sonores* que je souhaite. J’ai tenté de le sophistiquer pour qu’il puisse, si besoin, obéir à des contraintes de réalisme voire de simulation. Nous allons voir qu’il n’est pas toujours nécessaire d’aller jusque-là.

Dans ce dernier chapitre, nous allons confronter cet outil à la création théâtrale. En vue de la soutenance, je présenterai ici un certain nombre d’idées ou propositions d’*espaces-temps sonores*, dont certaines ont déjà pu être testées et d’autres non, en fonction du temps et de l’avancée de l’outil.

Ces *espaces-temps* seront créés en utilisant tous les indices que nous avons identifiés précédemment<sup>73</sup>, à savoir :

- Réponse impulsionnelle du lieu : premières réflexions, champ réverbéré et échos.
- Réponse fréquentielle du lieu : modes propres.
- Bruits de fond : nature, niveau, spectre.
- Sons in : nature, niveau, spectre, directivité.
- Sons off : nature, niveau, spectre.
- Mouvement

---

<sup>73</sup> Cf. *infra*, chap. 1, p. 17 et chap. 2 p. 31.

## 4.1. La topographie de notre être intime

« On croit parfois se connaître dans le temps, alors qu'on ne connaît qu'une suite de fixations dans des espaces de la stabilité de l'être [...]. Dans ses mille alvéoles, l'espace tient du temps comprimé. L'espace sert à ça. [...]

Face à ces solitudes, la topo-analyse interroge : La chambre était-elle grande ? Le grenier était-il encombré ? Le coin était-il chaud ? Et d'où venait la lumière ? Comment aussi, dans ces espaces, l'être connaissait-il le silence ? Comment savourait-il les silences si spéciaux des gîtes divers de la rêverie solitaire ?

Ici l'espace est tout, car le temps n'anime plus la mémoire. La mémoire – chose étrange ! – n'enregistre pas la durée concrète, la durée au sens bergsonien. On ne peut revivre les durées abolies. On ne peut que les penser, que les penser sur la ligne d'un temps abstrait et sans épaisseur. [...] L'inconscient séjourne. »<sup>74</sup>

C'est en lisant *La poétique de l'espace* de Gaston Bachelard que j'ai eu l'idée que ma création soit le récit d'un personnage seul en scène. Comme nous l'avons déjà vu, la perception de l'*espace sonore* possède des points communs d'un individu à l'autre, mais elle passe par le filtre de la mémoire, elle est donc aussi personnelle<sup>75</sup>.

Prendre comme base le récit d'un individu offre l'occasion de traverser différents espaces dans ce qu'ils ont d'objectif et de subjectif. Je chercherai donc à faire entendre des espaces de façon réaliste, mais déformés par le point de vue du personnage.

Pour Bachelard, l'image que nous nous formons de certains lieux a à voir avec notre vérité intime.

« Examinée dans les horizons théoriques les plus divers, il semble que l'image de la maison devienne la topographie de notre être intime. [...] Non seulement nos souvenirs, mais nos oublis sont 'logés'. Notre inconscient est 'logé', notre âme est une demeure. »<sup>76</sup>

Pour Daniel Deshays, la mémoire du son est comparable à la mémoire du toucher.

« Le son nous a touchés, c'est sûr, comme une caresse sur la peau ou, selon, comme une virile secousse, mais il n'en demeure qu'un écho affadi par la perte de cette mémoire, celle du toucher, qui s'efface rapidement [...]. »<sup>77</sup>

---

<sup>74</sup> BACHELARD, Gaston, *La poétique de l'espace*, 7ème édition, Paris, Presses universitaires de France, 1998, Quadriga (Paris, 1981), 24, p. 27-28.

<sup>75</sup> Cf. *supra*, chap. 1, p. 17 et chap. 2 p. 31.

<sup>76</sup> BACHELARD, Gaston, *op. cit.*, p. 18-19.

<sup>77</sup> DESHAYS, Daniel, *Entendre le cinéma, op cit.*, p. 48.

Enfin, nommer des objets avec des termes abstraits, c'est déjà les penser, c'est déjà faire advenir un espace, comme le dit Georges Perec.

« Espace inventaire, espace inventé : l'espace commence avec cette carte modèle qui, dans les anciennes éditions du Petit Larousse illustré, représentait sur 60 cm<sup>2</sup>, quelque chose comme 65 termes géographiques, miraculeusement rassemblés, délibérément abstraits : voici le désert, avec son oasis, son oued et son chott, voici la source et le ruisseau, le torrent, la rivière, le canal, le confluent, le fleuve, l'estuaire, l'embouchure et le delta, voici la mer et ses îles, son archipel, ses îlots, ses récifs, ses écueils, ses brisants, son cordon littoral, et voici le détroit, et l'isthme, et la péninsule, et l'anse et le goulet, et le golfe et la baie, et le cap et la crique, et le bec, et le promontoire, et la presqu'île, voici la lagune, et la falaise, voici les dunes, voici la plage, et les étangs, et les marais, voici le lac, et voici les montagnes, le pic, le glacier, le volcan, le contrefort, le versant, le col, le défilé, voici la plaine, et le plateau, et le coteau, et la colline ; voici la ville et sa rade, et son port, et son phare... Simulacre d'espace, simple prétexte à nomenclature : mais il n'est même pas nécessaire de fermer les yeux pour que cet espace suscité par les mots, ce seul espace de dictionnaire, ce seul espace de papier, s'anime, se peuple, se remplisse [...]»<sup>78</sup>

La traversée de ces espaces, doublée d'un monologue porté sur la perception sonore, au sens kinesthésique du terme, suffira donc, j'espère, à raconter quelque chose d'intime, de profond sur notre personnage, et sur notre rapport à l'*espace sonore* en tant qu'être humain. Il est certain que ce type d'écriture peut avoir un côté démonstratif, artificiel, mais je l'aime d'autant plus qu'il permet à la forme et au fond de se rejoindre : la forme parle du fond, le fond parle de la forme ; ce qui me semble être un bon point pour une soutenance.

J'ai commencé l'écriture de ce récit avec Béatrice Bienville, une étudiante écrivaine de l'ENSATT. La structure n'est pas encore entièrement fixée. Néanmoins, voici un certain nombre d'*espaces-temps* sur lesquels j'aimerais travailler.

---

<sup>78</sup> PEREC, Georges, *Espèces d'espaces*, Paris, Galilée, 2000, p. 26-27.

## 4.2. Des lieux réalistes

La plupart des lieux, pris à un certain moment de la journée, revêtent une signification particulière dans l'inconscient collectif.

« 1. Tout appartement est composé d'un nombre variable, mais fini, de pièces ;  
2. Chaque pièce a une fonction particulière »<sup>79</sup>, nous dit George Perec. Il poursuit en disant que : « les activités quotidiennes correspondent à des tranches horaires, et à chaque tranche horaire correspond une des pièces de l'appartement. »<sup>80</sup>

Chaque lieu exprime donc le mieux sa fonction à un moment donné de la journée. Et par définition, nous y vivons, nous y habitons à des moments précis du jour ou de la nuit. Par exemple :

- la chambre : temps du coucher, temps du sommeil, temps du réveil ;
- la cuisine : temps de la préparation du repas, parfois temps du repas, temps du rangement du repas.

D'autres lieux ont une fonction et donc une temporalité plus floue :

- un parc en ville : temps plus moins défini de la détente, de l'oisiveté ;
- un carrefour routier : temps plus ou moins défini de la circulation avec ses heures de pointe et ses heures de creux.

Pris dans ce sens, ces lieux abritent des fonctions basiques, terre à terre, réalistes. Cependant, il me semble important de les donner à entendre : ils forment le point de repère du spectateur par rapport au récit et au dispositif, point à partir duquel je vais pouvoir déformer les choses. C'est aussi une des premières exigences de mon mémoire : recréer la sensation réaliste de se trouver dans tel ou tel lieu à un certain moment de la journée. Ensuite, il pourra être intéressant de s'intéresser à ces lieux en dehors de leurs moments fonctionnels. Ils véhiculeront alors d'autres significations, d'autres ressentis. Par exemple, rester dans son lit la journée est synonyme d'oisiveté, de rêverie...

---

<sup>79</sup> PEREC, Georges, *op. cit.*, p. 58.

<sup>80</sup> *Ibid.*, p. 59.

J'aimerais donc travailler sur les *espaces-temps* suivants :

- la chambre du lever (éveil des sens)
- la cuisine du petit déjeuner
- la chambre de la rêverie
- le parc du bien-être
- le carrefour du vertige en heure de pointe
- la chambre du coucher

J'ai déjà essayé de créer au casque certains de ces *espaces-temps*. Ceux qui requièrent l'utilisation d'une réponse impulsionnelle, associée à un bruit de fond et quelques sons ponctuels, comme la chambre et la cuisine, fonctionnent sans trop de difficultés. Pour les espaces plus ouverts, comme le parc ou le carrefour, les choses se compliquent. L'absence de limites claires à ces espaces implique souvent la présence d'un grand nombre de sons. Or il devient compliqué de traiter chacun de ces sons en ambisonie lorsque leur nombre dépasse la dizaine, à cause de la difficulté de composition et de la surcharge CPU\* que cela implique.

J'aurai donc sans doute recours à des enregistrements classiques d'ambiances en quadriphonie, qui ont l'avantage d'apporter facilement de la densité au son et qui seront mixées sur les 9 haut-parleurs du système en dehors de l'encodage ambisonique.

### 4.3. Des lieux fantasmés

D'autres lieux n'obéissent pas à la partition temporelle, séquentielle, nyctémérale dont nous venons de parler. Ils peuvent avoir une fonction particulière mais elle perdure, elle ne dépend pas du temps. La temporalité de ces lieux est vague, voire inexistante. Nous nous rendons dans ces lieux par nécessité, bien plus que nous y habitons, et ce à des moments très variables de la journée.

Ainsi en va-t-il de la cave et du grenier, qui ont tous deux une fonction mais pas de temporalité. Ces lieux sont davantage sujets à interprétations, rêveries, projections, sensations... que les lieux fonctionnels. Ils participent d'autant plus à définir notre rapport intime à l'espace.

« La verticalité est assurée par la polarité de la cave et du grenier. [...] on peut opposer la rationalité du toit à l'irrationalité de la cave. Le toit dit tout de suite sa raison d'être : il met à couvert l'homme qui craint la pluie et le soleil. [...] La cave [...] est d'abord *l'être obscur* de la maison, l'être qui participe aux puissances souterraines. »<sup>81</sup>

Ainsi que le sous-entend Bachelard, ces lieux fantasmés nous rapprochent des lieux du rêve. Le grenier, la tête dans les nuages, baigné de soleil, assailli par le vent et les intempéries, recueille des souvenirs nostalgiques, nourrit des voyages de marin, des périples d'aviateur... La cave, plus obscure, est comme une grotte, dans laquelle on pense avoir vu bouger quelque animal, entre bouteilles et cagots, et dont on s'attend à voir sortir la créature de nos plus noirs cauchemars.

Ces lieux sont intéressants à faire entendre en ce qu'ils racontent davantage sur notre personnage. Leur signification est mouvante. Je pourrais les faire entendre plusieurs fois de façon différente, avant et après un évènement particulier ayant marqué le personnage, à différents âges de sa vie...

Je n'ai pas encore essayé beaucoup de choses concernant ces lieux mais j'ai hâte de m'y atteler car la frontière entre le réel et le fantasme y est beaucoup moins nette, et le travail de création en sera d'autant plus intéressant.

---

<sup>81</sup> BACHELARD, Gaston, *op. cit.*, p. 35.

#### 4.4. Des lieux imaginaires

J'ai aussi envie de m'intéresser à des lieux qui ne sont qu'imaginaires, en cela qu'ils ne s'appuient pas vraiment sur des lieux existants.

Dans *Entendre le cinéma*, Daniel Deshays parle du ventre de la mère en ces mots :

« Dans l'espace du ventre, le monde sonore éloigné est perçu dans une douce atmosphère liquidienne filtrant le monde extérieur. Si les volumes externes sont perçus par la matérialité de leur résonance (bois, béton, pierre), l'incertitude de l'écoute ne permet pas de distinguer les particularités architecturales. L'indétermination de la morphologie des volumes est alors une donnée majeure de cette période de perception. [...] Tout est arrondi, les angles émoussés. »<sup>82</sup>

Cette évocation m'a donné envie de tenter de recréer l'espace sonore du ventre tel qu'on peut l'imaginer perçu par le fœtus. Sans doute placé au début de la création, cet espace permettra au personnage de s'introduire et éveillera la curiosité du spectateur dès les premières secondes.

Je me suis aussi intéressé à d'autres espaces, qui relèvent davantage de la sensation. Dans *L'espace du son II*, Michel Redolfi parle de la perception particulière du son en situation subaquatique :

« Contrairement à l'air, il n'y a aucune cohérence entre l'émission d'un signal et sa réception physiologique par l'individu. Le son se transmet à merveille sous l'eau, mais l'homme à l'écoute n'en percevra que certaines composantes captées par résonance avec sa boîte crânienne, les tympans étant devenus inopérants en milieu liquide. »<sup>83</sup>

Les caractéristiques de cette écoute immergée sont les suivantes :

- spectre réduit (200-8000 Hz voire seulement 500-5000 Hz et dépend de la position dans l'eau, la meilleure étant la planche sur le ventre)
- dynamique considérablement réduite (tout ou rien)
- absence d'écoute binaurale (perception en mono, tous les sons apparaissent centrés au milieu de la tête et même émis par la tête ou juste autour)
- réverbération inaudible (les réflexions longues sont inaudibles et les courtes perçues trop tôt pour être séparées de l'onde directe)

---

<sup>82</sup> DESHAYS, Daniel, *Entendre le cinéma*, op. cit., p. 16.

<sup>83</sup> REDOLFI Michel, « Écouter sous l'eau : Les musiques subaquatiques » in DHOMONT, Francis (cahier conçu par), *L'espace du son II, Lien (Musiques et Recherches - Ohain)*, 1991, hors-série, p. 39-42.

- les modifications harmoniques du spectre renseignent sur la localisation de la source (au lieu de l'intensité et du délai comme habituellement).

J'aimerais aussi réussir à donner au spectateur la sensation d'avoir la voix du personnage dans sa tête, comme si elle sortait de sa bouche à lui. Au-delà de leur côté intrigant et du défi technique qu'ils représentent, ces espaces pourraient signifier un état psychique particulier du personnage : impression de perte de contrôle ou état de malaise pour l'immersion sous l'eau, vertige ou folie pour la voix dans la tête...

Enfin, la question de la distorsion de l'*espace sonore* se pose dans des cas limites tels que le rêve, l'hallucination, la folie... Qu'est-ce que l'espace sonore du rêve ? Comment est perçue l'acoustique d'un lieu sous l'emprise de certaines drogues ? Les hypothèses sont ouvertes et j'ai maintenant à disposition des outils qui m'ouvrent un tout nouveau champ créatif.

Néanmoins, je n'ai pas encore essayé de choses concrètes concernant ces dernières idées, j'en attends beaucoup de ces prochaines semaines. L'espace du ventre me semble faisable mais son utilité dramaturgique reste à évaluer. L'écoute immergée et la voix dans la tête me semblent plus difficiles à réaliser. Je crains que l'utilisation de casques soit nécessaire. Or, je préfère l'éviter car cela alourdirait le dispositif et réduirait la jauge du public.

## 4.5. Jeu de sources, jeu d'espaces

Les expérimentations que j'ai déjà pu faire avec Anne Vigouroux, une étudiante comédienne de l'ENSATT, m'ont confirmé ou révélé un certain nombre de choses.

Premièrement, les sources créent leurs propres espaces. Par leur niveau, leur spectre, leur directivité, elles impliquent un *espace sonore* ou du moins une distance propre. Je pense que c'est particulièrement vrai pour la voix.

Quand le comédien chuchote, il doit se rapprocher pour que je puisse l'entendre, il m'oblige à tendre l'oreille. Je suis avec lui, tout près de lui. En quelque sorte, il chuchote à mon oreille. Et sa voix, très faible, n'excite pas l'acoustique du lieu dans lequel nous sommes. Nous adoptons un rapport intime et l'espace sonore de sa voix est concentré autour de sa bouche.

En revanche, quand il crie, je l'écoute de loin. Je veux m'éloigner. Sa voix fait résonner l'espace tout autour. Nous adoptons une grande distance et l'espace sonore de sa voix est délimité par les parois de l'espace architectural tout autour.

Un des premiers paramètres sur lesquels on peut jouer pour moduler l'espace sonore de la voix est donc son niveau.

Deuxièmement, la quantité de réverbération est un paramètre de jeu non négligeable. Pour un rapport champ direct/champ réverbéré fixe, le niveau de réverbération dépend directement du niveau de la source. Après avoir équipé Anne d'un micro HF, je me suis donc employé à faire varier le rapport champ direct/champ réverbéré pour voir ce que cela produisait.

J'ai d'abord appliqué sur sa voix chuchotée une grande quantité d'une longue réverbération plutôt chargée dans l'aigu. J'ai trouvé que cela créait quelque chose de très étrange, voire d'assez sombre, surnaturel. Cela conférait au texte une dimension rituelle, voire fantastique... quand cela ne gênait pas carrément la compréhension.

J'ai fait la même chose sur sa voix davantage portée, avec une réverbération plus chargée dans le bas medium. J'ai trouvé que cela lui conférait quelque chose de très solennel, peut-être parce que cela me rappelle les messes d'église. Cela m'a aussi parfois obligé à lui demander de ralentir l'élocution pour pouvoir la comprendre.

Enfin, j'ai appliqué très peu d'une courte réverbération sur sa voix criée. J'ai trouvé que cela apportait un côté brut, violent, bien qu'assez artificiel.

La quantité de réverbération appliquée sur la voix et sur les autres sources est donc un autre des paramètres de jeu possibles. On peut osciller autour d'une valeur réaliste de rapport champ direct/champ réverbéré ou choisir de s'en écarter franchement pour obtenir des effets particuliers.

Troisièmement, quelques signes suffisent pour évoquer un espace-temps. Pour la chambre, par exemple, la présence d'un lit apporte déjà beaucoup de sens. Cependant il pourrait s'agir d'un dortoir collectif. Quand j'y joint une acoustique un peu feutrée – réverbération courte et assez chargée dans le bas medium avec de légers modes stationnaires dans cette même bande de fréquence –, cela amène une idée du volume de la pièce et fait donc davantage penser à une chambre.

Nous pouvons ensuite essayer de localiser cette chambre dans un ensemble plus grand ou une géographie particulière à l'aide de certains bruits de fond et sons off.

Cependant, nous n'avons aucune information temporelle à propos de cette chambre. Quand j'ajoute un bruit de fond, j'apporte une vague idée du moment de la journée. En effet, le silence de la nuit est toujours différent de celui du jour, celui du matin ne ressemble pas à celui du soir...

En ajoutant certains sons off ponctuels, je peux être encore plus précis. Par exemple, le camion poubelle passe toujours à la même heure ; le nombre de coups de cloches de l'église indique l'heure qu'il est.

Quelques signes suffisent donc à évoquer un espace-temps mais plus on en ajoute et plus on gagne en précision en termes spatiaux et temporels. Ce qui est réellement important, c'est de déterminer la précision dont nous avons besoin. Celle-ci peut varier d'un moment à un autre en fonction de la dramaturgie et des autres partis du spectacle. Si tout est dit dans le texte, le jeu, la scénographie ou la lumière, alors pas besoin de son !

J'ai, par exemple, demandé à Béatrice d'être moins précise dans le texte à certains moments, pour laisser davantage de place au son et éviter qu'il ne devienne qu'illustratif.

Je pense qu'il est important de doser la quantité d'informations qu'on donne au public. Il faut alimenter la compréhension mais aussi attiser le désir du spectateur. On peut choisir la charge ou la surcharge pour créer l'immersion ou le malaise, mais il faut en être pleinement conscient et toujours veiller à la lisibilité.

Quatrièmement, la transition d'un *espace-temps sonore* dépend du sens voulu.

La question du seuil, du passage, est primordiale dans l'*espace sonore*. Lorsque je passe d'un espace sonore à un autre avec un long fondu, le deuxième espace a le temps de contaminer le premier qui s'efface doucement. On ne perçoit pas forcément tout de suite le passage de l'un à l'autre. Je pense que ce procédé est donc davantage adapté quand le personnage se souvient d'un lieu particulier, le reconvoque lentement dans sa mémoire, ou lorsqu'il entre dans un état de sommeil, de rêve, ou en sort paisiblement.

Lorsque je passe d'un espace sonore à un autre de manière franche (« cut »), toutes les informations sont reçues en même temps, c'est l'écoute de protection qui se met en marche. Je pense donc que ce procédé est le mieux adapté quand on veut créer une vraie rupture, mais nécessite un déclencheur comme un son brusque ou un geste énergique dans le jeu, qui fasse passer du premier au second espace.

La transition d'un espace sonore à un autre est donc un paramètre de jeu supplémentaire qui dépend de la dramaturgie du spectacle.



## CONCLUSION

Nous arrivons au terme de ce mémoire. Je vais donc me hasarder à synthétiser et conclure brièvement ce travail de recherche.

Dans un premier temps, nous avons vu que les *lieux sonores* sont constitués d'acoustiques et de bruits de fond caractéristiques dans lesquels sont produits des sons donnés : sons in et sons off. Pour un même lieu sonore, bruits de fond, sons in et sons off varient d'une heure à l'autre, d'une saison à l'autre, de sorte qu'on peut parler d'*espaces-temps sonores*.

Les sons se meuvent sans arrêt dans l'espace, saisissent l'écoute et la remobilisent par le renouvellement de l'intérêt que l'oreille leur porte.

L'écoute saisit à son tour ces données et permet à l'être humain de constituer dans sa mémoire une sorte de catalogue des lieux sonores, auquel il se réfère sans cesse. Ce catalogue est personnel et intime, mais il possède aussi des points communs d'un individu à l'autre. L'inconscient ou l'imaginaire collectif sonore entretient donc fortement en compte.

La potentialité d'écriture des espaces sonores est une fondamentale de l'écriture sonore. Il s'agit de convoquer et nourrir l'espace personnel et imaginaire de l'auditeur. Pour cela, il n'y a pas forcément besoin d'outils très sophistiqués. Cependant, j'avais envie de prendre des outils dont on vante la technicité à des fins plus ou moins commerciales pour les mettre face à la création théâtrale.

J'ai donc mis au point petit à petit, par essais successifs, un outil qui me permette de recréer des lieux sonores. Je l'ai trouvé dans un système de spatialisation ambisonique d'ordre supérieur, associé à un module avancé de réverbération à convolution. Cet outil a prouvé son efficacité technique par son rendu réaliste.

Enfin, j'ai envisagé de raconter la vérité intime d'un personnage via la traversée de lieux sonores. En vue de la soutenance, j'ai évoqué et testé un certain nombre d'idées, allant de la reconstruction de lieux réalistes à des lieux fantasmés ou imaginaires.

Néanmoins, un grand nombre de choses n'ont pas encore pu être testées et les semaines à venir s'annoncent encore riches en créations et expérimentations. C'est à regret que je ne peux pas les retranscrire dans cet écrit. J'ai sans doute, à tort, trop longtemps

délaissé l'expérimentation scénique au profit de la mise au point de mon outil technique alors que l'un et l'autre auraient pu se faire conjointement.

Toutefois, je me suis maintenant entouré de personnes que j'apprécie tant au niveau humain qu'artistique pour travailler ensemble et vous proposer, le jour de la soutenance, une création sensible et de qualité qui j'espère vous touchera.





## ANNEXE – Tableau final des facteurs perceptifs<sup>84</sup>

Facteur	Nom proposé	Critère correspondant	Sensibilité
F1	Présence	DirE	1 u.p./dB
F2	Effet de salle	Rev	1 u.p./dB
F3	Réverbérance	EDT15	1 u.p./100ms
F4	Diffusion	dANG1 = ANG1 - DirE	0,25 u.p./dB
F5	Enveloppement	dANG2 = ANG2 - d	0,7 u.p./dB
F6	Brillance	$\Delta\text{DirE}_{\text{HF}} - 0,5*\Delta\text{DirE}_{\text{BF}}$	2,4 u.p./dB/oct
F7	Chaleur	$\Delta\text{DirE}_{\text{BF}}$	1,2 u.p./dB/oct
F8	Vivacité	$\Delta\text{TR}_{\text{HF}}$	2 u.p./100ms/oct
F9	Lourdeur	$\Delta\text{TR}_{\text{BF}}$	1 u.p./100ms/oct

### DirE : effets du niveau précoce

$\text{DirE} = 10 \log_{10}(\text{OD} + \text{R1} + \text{R2}[\text{R2} > \text{O40}] + 0,18\text{R2}[\text{R2} \leq \text{O40}])$ , avec

$$\text{OD} = \int_0^{20\text{ms}} p^2 dt, \text{ énergie du son direct}$$

$$\text{R1} = \int_{20}^{40\text{ms}} p^2 dt, \text{ énergie des réflexions comprises entre 20ms et 40ms}$$

$$\text{R2} = \int_{40}^{80\text{ms}} p^2 dt, \text{ énergie des réflexions comprises entre 40ms et 80ms}$$

$$\text{O40} = \text{OD} + \text{R1}$$

### Rev : effet de salle

$\text{Rev} = 10 \log_{10}(\text{Rr80}_{280} + \text{R280})$ , avec :

$\text{Rr80}_{280}$  : énergie restante dans la plage temporelle [80 ms, 280 ms] après application du masquage par le son direct étendu.

$$\text{Rr80}_{280} = 10^{\log_2(2^{\log_{10}(\text{R80}_{280})} - 2\log_{10}(0,08*\text{O40}))}$$

$$\text{R80}_{280} = \int_{80}^{280\text{ms}} p^2 dt, \text{ énergie comprise dans la plage temporelle [80ms, 280ms].}$$

$\text{R280}$  : énergie comprise dans la plage temporelle [280ms, +∞[.

<sup>84</sup> KHALE, Eckhard, *op. cit.*, p.56.

### EDT15 : réverbérance subjective

La définition couramment admise de l'EDT15 est le temps de réverbération calculé sur une courbe de décroissance de 15 dB à partir de la fin d'émission du son.

### ANG et dANG : critères liés à l'impression d'espace

$$ANG1 = 10 \log_{10}(R1 + 0,23R2)$$

$$ANG2 = 10 \log_{10}(R1 + R2 + 0,2R2)$$

$$R3 = \int_{80}^{160ms} p^2 dt$$

$$d = 10 \log_{10}(\max(OD, R1))$$

Les énergies des différentes directions (R1, R2,...) seront pondérées selon l'angle d'arrivée. Le paramètre appelé « diffusion » (dANG1) correspond à la perception de la largeur des sources.

## GLOSSAIRE

**Acousmatique** : Se dit d'une situation dans laquelle un son est entendu sans qu'il soit possible de voir sa source.

**Ambisonie d'ordre supérieur**<sup>85</sup> : En anglais, « High Order Ambisonic (HOA) », l'ambisonie est un ensemble de techniques d'enregistrement, de synthèse et de reproduction de champs sonores basées sur une décomposition du champ acoustique en harmoniques sphériques. Cette représentation du champ acoustique en une somme de fonctions spatiales est valable localement, pour un espace défini, autour d'un point donné. Cet espace correspond à une sphère dont le centre est l'auditeur, en ce sens, les techniques de reproduction ambisoniques peuvent être qualifiées de « surround » car elles enveloppent l'auditeur.

La représentation du champ sonore sous la forme d'harmoniques sphériques est réalisée selon un ordre de décomposition  $N$  duquel dépend le nombre d'harmoniques (égal à  $(N + 1)^2$ ).

Il n'existe pas de limite au nombre d'harmoniques. De manière analogue à la FFT (Fast Fourier Transform, Transformée de Fourier Rapide) où plus la taille de fenêtre est importante et plus la résolution fréquentielle est grande, en ambisonie, plus l'ordre est élevé et plus la résolution angulaire est fine. Cependant, l'ordre est restreint par une configuration minimale du système de restitution. En effet, le nombre minimal de haut-parleurs doit être égal ou supérieur au nombre d'harmoniques sphériques.

**Binaural** : Binaural signifie littéralement « ayant attrait aux deux oreilles ». Notre morphologie - distance entre nos deux oreilles, influence de notre tête, la forme, l'inclinaison et les dimensions de notre pavillon d'oreille - nous permet de localiser précisément les sons dans l'espace. L'enregistrement ou la synthèse binaurale, visent à recréer cette perception par restitution au casque.

**Conduction solidienne** : Transmission d'une onde, dans notre cas une onde sonore, à travers des matériaux solides tels que murs, sols, plafonds...

**Convolution**<sup>86</sup> : La convolution est une opération mathématique qui consiste à faire une sorte de multiplication de deux signaux au moyen d'une intégrale dans le domaine analogique.

Un processeur à convolution n'est pas nécessairement un processeur de réverbération. Il permet de reproduire un traitement acoustique en se basant sur une sorte d'empreinte témoin, la réponse impulsionnelle. Une réponse impulsionnelle n'est pas suffisante pour enregistrer les phénomènes dynamiques. Un simple processeur à convolution ne peut donc pas reproduire fidèlement un traitement acoustique dans lequel la dynamique entre en jeu. Dans le cas de la réverbération, l'aspect dynamique peut être négligé.

---

<sup>85</sup> Définition largement inspirée de HOA Library – L'Ambisonie d'Ordre Supérieur [en ligne], disponible sur : <http://www.mshparisnord.fr/hoalibrary/ambisonie/ambisonie-ordre-superieur/> (consulté le 10 mai 2016).

<sup>86</sup> Définition largement inspirée de Audiofanzine – Viva la Convolution! [en ligne], disponible sur : <http://fr.audiofanzine.com/plugin-reverb/editorial/dossiers/viva-la-convolution.html> (consulté le 10 mai 2016).

Dans une réverbération à convolution, on effectue donc une multiplication dans le domaine numérique entre un signal d'entrée « sec » et la réponse impulsionnelle d'une salle mesurée en un point donné. On applique ainsi la réverbération de la salle mesurée en ce point donné au signal d'entrée comme si on l'avait joué et enregistré dans la salle en question.

**CPU** : Central Process Unit ou en français, unité centrale de calcul. Plus connue sous le nom de processeur, il s'agit de la partie de l'ordinateur qui est responsable des calculs à effectuer.

**Mixage par canaux**<sup>87</sup> : En anglais, « channel based mixing », le mixage par canaux est la technique de mixage « classique » au cinéma. En phase de post-production, les sons captés lors du tournage ou ajoutés au moment du mixage sont répartis sur plusieurs canaux selon le format : 2.1, 5.1, 7.1... Plusieurs sons différents peuvent être mixés sur le même canal et le même son peut se retrouver simultanément sur différents canaux. On obtient alors un fichier son avec l'ensemble des différents canaux. Chaque canal est ensuite diffusé par un haut-parleur ou un groupe de hauts parleurs.

La réalisation d'un mixage différent pour chaque format et chaque système de diffusion est donc nécessaire.

**Mixage par objets sonores**<sup>88</sup> : En anglais, « object based mixing », le mixage par objets sonores est une technique de mixage plus récente dans laquelle un son ou un ensemble de sons forment un objet sonore auquel sont associées des métadonnées qui indiquent comment il doit être reproduit dans la salle. Les métadonnées n'indiquent pas précisément sur quels hauts parleurs un objet doit être entendu mais elles donnent une indication de position. Le processeur de décodage, spécialement paramétré en fonction du système de diffusion de la salle, traduit alors l'information issue des métadonnées : il déduit de la position indiquée quels haut-parleurs doivent être mobilisés pour reproduire l'objet sonore. Un même mixage peut donc être adapté à différents formats ou systèmes de diffusion. Le système Dolby Atmos utilise une technologie hybride comportant à la fois du mixage par canaux et du mixage par objets sonores.

**Réverbération numérique**<sup>89</sup> : La réverbération numérique est une méthode de simulation de la réverbération d'une salle. Elle consiste à recréer les trois phases de la réponse impulsionnelle d'un son dans une salle (le son direct, les premières réflexions et les réflexions tardives ou réverbération) à l'aide d'échos de plus ou moins forte densité, en utilisant une multitude de délais et de filtres numériques. Ces réverbérations sont parfois appelées réverbérations algorithmiques car elles sont basées sur des algorithmes numériques.

---

<sup>87</sup> Définition largement inspirée de Manice – Fondements des techniques de son en relief [en ligne], disponible sur :

<http://www.manice.org/son-analogique-numerique-et-3d/fondements-des-technologies-de-diffusion-du-son-en-relief.html> (consulté le 10 mai 2016).

<sup>88</sup> *Ibid.*

<sup>89</sup> *Ibid.*

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

Fig. 1 (p. 25) : FISCHETTI, Antonio, *Fig. II.4. Rayonnement de la voix*, 2003, Schéma (d'après Marshall et Meyer, *Acustica*, vol. 58, 1985) in FISCHETTI, Antonio, *Initiation à l'acoustique : cours et exercices*, 2e édition, Paris, Belin, Belin Sup Sciences, 2003 p. 42.

Fig. 2 (p. 44) : FO, Dario, *Sans titre*, 1990, Dessin, in FO, Dario / RAME, Franca, *Le gai savoir de l'acteur*, traduit de l'italien par TASCA, Valeria, Paris, L'Arche, 1990, p. 79.

Fig. 3 (p. 4747) : *Influence acoustique pour un son capté et diffusé dans une même salle*, 2016, schéma personnel.

Fig. 4 (p. 48) : *Influence acoustique pour un son capté et diffusé dans deux salles différentes*, 2016, schéma personnel.

Fig. 5 (p. 5454) : *Synoptique du dernier système de simulation d'acoustique de La philosophie dans le boudoir*, 2016, schéma personnel.

Fig. 6 (p. 59) : *Schéma du dispositif imaginé - vue de masse*, 2016, réalisé sur AutoCAD.

Fig. 7 (p. 60) : *Schéma du dispositif imaginé - vue de coupe*, 2016, réalisé sur AutoCAD.

Fig. 8 (p. 62) : *Capture d'écran du patch Max for Live du plugin version stéréo*, 2016, conception personnelle.

Fig. 9 (p. 64) : *Le système de mesure de réponse impulsionnelle à 5 micros*, 2016, photo personnelle.

Fig. 10 (p. 64) : *Capture d'écran du patch Max de mesure de réponse impulsionnelle à 5 micros*, 2016, conception personnelle.

Fig. 11 (p. 66) : *Capture d'écran du plugin Max For Live version mono*, 2016, conception personnelle.

Fig. 12 (p. 66) : *Capture d'écran du plugin Max For Live version stéréo*, 2016, conception personnelle.

Fig. 13 (p. 6767) : *Capture d'écran de l'interface hoa.3d.meter~ (intégrée à un des plugins nécessaire au routing)*, 2016, conception personnelle.



## BIBLIOGRAPHIE

### Ouvrages :

BACHELARD, Gaston, *La poétique de l'espace*, 7ème édition, Paris, Presses universitaires de France, 1998, Quadrige (Paris. 1981), 24.

DESHAYS, Daniel, *Pour une écriture du son*, Paris, Klincksieck, 50 questions, 2006.

DESHAYS, Daniel, *Entendre le cinéma*, Paris, Klincksieck, 50 questions, 2010.

DESHAYS, Daniel, « Du proche au lointain. L'existence discontinue des bruits et sa représentation continue » in MERVANT-ROUX, Marie-Madeleine / PISANO, Giusy (cahier conçu par), *Art et Bruit, Ligeia, Dossiers sur l'art*, juillet 2015, n° 141-144.

DHOMONT, Francis (cahier conçu par), *L'espace du son II, Lien (Musiques et Recherches - Ohain)*, 1991, hors-série.

FISCHETTI, Antonio, *Initiation à l'acoustique : cours et exercices*, 2<sup>e</sup> édition, Paris, Belin, Belin Sup Sciences, 2003.

FO, Dario / RAME, Franca, *Le gai savoir de l'acteur*, traduit de l'italien par TASCA, Valeria, Paris, L'Arche, 1990.

FREYDEFONT, Marcel, *Lectures de la scénographie*, Nantes, CRDP des Pays de la Loire, Collection Carnets du pôle, 2007.

FREYDEFONT, Marcel, *Petit traité de scénographie : représentation de lieu/lieu de représentation*, Nantes, Ed. Joca seria / Maison de la culture de Loire-Atlantique, Les Carnets de la Maison de la culture de Loire-Atlantique, 10, 2007.

JOUHANEAU, Jacques / POLACK, Jean-Dominique, *Acoustique des salles et sonorisation*, Paris, Tec & Doc, Collection Acoustique appliquée, 1997.

MERIC, Renaud, *Appréhender l'espace sonore : l'écoute entre perception et imagination*, Paris, L'Harmattan, Collection Musique-philosophie, 2012.

PEREC, Georges, *Espèces d'espaces*, Paris, Galilée, 2000.

TORGUE, Henry, *Le sonore, l'imaginaire et la ville : de la fabrique artistique aux ambiances urbaines*, Paris, L'Harmattan, Logiques sociales (Études culturelles), 2012.

### Articles :

BAKKER, R. / GILLAN S., « The history of active acoustic enhancement systems », Publications of the Institute of Acoustics, 2014, Vol. 36. Pt. 2, p. 56 à 65.

YOKOYAMA, Sakae / UENO, Kanako / SAKAMOTO, Shinichi / TACHIBANA, Hideki, *6-channel recording/reproduction system for 3-dimensional auralization of sound fields*, Compte rendu technique en Acoustique, Sciences et Techniques, Tokyo, Université de Tokyo, 2002.

Mémoires et thèses :

BARRON, Michael, *The effects of early reflections on subjective acoustical quality in concert halls*, Thèse de doctorat, Université de Southampton, 1974.

CARSON, Madeline / GIESBRECHT, Hudson / PERRY, Tim, *Surround Sound Impulse Response : Measurement with the Exponential Sine Sweep; Application in Convolution Reverb*, Projet de fin d'études en Ingénierie électrique et informatique, Victoria (Texas, Etats-Unis), Université de Victoria, 2009.

GUILLOT, Pierre, *Les traitements musicaux en ambisonie*, Mémoire de Master II en Musique (spécialité Musicologie, création, musique et société), Vincennes, Université Paris VIII, 2013.

KHALE, Eckhard, *Validation d'un modèle objectif de la perception de la qualité acoustique d'un ensemble de salles de concerts et d'opéras*, Thèse de doctorat en Acoustique, Trondheim (Norvège), Université du Maine (Le Mans), 1995.

LEHMANN, Ulrich, *Untersuchungen zur Bestimmung des Raumeindrucks bei Musikdarbietungen und Grundlagen der Optimierung*, Thèse de doctorat en Acoustique, Université de Dresde, 1975.

PARIS, Eliott, *Des interfaces pour la mise en espace du son avec la bibliothèque HOA*, Mémoire de Master II en Musique (spécialité Musicologie, création, musique et société), Vincennes, Université Paris VIII, 2013.

THOMELIN, Jean-François, *Simulation d'acoustique appliquée au spectacle vivant*, Mémoire de projet personnel de fin d'études – Régie Son, Lyon, ENSATT, 2000.

WETTSCHUREK, Rüdiger, *Über die Abhängigkeit raumakustischer Wahrnehmungen von der Lautstärke*, Thèse de doctorat, Université de Berlin, 1976.

### Sites web :

ARQUEN - Surround Sound Acoustic Measurement, Room Impulse Response, Reverberation Measurement & Convolution Reverb [en ligne], disponible sur :  
<http://arqen.com/acoustics/surround-sound-impulse-response/> (consulté le 24 mai 2016).

Audiofanzine – Viva la Convolution ! [en ligne], disponible sur :  
<http://fr.audiofanzine.com/plugin-reverb/editorial/dossiers/viva-la-convolution.html>  
(consulté le 10 mai 2016).

GUIONNET, Jean-Luc, Le bruit de fond [en ligne], disponible sur :  
<http://www.jeanlucguionnet.eu/Le-bruit-de-fond> (consulté le 13 février 2016).

HOA Library – L’Ambisonie d’Ordre Supérieur [en ligne], disponible sur :  
<http://www.mshparisnord.fr/hoalibrary/ambisonie/ambisonie-ordre-superieur/> (consulté le 10 mai 2016).

IRCAM, Visite virtuelle - Les espaces [en ligne], disponible sur :  
<http://www.ircam.fr/1039.html> (consulté le 9 avril 2016).

Manice – Fondements des techniques de son en relief [en ligne], disponible sur :  
<http://www.manice.org/son-analogique-numerique-et-3d/fondements-des-technologies-de-diffusion-du-son-en-relief.html> (consulté le 10 mai 2016).

Meyer Sound, Constellation - fiche produit [en ligne], disponible sur :  
<http://www.meyersound.com/product/constellation/> (consulté le 9 avril 2016).

The Engineering Toolbox, NC - Noise Criterion [en ligne], disponible sur :  
[http://www.engineeringtoolbox.com/nc-noise-criterion-d\\_725.html](http://www.engineeringtoolbox.com/nc-noise-criterion-d_725.html) (consulté le 16 février 2016).

Wenger Corp., Transcend – fiche produit [en ligne], disponible sur :  
<https://www.wengercorp.com/transcend/> (consulté le 9 avril 2016).

Yamaha Pro Audio, AFC - fiche produit [en ligne], disponible sur :  
<http://www.yamahaproaudio.com/global/en/products/afc/> (consulté le 9 avril 2016).

### Spectacles :

*La philosophie dans le boudoir*, mis en scène par Ariane BERENDT, conception sonore de Clément HUBERT, 2015, ENSATT.



Au terme de ce mémoire qui marque la fin de trois années d'études à l'ENSATT, je tiens à remercier tout particulièrement :

Sébastien NOLY, pour sa sensibilité musicale communicative et sa bienveillance,  
Nicolas POITRENAUD, qui m'a transmis avec bonne humeur le goût de l'acoustique,  
François WEBER, pour ses bonnes astuces sur le logiciel Max,  
Béatrice BIENVILLE, Anne VIGOUROUX et Théo TISSEUIL, mes complices dans la soutenance à venir,  
Et Laurie BARDET, pour sa relecture attentive et son soutien de chaque jour.