

PRISE DE SON ET RESTITUTION MULTICANAL EN 5.1
PROBLEMATIQUE D'UNE ŒUVRE SPATIALISEE :

Répons
PIERRE BOULEZ

Jean-Marc LYZWA

SERVICE AUDIOVISUEL

CONSERVATOIRE NATIONAL SUPERIEUR DE MUSIQUE ET DE DANSE DE PARIS

Enregistrement réalisé les 15 et 16 mars 2003
Salle des concerts - Cité de la Musique - Paris

Avec l'aimable autorisation de

Pierre Boulez

de

La Cité de la Musique

et de

l'Ensemble Intercontemporain

Direction : Pierre Boulez

Andrew Gerzso : assistant musical

David Poissonnier, David Raguin, David Raphaël : technique Ircam pour la diffusion en salle

Prise de son et post-production en multicanal : Jean-Marc Lyzwa, Didier Panier

Direction artistique : Jean-Marc Lyzwa, Alexis Ling

Développement du système de traitement transaural pour le 5.1 : Alexis Baskind,
Jean-Marc Lyzwa, Xavier Meunier

EFFECTIF INSTRUMENTAL

ENSEMBLE INSTRUMENTAL :

Violons : Hae-Sun Kang , Jeanne-Marie Conquer, Ashot Sarkissjan
Altos : Christophe Desjardins, Odile Auboin
Violoncelles : Pierre Strauch, Eric-Maria Couturier
Contrebasse : Frédéric Stochl

Flûtes : Emmanuelle Ophèle, Sophie Cherrier
Hautbois : Didier Pateau, Lászl Hadady
Clarinettes : André Trouttet, Alain Damiens
Clarinette Basse : Alain Billard
Bassons : Pascal Gallois, Paul Riveaux

Cors : Jens McManama, Jean-Christophe Vervoitte
Trompettes : Antoine Curé, Jean-Jacques Gaudon
Trombones : Benny Sluchin, Jérôme Naulais
Tuba : Arnaud Boukhitine

INSTRUMENTS SOLISTES :

Piano 1 & Synthétiseur : Hidéki Nagano
Cymbalum : Michel Cerutti
Piano 2 : Michael Wendeberg
Xylophone & Glockenspiel : Samuel Favre
Harpe : Frédérique Cambreling
Vibraphone : Vincent Bauer

SYSTEME ELECTROACOUSTIQUE :

Transformation et spatialisation en temps réel des instruments solistes

L'ŒUVRE

Les préoccupations de disposition spatiale des musiciens dans l'oeuvre de Pierre Boulez remontent à *Poésie pour pouvoir* (orchestre et bande, 1958) et à *Figures-Doubles-Prismes* (orchestre, 1957-1968). Si le compositeur a avoué son insatisfaction quant à la relation entre instruments et bande dans la première expérience, le recours à l'informatique, et en particulier à la 4X mise au point par Giuseppe di Gugno à l'Ircam, permet à Pierre Boulez de reconsidérer la combinaison entre musique et électronique. Comme il l'avait réalisé instrumentalement peu avant *Répons*, dans *Messagesquisse* (violoncelle principal et 6 violoncelles, 1976), les trois fonctions de mémorisation, d'amplification et de transformation trouvent leur application dans ce qui sera la grande partition de Boulez dans les années quatre vingt.

La mise en espace voulue par Pierre Boulez est sans doute la particularité la plus saisissante de *Répons* (1881 – 1984).

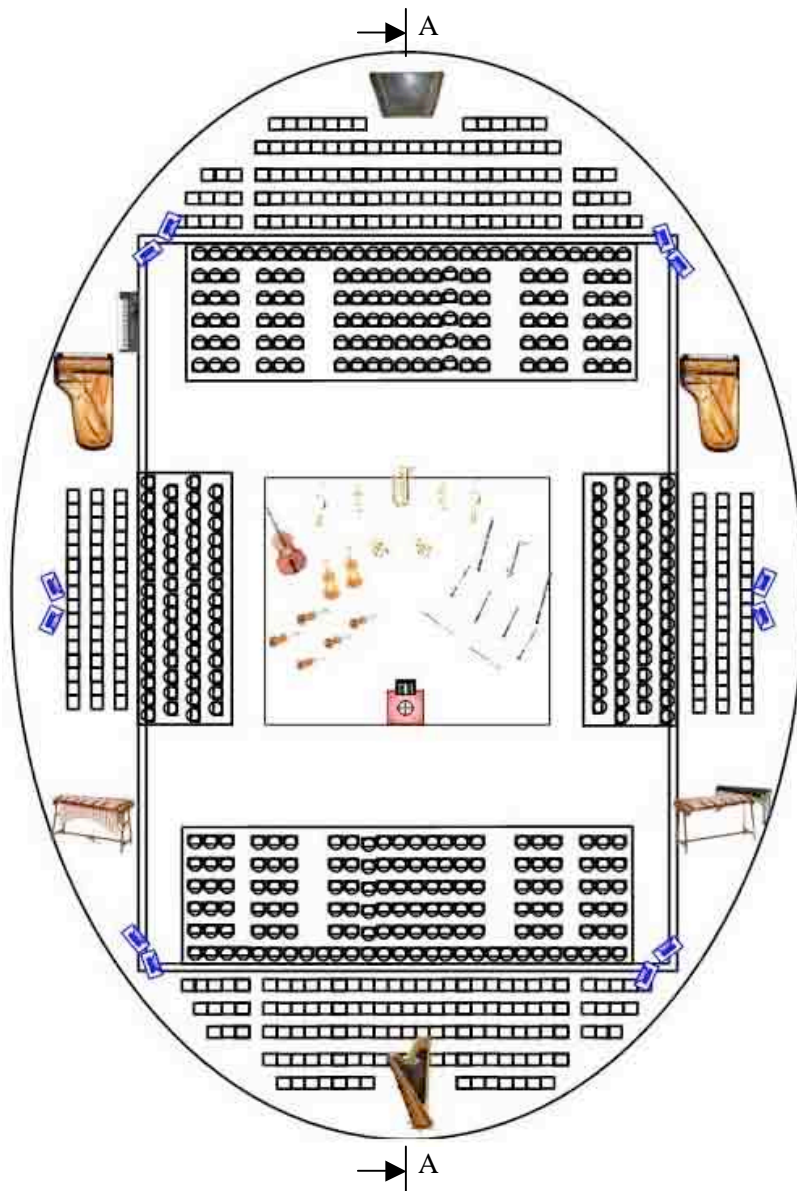
En effet l'ensemble instrumental, constitué de 24 musiciens, se situe au centre de la salle. Il est organisé en trois groupes (les cordes, les bois, les cuivres). Le public est réparti tout autour de cette scène centrale. Six solistes encadrent le public (le piano 1, le cymbalum, le piano 2, le xylophone, la harpe, le vibraphone).

Les instruments solistes sont captés individuellement et traités en temps réel par des outils informatiques afin de générer des délais, des retards, des transformations de fréquence, de la modulation en anneau et du filtrage en peigne. Ces traitements sont restitués dans la salle à partir de six points de diffusion (en bleu sur la figure 1), positionnés en hauteur entre chaque soliste. Ce système permet également de créer, à partir d'une matrice d'affectation, le déplacement, la spatialisation des instruments solistes sur plusieurs trajectoires en fonction des circulations préétablies par le compositeur.

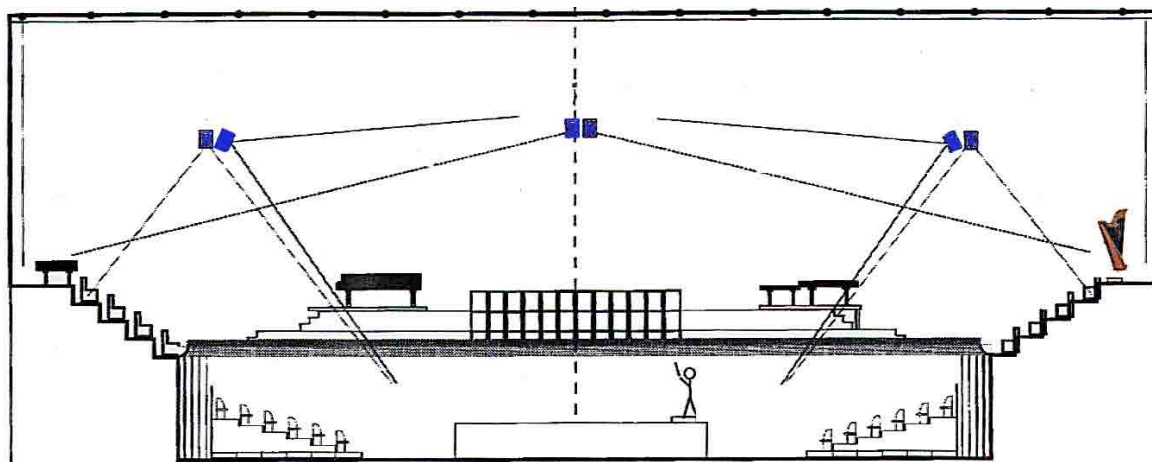
L'oeuvre est construite sur l'alternance entre un mode de jeu collectif, donné par l'ensemble instrumental, au centre de la salle, et un mode de jeu individuel, produit par les solistes. Des dialogues s'établissent entre l'ensemble instrumental, les solistes, l'électronique, et vont plonger l'auditeur au centre d'une scène sonore totalement ouverte, l'invitant à diriger son attention du centre de la salle vers sa périphérie.

C'est la spatialisation des événements musicaux.

Face à la disposition instrumentale quelque peu particulière de cette oeuvre, sans pour autant être un cas isolé dans l'histoire de la musique (voir page 28), la réalisation d'une captation multicanal pour le format de restitution 5.1 peut apporter à l'auditeur une vision nouvelle et une meilleure compréhension de la partition, en comparaison avec une restitution stéréophonique à deux canaux.



1 - Disposition de l'effectif instrumental dans la Salle des Concerts – Vue de dessus



2 - Disposition de l'effectif instrumental dans la Salle des Concerts – Vue de coupe AA

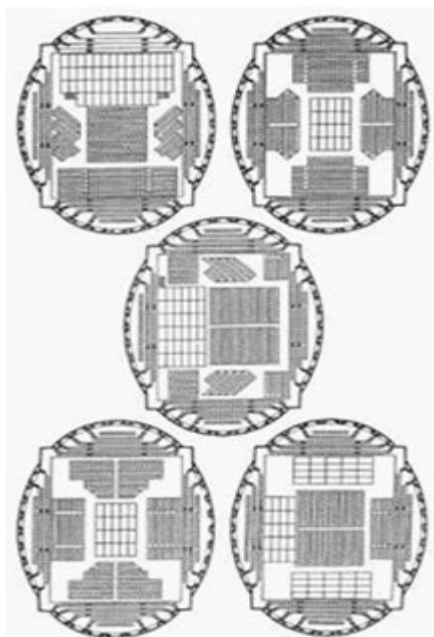
LE LIEU

La prise de son a été réalisée dans la Salle des Concerts de la Cité de la Musique de Paris.

La forme elliptique inhabituelle pour un lieu consacré à la musique, peut paraître étonnante. Son architecte, Christian de Portzamparc, a clairement exprimé son souhait de modifier les rapports entre les artistes et le public. Le regard se promène dans un espace elliptique et n'est plus polarisé sur une scène sonore frontale. On "voit" la musique d'une autre manière et on peut donc la percevoir différemment. Cette salle offre une configuration modulable.



3 - La Salle des Concerts – Cité de la musique



4 - Les différentes configurations de la Salle des Concerts

L'acoustique de la Salle des Concerts est relativement diffuse. Le temps de réverbération avoisine les 2 secondes. Un dispositif de lourds drapés motorisés au dessus du second balcon permet de modifier de manière significative l'absorption acoustique.

L'homogénéité de la source sonore quelle que soit sa position dans la salle est globalement satisfaisante et constitue un atout pour l'utilisation de configurations scéniques très diverses.

Comment le public perçoit-il la spatialisation de *Répons*, puisqu'il entoure l'ensemble instrumental et qu'il est lui-même entouré à la fois par les solistes et le dispositif électroacoustique ?

Chacun aura sa propre perception en fonction de la place qu'il occupe dans la salle. Il est clair que la personne placée devant la harpe aura une toute autre vision que la personne située devant le cymbalum. Chacun perçoit des rapports de timbres, de distances et de localisations fondamentalement différents.

Lors du processus compositionnel, le compositeur développe une image sonore spatiale intérieure qui correspond généralement à celle que perçoit le chef d'orchestre lorsqu'il dirige.

Il peut donc y avoir une grande différence d'analyse de l'œuvre, entre la pensée originelle du compositeur et ce que peut percevoir l'auditeur en fonction de l'emplacement qu'il occupe dans la salle.

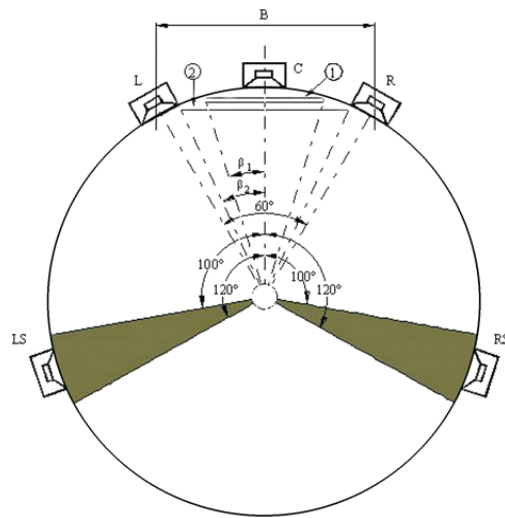
La place détermine la perspective d'écoute.

Fort de ces constatations, nous formulons l'hypothèse que l'auditeur placé à la place du chef d'orchestre aura une meilleure restitution spatiale de l'œuvre. C'est également un moyen d'offrir à l'auditeur une perception différente, plus proche et plus en harmonie avec la conception du compositeur. Cette position peut lui permettre tout simplement de mieux analyser et donc de mieux comprendre la structure et l'organisation musicale de l'œuvre.

La prise de son et la restitution d'une œuvre spatialisée telle que *Répons* pose de nombreux problèmes. Le principal est de mettre en œuvre des techniques capables de restituer et de fixer au mieux la mise en espace. Ceci dans le but d'apporter au plus grand nombre d'auditeurs un mixage leur permettant d'apprécier la mise en scène sonore tout en apportant une parfaite lisibilité au discours musical.

Le système 5.1, répondant aux recommandations ITU-R BS 775-1, bien qu'imparfait par bien des points, est aujourd'hui le système de référence largement commercialisé avec l'essor du Home Cinema depuis l'arrivée du DVD (Digital Versatile Disc) mais également du SACD (Super Audio Compact Disc).

Ce travail sur *Répons* est basé sur un système 5.1 calibré L/R $\pm 30^\circ$ - C 0° - Ls/Rs $\pm 110^\circ$.



5 - recommandations ITU-R BS 775-1

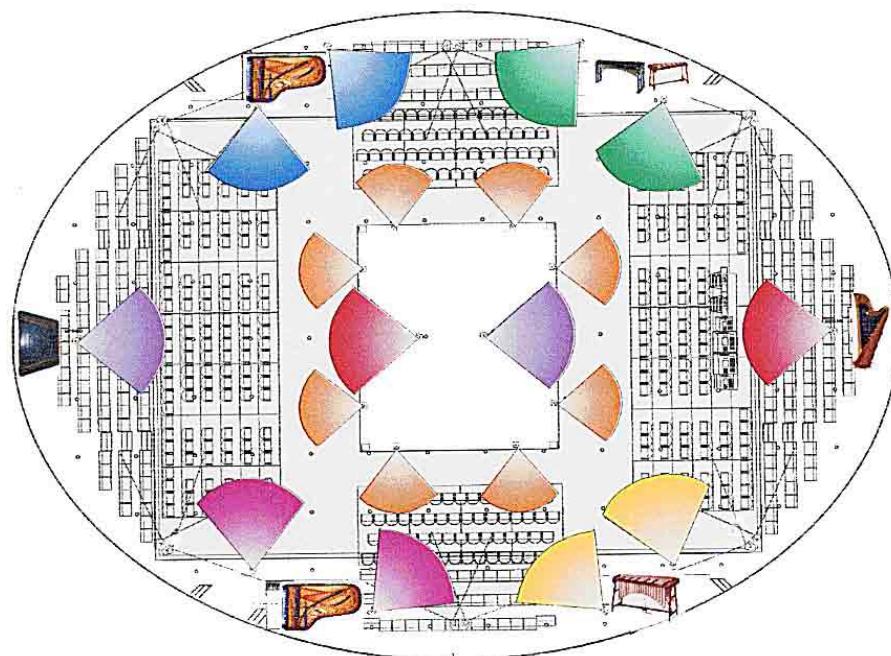
Ce projet constitue un travail de réflexion et d'expérimentation à partir de différentes techniques :

- le système principal (nommé "quintette microphonique"), son rôle dans le système de restitution multicanal
- les appoints et leur gestion en post-production multicanal
- la post-production, le travail sur les réverbérations en multicanal
- l'étude d'un traitement transaural adapté au format 5.1, afin de renforcer la stabilité dans l'espace de restitution 5.1
- le développement d'outils spécifiques de mixage en 5.1 sous la forme d'un plugin pour Protools à partir du Spat développé par l'IRCAM, afin de :
 - de travailler la robustesse en matière de localisation.
 - créer des sources intérieures (de proximités) localisées devant la couronne de haut-parleurs du système 5.1,
 - de fixer des sources sonores en élévation pour la section électroacoustique ainsi que pour les solistes (3 niveaux : orchestre, solistes, électroacoustique),

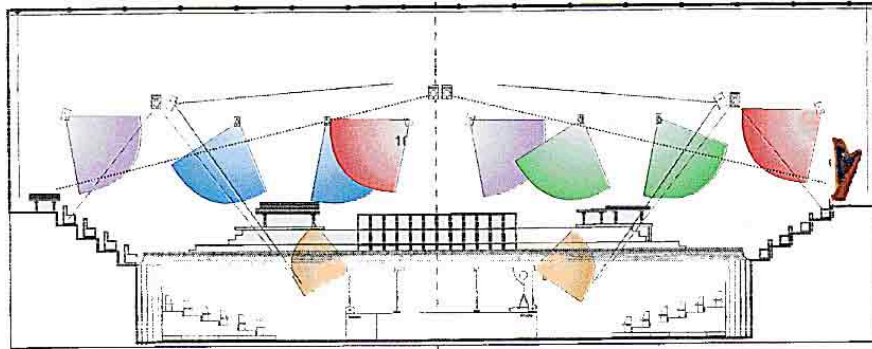
Une difficulté que nous avons évoquée précédemment réside dans le fait que l'espacement des sources sonores est très important. Les différents groupes de musiciens sont totalement éclatés dans l'espace. L'instrument le plus proche du chef est à 2,22 mètres alors que le plus éloigné est à 21.42 mètres. Afin de soutenir et d'équilibrer ces différentes sources dans la salle, un dispositif conséquent de sonorisation est mis en oeuvre (voir figures 6 et 7) :

- Pour l'ensemble instrumental : sur le pourtour de la scène centrale, huit haut-parleurs sont orientés par paires en direction du public (en orange sur les figures 6 et 7).
- Pour les solistes : chacun d'eux dispose de 2 haut-parleurs en élévation, de part et d'autre pour les pianos et les percussions et frontalement avec un relais en milieu de salle pour le cymbalum et la harpe.
- Pour les transformations et les circulations : elles sont diffusées en six points doublés entre les solistes, dans un plan en élévation.

La sonorisation de ces différents éléments n'est pas sans poser de problèmes pour la prise de son. Elle va multiplier le nombre de sources dans l'espace et de ce fait perturber l'image sonore captée.



6 - Sonorisation des différents groupes dans la Salle des Concerts – Vue de dessus



7 - Sonorisation des différents groupes dans la Salle des Concerts – Vue de coupe

Le parti adopté dans ce travail est de restituer l'écoute du chef d'orchestre tout en immergeant l'auditeur dans un espace acoustique réaliste. L'objectif est d'obtenir à la restitution un orchestre frontal réparti sur approximativement 130°, des solistes disposés en périphérie ainsi que des traitements électroniques localisés en élévation et entre les solistes.

1 – Le “quintette microphonique”

En prise de son stéréophonique à deux canaux, “l’empreinte” donnée par le couple microphonique est déterminante dans la lisibilité de l’espace restitué par les haut-parleurs, mais la précision de la localisation des différentes sources sonores très éloignées les unes des autres est donnée par un ensemble de techniques complémentaires (couple + appoints). C’est ce que nous nommerons la combinaison de systèmes.

Notre démarche consiste à fixer l’espace en réalisant un système principal à cinq canaux conjugué à un ensemble d’appoints et à un traitement du signal.

Comme nous l’avons mis en évidence au cours d’un “workshop” présenté à la 108^{ème} convention de l’AES de Paris en 2000, peu de systèmes fonctionnent efficacement pour une scène sonore déployée sur 360°. Ces systèmes sont principalement mis au point pour la captation de scènes sonores frontales. Ils retraduisent à l’arrière l’acoustique, l’ambiance de la salle et très peu de travaux font l’objet d’une étude sur un système à cinq points associé à une distribution d’appoints microphoniques.

Suite aux nombreuses expérimentations sur plusieurs systèmes de captation pour des scènes sonores spatialisées dans l’acoustique de la Salle des concerts de la Cité de la Musique, la base d’un Decca Tree (ou arbre Decca), constitué de trois microphones omnidirectionnels DPA 4006, semble être un choix cohérent pour *Répons*.

Le Decca Tree développé au cours des années 1950 par les ingénieurs du son de Decca Records, est basé sur ce que l’on nomme le “Grand AB” ou le Largely Spaced Microphones Systems (système à capsules largement espacées).

Deux capsules omnidirectionnelles suffisamment espacées permettent d’obtenir entre les deux canaux avant gauche et avant droit des variations d’intensité et des écarts de temps importants.

Pour une distance inter-capsulaire d’un mètre, la zone utile de prise de son devient très étroite. Les sources situées en dehors de cette zone sont tassées sur les deux haut-parleurs.

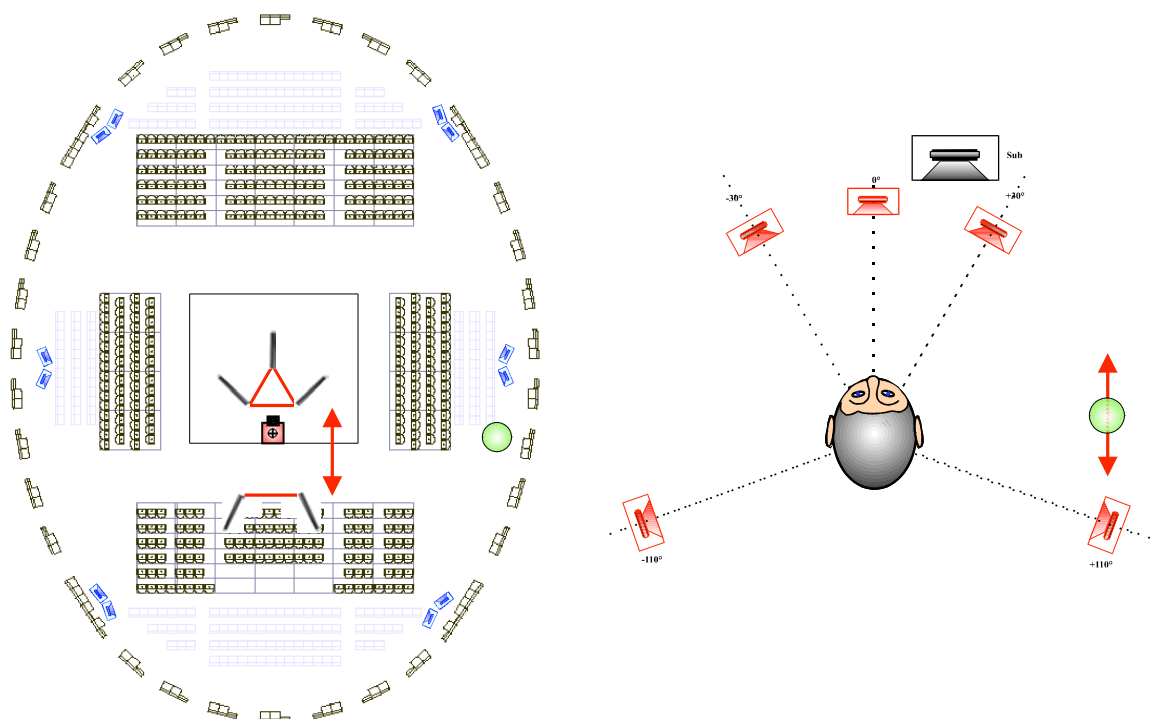
Le microphone central du Decca Tree est directement affecté à l’enceinte centrale. Il favorisera la stabilité de l’image sonore, imprécise au centre étant donné l’espacement important existant entre le Grand AB. Le Decca Tree peut être considéré comme un système constitué de trois couples (L/C – C/R – L/R).

Le fait que ce microphone central soit au sommet d’un triangle équilatéral et donc placé en avant des deux autres, augmente l’effet de précedence, ce qui le rend plus efficace, mais complique aussi les relations de temps.

Les deux microphones arrière sont également des microphones omnidirectionnels DPA 4006. Leur distance inter-capsulaire est définie en fonction du rendu souhaité entre les haut-parleurs arrière gauche et arrière droit (ici 0,90 mètre pour un angle d'ouverture de 30°).

La distance entre le Decca Tree et ce couple est établie en fonction de la stabilité de l'image latérale. Un calibrage précis est effectué pour déterminer cette distance. On positionne une source sonore (un métronome) par exemple à 90° et on fait varier la distance (entre decca tree et couple arrière) afin d'obtenir l'image sonore à 90° dans le système de restitution 5.1.

Nous nommerons cet ensemble composé du Decca Tree et du couple arrière : le quintette.



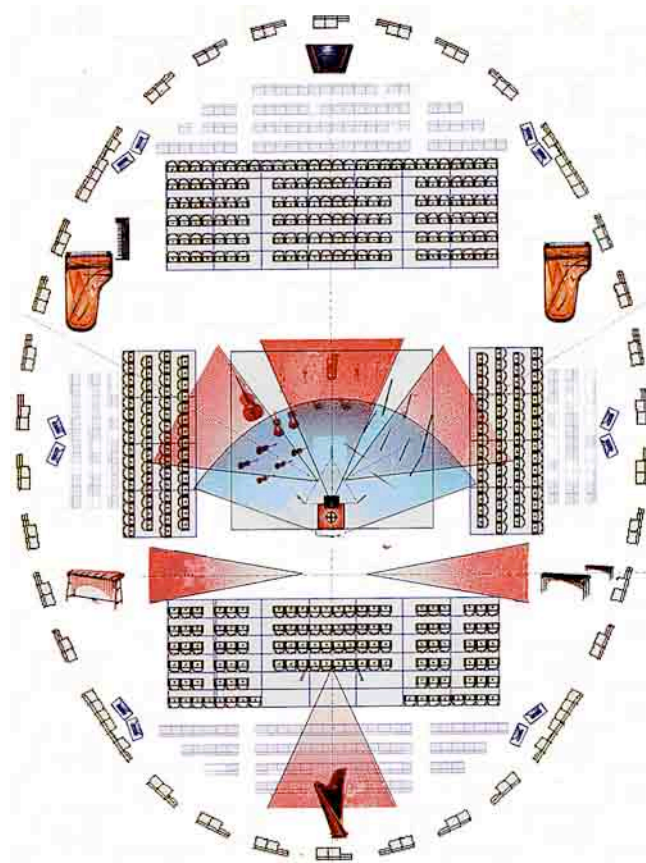
8 – calibrage du quintette

Ce système est intéressant pour l'enveloppement et le naturel qu'il apporte à l'enregistrement. Il traduit une caractéristique connue des microphones omnidirectionnels distants, telle que l'impression d'espace due à la décorrélation des signaux et c'est précisément ce que nous recherchons pour ce projet. Ce système convient particulièrement aux sources éloignées et espacées en profondeur, il produit un rendu spatial très réaliste.

Chacun des microphones du quintette est affecté à la restitution à un haut-parleur (L-C-R-Ls-Rs).

Un système à 5 microphones peut être comparé à 10 couples de microphones fournissant chacun une image des sources (L/C – C/R – L/R – L/Ls – R/Rs – Ls/Rs et également L/Rs – R/Ls – C/Rs – C/Ls). Il y a donc une création d'images fantômes multiples à partir de ce système.

Si les différences de niveau ou de temps entre ces images fantômes multiples ne sont pas suffisamment importantes, on s'expose à la restitution à une imprécision de localisation, de définition ainsi qu'à un détimbrage lié au mélange de ces différentes sources virtuelles.



9 – Les angles de prise de son du quintette (en rouge) et du couple AB (en bleu)

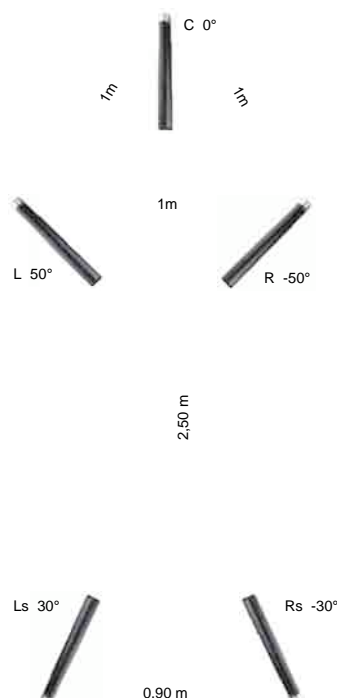
A l'arrière, les 2 microphones, sont espacés de 90 cm. L'angle de prise de son est donc faible. La principale difficulté est de stabiliser les sources sonores. L'ouverture des haut-parleurs arrière est de 140° et la position adoptée lors de l'écoute est déterminante pour la localisation des sources dans ce secteur. La source a tendance à coller très rapidement vers l'enceinte la plus proche si l'on s'écarte du sweet spot (centre du système de restitution).

On constate des imprécisions quant à la localisation de sources comprises entre 30° et 110°. Cela s'explique par la distance importante entre les microphones avant et arrière, qui crée un angle de prise de son très faible et donc un basculement rapide de la localisation de l'avant vers l'arrière (ou de l'arrière vers l'avant). Cela s'explique également par rapport à notre propre système d'audition, qui ne perçoit pas de manière précise l'origine d'une source émise latéralement à partir de deux points de diffusion autant espacés.

La position à l'intérieur du système de restitution est déterminante.

La localisation sur les bases latérales est fortement dépendante de leur contenu spectral. Des instabilités en localisation peuvent être perçues en fonction de la nature des sources sonores présentes dans cette zone.

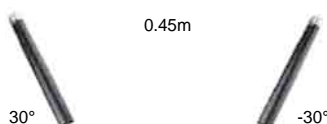
On constate aisément qu'aucun quintette ne permet de fixer de manière précise une source latérale (entre +/-30° et +/-110°). La sensation de source latérale est fréquemment perçue au travers d'un système multicanal comme une sensation d'extra largeur.



10 - Le quintette composé de 5 DPA 4006

2 – Le couple AB

Un couple AB composé de microphones omnidirectionnels DPA 4006 est positionné en retrait du système Decca Tree. Son rôle est de donner à l'ensemble instrumental une image globale cohérente. Il sera utilisé pour le traitement transaural, afin d'élargir et de stabiliser l'image de l'ensemble orchestral. Leur espacement est de 0,45 mètre et leur angle d'ouverture de 30°, l'angle de prise de son obtenu est de 140°.



11 - Le couple AB composé de 2 DPA 4006

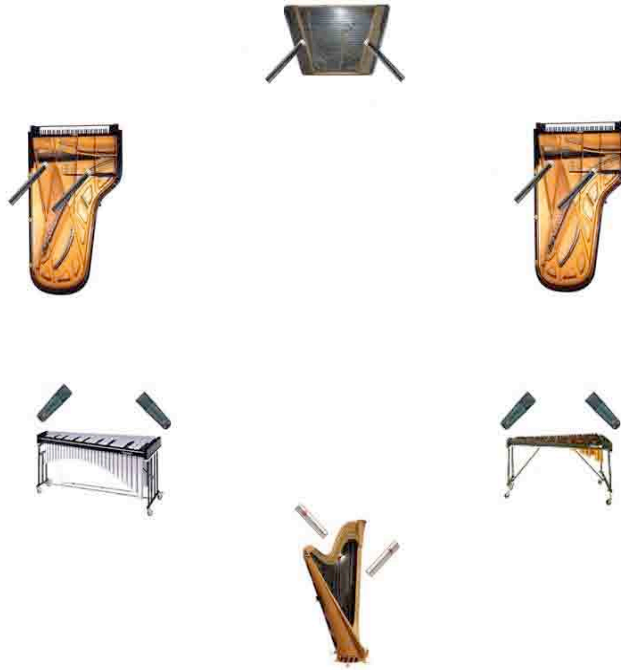
3 – Les appoints

Avec une distance de plus de 20 mètres entre le quintette et le soliste le plus éloigné, la localisation de ce dernier, restituée par le quintette est extrêmement imprécise. Les distances très importantes rendent l'utilisation de microphones d'appoints indispensable pour la réalisation d'un tel projet. Ils nous serviront également pour le traitement transaural en post-production.

L'image sonore désirée est obtenue en conjuguant les microphones d'appoints au quintette. Le quintette structure et forme en quelque sorte, l'empreinte sonore spatiale et permet de créer un enveloppement, une immersion cohérente, à l'intérieur du système de restitution.

Les microphones d'appoints, choisis et positionnés en fonction de la nature et de la directivité de l'instrument ou du groupe d'instruments, permettent d'en souligner et d'en préciser le contour en améliorant la définition et la localisation à l'intérieur de l'espace de restitution. Le positionnement de ces appoints est géré à partir d'un panoramique multicanal sur 360°. Comme pour le mixage stéréophonique à deux canaux, l'image complémentaire générée par les microphones d'appoints doit se calquer sur l'image restituée par le quintette afin d'éviter les doubles images sonores (*problème par rapport à la position d'écoute*).

Néanmoins des précautions sont à prendre afin de ne pas altérer la précision en localisation, le timbre et la profondeur de champ. Le dosage de l'appoint résulte d'une appréciation, d'une sensation et reste donc très subjectif.



12 - Appoints sur instruments solistes



13 - Appoints sur ensemble instrumental

Les sons captés par les microphones d'appoints sont perçus en avance par rapport aux sons captés par le quintette. La prise de son d'une source sonore par une multitude de microphones modifie la courbe de réponse du signal d'origine, ce qui contribue à colorer le signal.

Afin de réduire cette coloration, on adapte un retard sur les microphones les plus proches de la source et ce proportionnellement à leur distance par rapport au système de référence.

L'utilisation d'un délai supérieur à celui en relation avec la distance entre l'appoint et le système de référence permet de renvoyer les signaux des appoints dans la zone temporelle des premières réflexions. Ce délai légèrement exagéré limite la détérioration de l'image sonore produite par le quintette. Cette approche est plus efficace si on parvient à simuler plus d'une réflexion pour une source donnée.

C'est ce que nous réalisons en conjuguant au quintette :

- l'appoint retardé et positionné à l'intérieur du système de restitution à l'aide d'un panoramique sur 360° ,
- une réinjection de cet appoint retardé et traité en transaural.

A la suite de tests comparatifs, les appoints ont été calés sur le couple AB omnidirectionnel (et non sur le quintette)

On obtient un meilleur enveloppement ainsi que des plans d'orchestre plus proches. L'image sonore semble mieux définie à l'intérieur du système de diffusion.

L'utilisation de réverbérations artificielles en multicanal sur les appoints permet un travail réaliste sur la notion d'espace et sur les profondeurs de champ sonore.

Réverbérations utilisées :

- Sony - DRE-S777
- T.C. electronic - System 6000
- Lexicon - REV 300

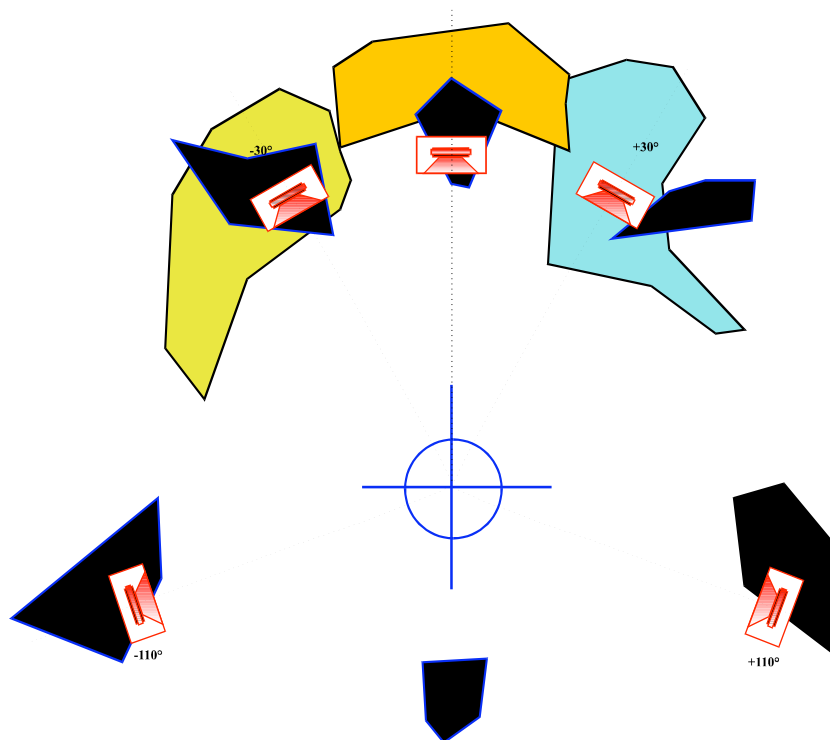
POST-PRODUCTION

Un travail préliminaire de mixage (incluant : quintette + appoints + délais + réverbérations) a servi de base pour le traitement transaural. Il a fait l'objet d'une étude perceptive. Des auditeurs ont été amenés à désigner l'emplacement des différents groupes instrumentaux (cordes, cuivres, bois) et des différents solistes, de manière à vérifier la stabilité des images sonores obtenues à partir de ce prémixage.

Les résultats mettent en évidence une bonne localisation pour une écoute centrée à l'intérieur du système de restitution 5.1, c'est-à-dire autour de la zone du sweet spot.

Seule la harpe pose un réel problème. Située à 180°, elle ne dispose pas de haut-parleur dédié (faiblesse du système 5.1) à sa proximité. Suivant la position d'écoute adoptée, elle est perçue sur le haut-parleur arrière le plus proche de la position d'écoute.

La profondeur apparente en multicanal est plus marquée qu'en stéréophonie à deux canaux, elle fait apparaître des champs proches légèrement en avant des haut-parleurs et des champs lointains très en retrait des haut-parleurs.



14 - Perception de la restitution des différents groupes (Jaune : cordes – Orange : cuivres – bleu : bois – noir : solistes)

Pour être cohérent avec le projet initial, il est souhaitable de rapprocher l'ensemble instrumental de l'auditeur, c'est à dire le placer devant les haut-parleurs.

Pour cela nous allons utiliser un système de traitement transaural que nous adapterons au format 5.1.

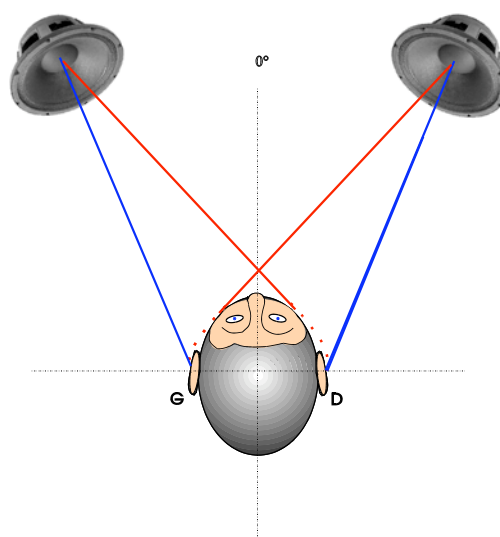
Le service audiovisuel du CNSMDP travaille depuis 1995 sur les questions relatives à la prise de son et à la restitution spatiale en multicanal.

En 2000, une première collaboration technique a été menée avec l'IRCAM dans le cadre d'une production multicanal d'un ensemble vocal réparti en cercle autour de l'auditeur (le Motet à 40 voix "Spem in alium" de Thomas Tallis). Ce travail effectué avec Véronique Larcher avait permis de tester plusieurs voies de traitement du signal utilisant notamment les techniques transaurales.

Le traitement transaural est le résultat d'une synthèse binaurale adaptée pour être diffusée par haut-parleurs.

La synthèse binaurale consiste à simuler la position spatiale d'une source sonore par rapport à l'auditeur en reproduisant les signaux acoustiques à ses deux tympans tels qu'ils existent dans une situation d'écoute réelle. Cette synthèse découle d'une convolution de chaque signal acoustique monophonique avec les fonctions de transfert relatives de l'oreille (HRTF), correspondant à l'incidence de la source.

Les haut-parleurs émettent des signaux acoustiques captés par les deux tympans de l'auditeur. Il en résulte une diaphonie, nommée trajets croisés ou signaux erreurs.



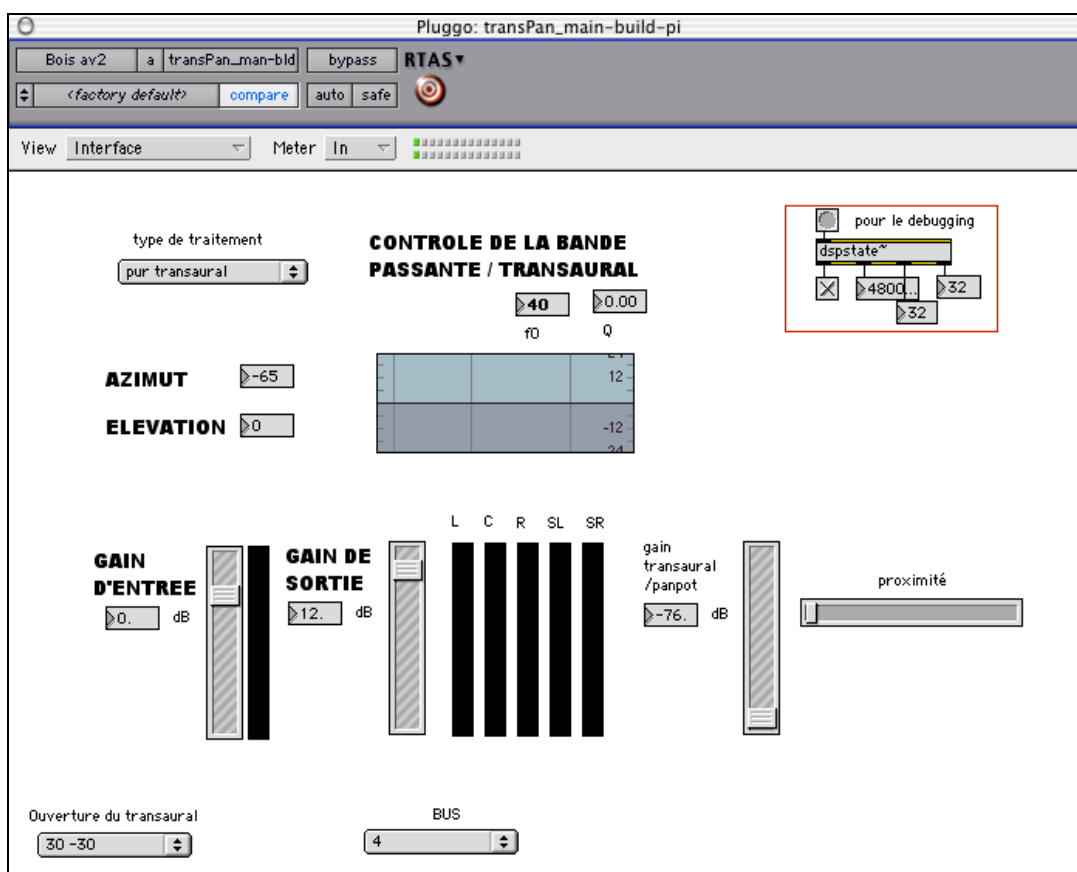
15 – En bleu : signaux directs, en rouge : trajets croisés

Les signaux binauraux gauche et droit sont respectivement destinés aux oreilles gauche et droite. Le principe des techniques transaurales est d'éliminer cette diaphonie et de rendre possible l'écoute des signaux binauraux à partir des haut-parleurs. Ce traitement permet de stimuler de manière indépendante les

oreilles de l'auditeur et, associé à des techniques plus conventionnelles de mixage, de créer une immersion acoustique environnementale plus réaliste.

Les objectifs de ce travail sur *Répons*, réalisés en collaboration avec Alexis Baskind de l'IRCAM ont été les suivants :

- Mener une série d'expérimentations de traitements sur la spatialisation autour de *Répons* incluant, les techniques transaurales au travers du SPATIALISATEUR développé par l'IRCAM.
- Développer un module de traitement transaural facilement et rapidement utilisable en production 5.1 par l'ingénieur du son, sous la forme d'un plug-in dédié pour Protools.



16 – Interface du plug-in de traitement

Les techniques de prise de son et de post-production utilisées, résultent d'une combinaison de systèmes :

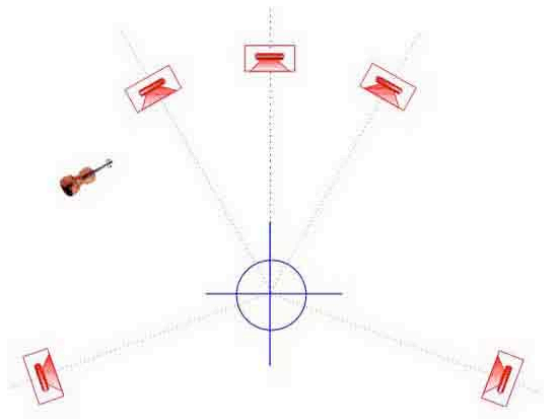
- C'est tout d'abord la configuration d'un quintette microphonique.
Il est basé sur un Decca Tree adapté à la spatialisation des différentes sources dans Répons.
Ce système restitue l'empreinte acoustique de la salle et de la scène sonore.
Le quintette va structurer l'espace.
- C'est également un travail de gestion des microphones d'appoints. Ils sont mixés au panoramique d'intensité.
Ils précisent, définissent les différentes sources sonores. Ces appoints renforcent la localisation des sources soulignées.
- C'est enfin, la réalisation d'un traitement transaural adapté au système multicanal.

Nous sommes partis pour cela d'une série d'expériences que j'avais menées précédemment au Conservatoire et qui consistait à générer un traitement transaural primaire à partir d'une console numérique.

Ce sont les signaux des appoints à spatialiser qui sont traités.

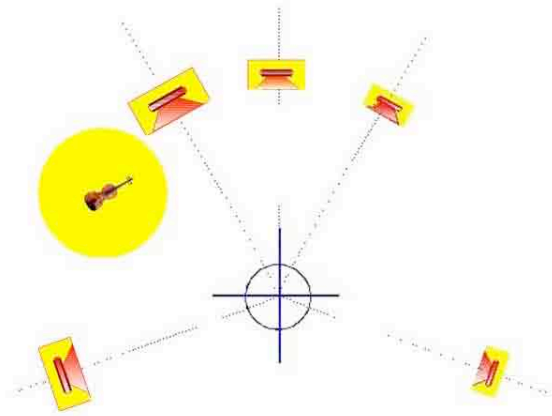
Le traitement transaural va fixer, figer la construction de l'image sonore à l'intérieur de l'espace de restitution 5.1.

Prenons par exemple le violon 1 :



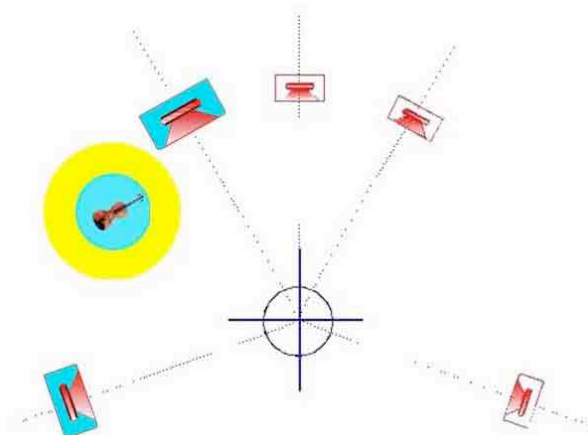
17 – Position souhaitée du violon 1 dans l'espace de restitution 5.1

- L'image du violon, captée par le quintette est restituée par l'ensemble des 5 haut-parleurs.
Le violon 1 se retrouve localisé dans le système de diffusion, grossièrement à la place qu'il occupe par rapport au système de captation.
Mais à partir de ce système, l'image du violon est instable.



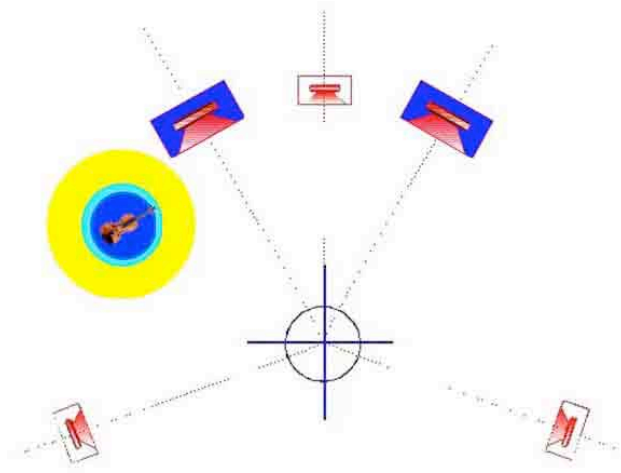
18 – Image du violon 1 restituée par le quintette

- L'appoint du violon 1 est mixé au panoramique sur la base Arrière Gauche - Avant Gauche. Dans le système de restitution cette image est calée sur l'image restituée par le quintette. Cet appoint va préciser la position du violon. Cette construction reste fragile suivant la position d'écoute adoptée.



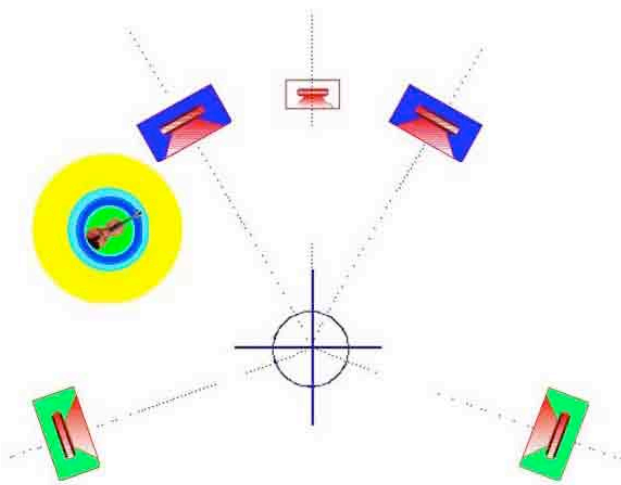
19 – Superposition de l'appoint violon 1 sur l'image du quintette

- Pour limiter l'instabilité spatiale que peut engendrer le traitement transaural, notamment lors des mouvements de la tête, nous avons imaginé un double traitement. Un premier traitement est appliqué sur la base Avant :



20 – Superposition du traitement transaural avant

et un second sur la base Arrière :



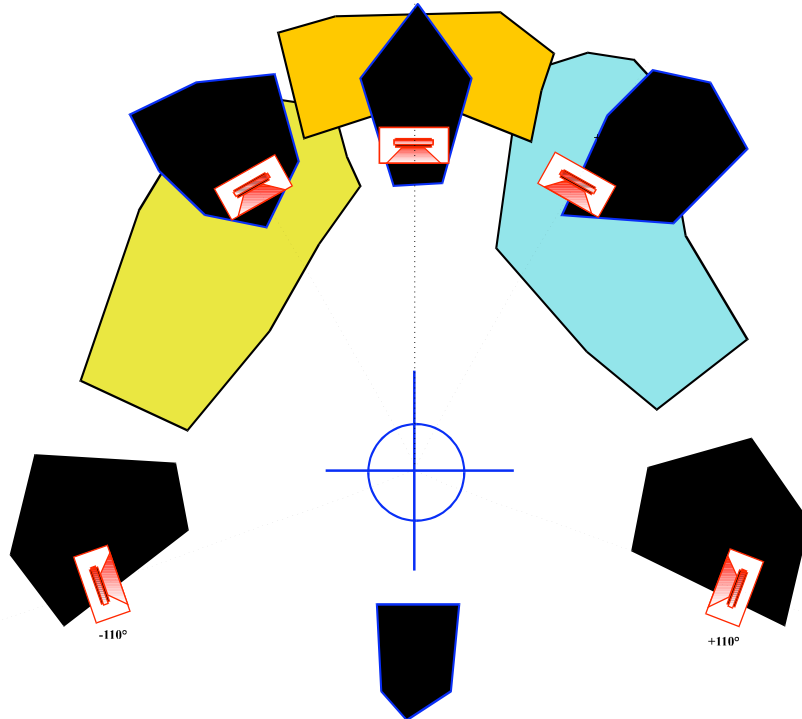
21 – Superposition du traitement transaural arrière

Cette résultante stabilise l'image du violon 1.

Ces différentes couches une fois mixées, permettent la construction d'une image sonore globale, plus stable.

La zone d'écoute se retrouve élargie.

Une seconde étude perceptive à été menée. Elle met nettement en évidence l'apport du double traitement transaural. Les zones de perception des différents groupes instrumentaux sont plus larges et sont stabilisés devant les haut-parleurs.



22 - Perception de la restitution des différents groupes - après traitement transaural

CONCLUSION

Les techniques de prise de son issues de la stéréophonie et adaptées au format de diffusion 5.1, induisent des instabilités de localisations latérales et arrière. Les microphones d'appoints améliorent la définition et contribuent à la stabilisation de la position spatiale des instruments soulignés à l'intérieur du système de restitution 5.1. La double synthèse transaurale, quant à elle, procure un très bon rendu de l'environnement sonore en trois dimensions et va permettre de consolider l'espace sonore restitué.

La combinaison de ces différentes techniques lors du mixage nous permet de constater une très nette amélioration concernant la robustesse de la localisation latérale. La notion d'enveloppement et d'immersion à l'intérieur de l'espace de restitution se trouve considérablement renforcée.

Le double traitement transaural contribue indéniablement à la création de sources intérieures de proximité, localisées devant la couronne de haut-parleurs du système 5.1. Il permet également d'accroître la profondeur apparente des différents plans sonores et de fixer certaines sources en élévation.

Au final nous constatons une réduction de l'effet ponctuel des haut-parleurs dans l'espace de restitution. La restitution de la scène sonore devient plus naturelle et par conséquent plus cohérente.

Cette approche expérimentale prend en compte notre perception globale de l'environnement, particulièrement en l'absence de la vision dans une retransduction électroacoustique. L'auditeur peut librement diriger son écoute analytique en orientant sa tête vers le groupe instrumental ou le soliste qu'il souhaite suivre de manière plus précise, sans perdre l'espace environnemental de la scène sonore.

Ce travail va nous permettre de poursuivre notre réflexion sur la combinatoire de systèmes, en l'adaptant à de nouveaux projets d'enregistrements spatialisés.

Il est notamment important de travailler sur la mise au point d'un quintette mieux adapté à notre approche et plus simple à mettre en œuvre. Il nous reste également à améliorer et à poursuivre le développement du plug-in afin de le rendre facilement et rapidement exploitable en post-production multicanal.

Cet enregistrement de *Répons* n'est pas commercialisé mais peut néanmoins être consulté en 5.1 au Conservatoire national supérieur de musique et de danse de Paris.

Contact : jmlyzwa@cnsmdp.fr

QUELQUES AUTRES OEUVRES SPATIALISEES

Thomas Tallis :	Motet à quarante voix - Spem in alium - 1570
Giovanni Gabrieli :	Cantiones Sacrae - 1578 Cori spezzati des symphoniae sacrae - 1597-1615
Joseph Haydn :	Echo - pour deux trios à cordes - 1767
W. A. Mozart :	Serenata Notturna n°6 en ré majeur - K. 239 - 1776 Notturmo - Sérénade n°8 en ré majeur - K. 286 - 1777
L. V. Beethoven :	Ouverture de Léonore n°3 - 1806
Hector Berlioz :	Symphonie funèbre et triomphale - 1840 L'impériale - cantate pour deux chœurs et orchestre - 1856 Requiem - 1837
Richard Wagner :	Lohengrin - Prélude - 1845
Gustav Mahler :	Symphonie n°2 - 1888-1894
Béla Bartok :	Musique pour instruments à cordes, percussion et célesta - 1936
Edgar Varèse :	Poème électronique - 1958 Espace (oeuvre projetée mais non réalisée)
Charles Ives :	La question sans réponse - pour cordes, flûtes et trompettes - 1910 Trio - 1904
Darius Milhaud :	L'homme et son désir - 1917
K. Stockhausen :	Gruppen pour 3 orchestres - 1958 Carré pour 4 orchestres et chœur - 1960 <i>Mixtur pour 5 groupes orchestraux</i> - 1964 Trans - 1971
György Ligeti :	Atmosphères - 1961
Klaus Huber :	Schattenblätter - 1975
Luciano Berio :	Coro - 1975-1976 Ophanim, soprano, ensemble, chœur d'enfant et électronique
Eliot Carter :	Symphony of Three Orchestras - 1976-1977

Iannis Xénakis :	Terrétektorh, pour 88 musiciens répartis dans le public - 1966 Polytope pour 4 orchestres - 1967 <i>Nomos γ, pour 98 musiciens répartis dans le public</i> - 1969 Persephassa - 1969
Luigi Nono :	Prometeo - 1984 Archipel - Hay que caminar, sonando – 1989 No hay caminos, hay che caminar, 1987 Con Luigi Dallapiccola, 1979 Das atmende Klarsein, 1980-81 A Carlo Scarpa, architetto 1984 A Pierre, Dell’Azzuro silencio, inquietum, 1985
Emmanuel Nunes :	Tifereth - 1978-1985 Quodlibet - 1990-1991 Lichtung II - 1996 Stretti - 1982-1983 Es Webt - 1974-1977
Pierre Boulez :	Poésie pour pouvoir – 1958 Figures-Doubles-Prismes - 1957-1968 Dialogue de l’ombre double – 1985 Anthème 2, 1998
John Cage :	Five - 1988
Gérard Grisey :	Le noir de l’étoile - 1989-1990
Frédéric Durieux :	Parcours pluriel, 1987, pour ensemble de 17 instrumentistes et électronique (quadriphonie) Devenir, 1993, pour clarinette en sib et électronique (hexaphonie) So schnell, zu früh, 1993, pour soprano, ensemble et électronique (hexaphonie). Faust, quatuor à cordes avec électronique 2004-2006
Philippe Manoury :	Aleph, 1985 pour 4 chanteurs et orchestre divisé en 4 groupes En Echo, 1994, pour soprano et électronique Fragment pour un portrait, 1998 pour ensemble de 30 musiciens Jupiter, 1987, pour flûte et électronique Neptune, 1990 pour trois percussions et électronique Pluton, 1987, pour piano et électronique La Partition du ciel et de l’enfer, 1989, pour flûte, 2 pianos, ensemble et électronique Passacaille pour Tokyo, 1994, pour piano et ensemble
György Kurtag :	Op. 27 n°2 (double concerto) – 1990 What is the word? - 1991
Thomas Adès :	Catch – 1991
Luis Naòn :	Diabolus urbanus, 2001, pour alto et électronique
Martin Matalon :	Le Scorpion – 2002

Bruno Mantovani : Le sette chiese – 2002

Rebecca Sanders : Chroma, collage II – 2002
Zeitlauf, pour chœur, ensemble, bande magnétique et électronique
(1982)

Peter Eötvös : Atlantis - 1995
Shadows – 1996

Marc André Dalbavie : Antinomie – 1999
The Dream of the Unified Space – 1999
Concertate il suono - 2000

...