PANORAMIX : STATION DE MIXAGE ET POST-PRODUCTION 3D

Thibaut Carpentier, Clément Cornuau
UMR 9912 STMS IRCAM – CNRS – UPMC
1, place Igor Stravinsky, 75004 Paris
thibaut.carpentier@ircam.fr, clement.cornuau@ircam.fr

RÉSUMÉ

Cet article présente *panoramix*, une station de travail pour la post-production de contenus audio 3D. L'outil propose un environnement cohérent permettant de mixer, réverbérer et spatialiser des matériaux sonores provenant de divers dispositifs microphoniques : arbre principal, appoints, captation Ambisonic aux ordres supérieurs. Plusieurs techniques de spatialisation 3D (VBAP, HOA, binaural) peuvent être combinées, et les mixages peuvent être rendus simultanément dans différents formats. Le logiciel présente également les caractéristiques des mixeurs traditionnels (modules d'égalisation et compression dynamique, gestion groupée de paramètres, routage des signaux d'entrée/sortie, etc.), et il est entièrement contrôlable via le protocole Open Sound Control.

1. INTRODUCTION

Le mixage est l'art de combiner différentes sources sonores en vue de produire un enregistrement qui pourra être diffusé et archivé, un « master ». Il constitue donc une étape cruciale dans la chaîne de production audiovisuelle. L'usage croissant des technologies de spatialisation dans les créations et l'émergence de nouvelles plateformes de diffusion (cinéma 3D, radiodiffusion binaurale, etc.) nous conduit à repenser les outils utilisés lors des phases de mixage et post-production, qu'il s'agisse de réaliser au final un master pour des formats 3D ou conventionnels (stéréophonie ou 5.1).

À cet égard, la post-production d'un concert de musique électroacoustique représente un cas d'étude intéressant car elle exige la mise en œuvre de techniques variées, et soulève de multiples problématiques. Les matériaux à disposition du mixeur y sont généralement nombreux et de provenances hétérogènes : prise de son principale, microphones d'appoint, captations d'ambiance, pistes d'électronique (déjà spatialisées ou non), échantillons, réponses impulsionnelles de la salle de concert, etc. À partir de ces éléments, l'ingénieur du son en charge du mixage doit restituer, sinon re-créer, l'espace sonore de l'œuvre. L'enjeu est de rendre fidèlement la mise en scène originelle et de respecter l'acoustique du lieu de création, tout en offrant à l'auditeur une bonne lisibilité du discours musical. Le parti pris généralement adopté consiste à produire un « mix » selon le point de vue du chef d'orchestre, car cette position permet d'appréhender la structure et l'organisation musicale de la pièce selon un angle analytique et conforme à la pensée du compositeur [11].

Bien entendu, la prise de son réalisée lors du concert est primordiale, et influence considérablement le travail de post-production. Les stratégies de captation microphonique sont variées, et leurs mérites et inconvénients respectifs sont largement connus et maîtrisés (voir par exemple [8, 16, 1, 9]). Lyzwa, notamment dans son travail sur le mixage du *Répons* de Pierre Boulez, souligne l'importance de combiner plusieurs systèmes d'enregistrement afin de tirer profit de leur complémentarité [10] : un arbre principal (rampe, quintuplet, etc.) permet de fixer de façon réaliste l'impression d'espace et d'enveloppement grâce la décorrélation des signaux microphoniques qui le composent ; il convient particulièrement aux sources éloignées et espacées en profondeur. Toutefois la précision de la localisation des images sonores doit être renforcée par l'usage de microphones d'appoint positionnés en proximité des groupes instrumentaux. En post-production, ces appoints doivent être re-spatialisés par des techniques de panoramique. Il en va de même des pistes d'électronique si celles-ci sont disponibles séparément. En outre, le mixeur peut insérer des réverbérations artificielles pour fusionner les différents éléments du mix de façon homogène, et pour travailler la profondeur apparente des différents plans sonores.

En définitive, le rôle de l'ingénieur du son est donc de proposer une perspective sonore cohérente en travaillant les attributs spatiaux (localisation, immersion, enveloppement, profondeur, etc.) des éléments disponibles (prise de son principale, appoints, réverbération, etc.). Pour ce faire, les outils à sa disposition sont typiquement : une console de mixage (analogique ou numérique), une station de travail audionumérique (« digital audio workstation » ou « DAW »), et des logiciels dédiés à la spatialisation sonore.

Le travail présenté dans cet article vise à améliorer les outils existants, en particulier pour la réalisation de mixages audio 3D pour lesquels les technologies actuelles se révèlent contraignantes.

Les consoles de mixage sont généralement restreintes à des techniques de panoramique traditionnelles (par différences d'intensité ou de temps) et ne permettent pas de réaliser des traitements 3D de type binaural ou Ambisonic. Elles sont le plus souvent dédiées à des productions sur des dispositifs périphériques 2D (type surround 5.1 ou 7.1) et n'intègrent pas de potentiomètre d'élévation.

Les stations de travail audionumériques souffrent quant

à elles d'un manque de flexibilité dans la gestion des pistes multicanales : la plupart des DAWs ne supportent que des pistes et des bus « faiblement » multicanaux (stéréo, 5.1, 7.1) et l'insertion de plugins de spatialisation y est donc très contrainte et malaisée.

Par ailleurs, de nombreuses solutions logicielles sont proposées pour les traitements de spatialisation (voir par exemple [14] pour un inventaire des outils les plus couramment utilisés). Elles sont le plus souvent destinées à la sonorisation d'évènements live, et s'insèrent donc dans des environnements multimédia temps réel tels que Max/MSP® ou PureData. Pareil cadre s'avère inadapté dans un contexte de mixage : de nombreuses opérations essentielles (ajout dynamique de nouvelles pistes, gestion de groupes, etc.) sont difficiles à mettre en œuvre dans des plateformes de programmation visuelle. En outre, les bibliothèques de spatialisation sont généralement dédiées à une technique de rendu donnée (par exemple VBAP [15] ou Higher-Order Ambisonic [7]) et se prêtent mal à la combinaison d'éléments hétéroclites ou à des approches hybrides.

Enfin, les dispositifs de captation 3D à haute résolution spatiale, tels que le microphone EigenMike [1], demeurent cantonnés aux laboratoires de recherche et sont à ce jour peu exploités en production, en dépit de leur potentiel.

Tous ces facteurs nous amènent à développer un nouvel outil qui permette, dans un environnement unifié, de réaliser les traitements de spatialisation (et réverbération) de sources sonores hétérogènes et de rendre des mixages dans différents formats 3D.

La Section 2 de cet article présente un exemple paradigmatique de prise de son d'une œuvre propice à un mixage 3D. Cet exemple est utilisé pour dresser le cahier des charges d'une plateforme de mixage spatialisé. La Section 3 détaille les caractéristiques techniques de *panoramix*, l'application ainsi développée. Enfin la Section 4 aborde plusieurs perspectives de poursuite de ce travail.

2. EXEMPLE PARADIGMATIQUE

2.1. Présentation

Au cours de l'année 2015, la compositrice Olga Neuwirth a réalisé, dans les studios de l'Ircam, *Le* Encantadas *o le avventure nel mare delle meraviglie*, pour ensemble et électronique [2]. L'Ensemble intercontemporain, sous la direction de Matthias Pintscher, a donné la création française le 21 octobre à la Salle des Concerts de la Philharmonie 2 (Paris). La pièce, comme souvent dans l'œuvre de Neuwirth, propose une mise en espace très travaillée. L'effectif instrumental est décomposé en six groupes [3] de quatre à cinq pupitres ; le groupe I se tient sur sur scène tandis que les groupes II à VI sont disséminés au balcon, entourant et surplombant les spectateurs (cf. Figure 1). L'électronique, qui mêle échantillons et traitements temps réel, est diffusée sur un dispositif 3D de quarante haut-parleurs formant un dôme au-dessus de l'auditoire. Différents procédés de spatialisation sont mis en œuvre pour la diffusion des sons électroniques, notamment Higher-Order Ambisonic (HOA), VBAP, ainsi que des techniques de matriçage. Au fil de la pièce, plusieurs espaces sonores virtuels sont créés par le jeu de réverbérateurs. En particulier, des réponses impulsionnelles à haute résolution spatiale ont été mesurées à l'église San Lorenzo à Venise, à l'aide d'un microphone EigenMike, et elles sont utilisées dans un moteur de convolution HOA d'ordre 4 pour recomposer l'acoustique du lieu – en référence au *Prometeo* de Luigi Nono qui y fut créé.

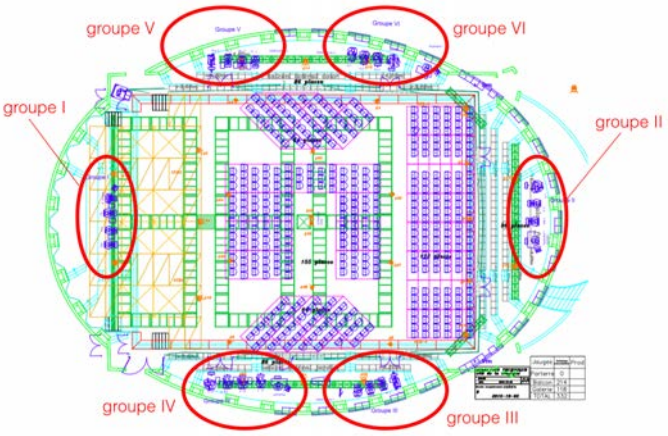

Figure 1. Disposition scénique des six groupes orchestraux dans la Salle des Concerts – Philharmonie 2, Paris.

groupe	effectif	prise de son
I	saxophone, trompette 1, basson, guitare électrique	4 microphones : AT4050, AKG214, C535, AKG214
II	synthétiseur 1, clarinette 1, trompette 2, violoncelle 1	5 microphones : KMS105, DPA4021, AKG214, KM140, AKG411
III	flûte 1, hautbois, cor 1, trombone 1, percussion 1	11 microphones : DPA4066, KM150, C353, KM150, Beta57, SM58 (x2), SM57 (x2), C535, AKG411
IV	synthétiseur 2, violon 3, violon 4, alto 1, violoncelle 2	5 microphones : DPA4061 (x3), DPA2011, KM140
V	percussion 2, trombone 2, cor 2, clarinette 2, flûte 2	10 microphones : SM57 (x2), SM58 (x2), MD421, C535, Beta57, KMS105, AKG414, DPA4066
VI	synthétiseur 3, violon 1, violon 2, alto 2, contrebasse	10 microphones : DPA4061 (x3), AKG414 (x2), KM140, C535 (x2), SM58 (x2)

Table 1. Description des groupes instrumentaux et de leurs appoints microphoniques.

1. http ://www.mhacoustics.com
2. Réalisation information musicale : Gilbert Nouno/Ircam
3. des « îlots », selon les notes de programme

2.2. Prise de son

Étant données la configuration scénique et la composition spatiale de la pièce, un important dispositif de prise de son est mis en place [4] :

— 45 appoints microphones sont déployés pour capter les six groupes instrumentaux (voir Table 1),
— l'image globale des groupes est par ailleurs captée par des microphones à distance intermédiaire : couples ORTF pour les groupes I et II, omnidirectionnels pour les groupes latéraux,
— un microphone EigenMike (32 canaux) est placé au centre de la salle, c'est-à-dire au centre du dôme de diffusion HOA,
— un quintette microphonique d'omnis (voir [10]) est également placé au centre de la salle ; initialement conçu pour une restitution optimale sur le format 5.1 (ITU-R BS 775-1), l'arbre est ici complété d'un sixième microphone à l'arrière pour assurer une couverture complète de la scène sonore,
— la diffusion électronique est enregistrée en 32 pistes (30 signaux haut-parleurs et 2 subwoofers),
— les trois synthétiseurs (stéréo) sont par ailleurs enregistrés, ainsi que trois pistes de click.

Au total, l'enregistrement contient donc 132 pistes ; il est réalisé via deux ordinateurs (64 et 68 pistes respectivement) qui sont synchronisés puis recalés grâce aux pistes de clic.

2.3. Cahier des charges pour la post-production

Nonobstant son envergure, cet exemple de prise de son est représentatif des captations mises en œuvre pour nombre de concerts électroacoustiques. Chaque élément constitutif de cet enregistrement doit faire l'objet de traitements de post-production. Comme mentionné en introduction de cet article, divers outils permettent peu ou prou de réaliser ces traitements, toutefois il n'existe pas d'environnement unifié pour combiner l'ensemble des opérations.

En nous basant sur l'exemple d'*Encantadas*, nous dressons le cahier des charges d'une station de mixage permettant de traiter l'ensemble des matériaux d'une manière cohérente.

L'outil doit (au minimum) permettre :

— de spatialiser en 3D des sources monophoniques (appoints ou pistes électroniques),
— d'inclure une réverbération artificielle sur ces sources,
— d'encoder et décoder des prises de son de type Ambisonic (B-Format ou ordres supérieurs),
— de mélanger des pistes électroniques déjà spatialisées et issues des haut-parleurs de la salle de concert (« speaker feeds »),
— de recaler l'ensemble des matériaux en niveau et en temps,
— de combiner plusieurs algorithmes de spatialisation,
— de produire un mix dans un ou plusieurs formats.

Pour répondre à ce cahier des charges, nous avons développé *panoramix*, une application de mixage constituée d'une interface de contrôle/édition et d'un processeur audio.

4. Prise de son Ircam : Clément Cornuau, Mélina Avenati, Sylvain Cadars

3. PANORAMIX

À l'instar d'une console traditionnelle, *panoramix* se présente sous forme de tranches (« strips ») dont la Figure 3 donne une vue d'ensemble. Les tranches peuvent être de natures diverses, toutefois elles ont en commun un certain nombre de caractéristiques. Elles disposent toutes :

— d'un vu-mètre (éventuellement multicanal) de monitoring d'entrée,
— d'un gain d'ajustement en entrée (« trim »),
— d'un module d'égalisation multicanale (i.e. l'effet affecte chacun des canaux d'entrée) ; l'égaliseur se présente sous la forme d'un filtre paramétrique à huit étages (voir ⑥ sur Figure 3) : un passe-haut, un passe-bas (modèle Butterworth d'ordre variable), deux filtres en plateau (« shelving »), et quatre filtres biquadratiques en cloche (avec réglage du gain, de la fréquence, et du facteur de résonance),
— d'un module de compression dynamique ; cet étage consiste en un compresseur/expandeur (Figure 2) avec des réglages classiques (ratio, seuils d'activation, et caractéristiques temporelles),
— d'un réglage mute/solo,
— d'un vu-mètre (éventuellement multicanal) de monitoring de sortie, avec « fader » d'ajustement du niveau.

En outre, une barre d'outils (visible sous l'entête de tranche, Figure 3) permet de configurer diverses options telles que : verrouillage (empêche l'édition de la tranche), ajout d'une annotation, réglage du comportement des vu-mètres (pre ou post fader, « peakhold »), etc.

Les tranches sont classées en deux catégories principales : tranches d'entrée (ou « tracks ») et bus. Les paragraphes suivants décrivent les caractéristiques spécifiques à chaque type de tranche.

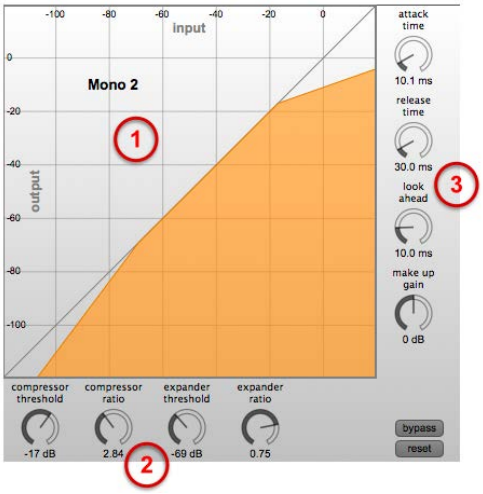

Figure 2. Module de compresseur / expandeur. ① Courbe de compression dynamique. ② Réglages des seuils et ratios. ③ Caractéristiques temporelles et gain global.

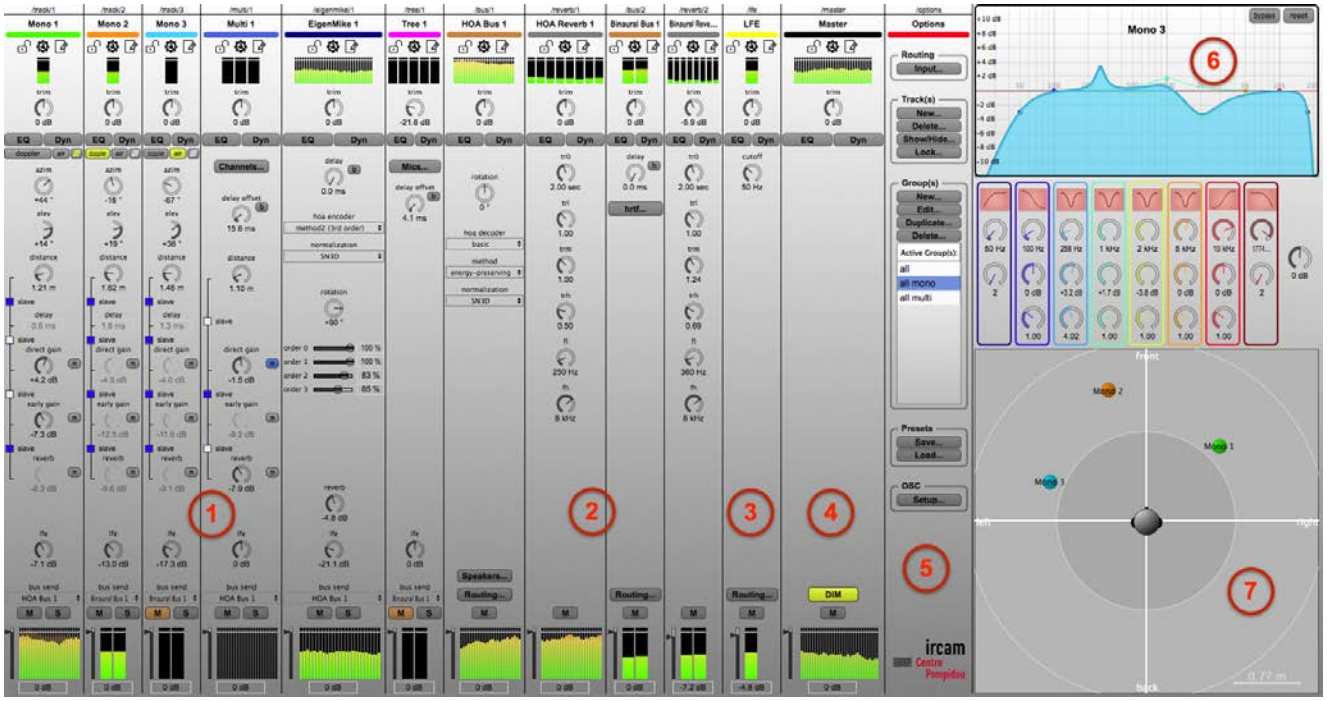

Figure 3. Fenêtre principale de la station *panoramix*. ① Tranches d'entrée. ② Bus de panning et reverbération. ③ Bus LFE. ④ Tranche Master. ⑤ Options de session. ⑥ Module(s) d'insert (égaliseur, compresseur, etc.). ⑦ Interface géométrique de positionnement.

3.1. Tranches d'entrée

Les tranches d'entrée correspondent aux signaux sources issus de la session d'enregistrement. Elles disposent toutes d'un paramètre de délai qui permet de recaler les différents systèmes de captation. Les sons provenant des microphones d'appoints sont en avance par rapport à ceux captés par le système principal, du fait de leur proximité aux instruments. La prise de son d'une source sonore par une multitude de microphones contribue à colorer le signal. Pour réduire cette coloration, le paramètre de délai permet d'ajuster le retard sur chacune des tranches de la session. Il peut également servir à moduler l'impression d'enveloppement. En pratique, il peut être utile de maintenir une légère avance sur les appoints afin de tirer profit de l'effet de précédence pour stabiliser la localisation perçue.

3.1.1. Tranche Mono

Cette tranche (cf. Figures 4 et 3) sert à traiter un signal monophonique devant être spatialisé, typiquement un appoint microphonique ou une piste d'électronique. La tranche contient des contrôles de localisation (azimut, élévation, distance), d'effets spatiaux (Doppler, filtrage d'absorption de l'air), et de réverbération. Le module de réverbération artificielle s'inspire de l'architecture du Spatialisateur [6] dans lequel l'effet de salle est constitué de quatre sections temporelles : son direct, réflexions précoces, réflexions tardives/diffuses, et queue de réverbération. Les niveaux et filtrages des quatre sections peuvent être automatiquement asservis à la distance de la source via le modèle de contrôle perceptif du Spatialisateur. Alternativement, ce contrôle perceptif peut être débrayé (boutons « slave », voir ③ sur Figure 4), et les niveaux ré-ajustés manuellement. Enfin chaque section peut être « mutée ». D'un point de vue du traitement de signal, le son direct étendu (son direct et réflexions précoces) est géré dans la tranche mono (Figure 10), tandis que les parties tardives/diffuses sont générées dans un bus de réverb (décrit en 3.2.2) qui est partagé entre plusieurs tranches pour réduire le coût de calcul. Enfin, un menu déroulant (« bus send ») permet de sélectionner le bus de destination (voir 3.2.1) de la tranche.

Toutes les tranches mono sont par ailleurs représentées (et manipulables) dans une interface géométrique 2D (⑦ sur Figure 3).

3.1.2. Tranche Multi

Une tranche « Multi » est essentiellement une collection de plusieurs tranches mono (bien entendu le nombre de canaux est réglable). Les paramètres (filtrages, réverb, etc.) sont appliqués de façon identique sur tous les canaux monophoniques. Par ailleurs, les positions des différents éléments mono constitutifs de la « Multi » sont fixes (i.e. ils sont réglés une fois –via le menu « Channels... » – puis ne varient plus durant la session). Une telle tranche sera typiquement utilisée pour traiter un flux multicanal correspondant aux « speaker feeds » d'électronique (voir paragraphe 2.3).

Un résultat similaire pourrait être obtenu en groupant (voir 3.5) plusieurs tranches « Mono », toutefois la configuration et la gestion de la session est beaucoup plus simple, rapide et parlante avec une tranche « Multi ».

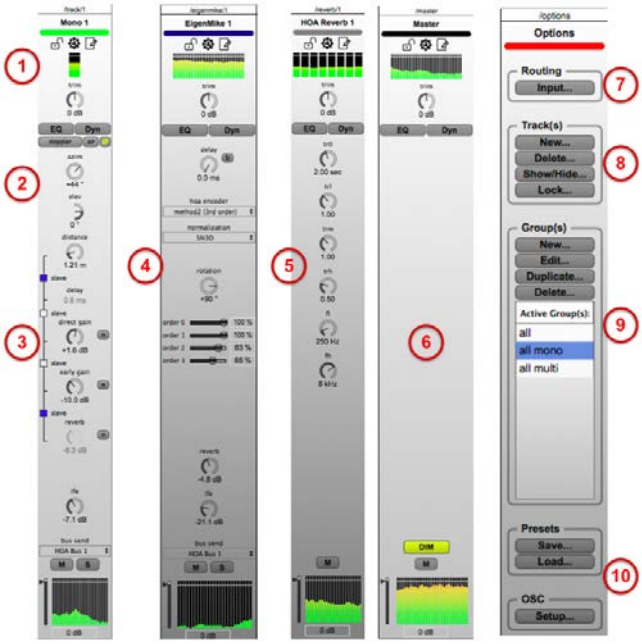

Figure 4. Vue de plusieurs tranches ; de gauche à droite : tranche mono, tranche EigenMike, bus de réverbération HOA, master, options de session. ① Entête de tranche : réglage du nom, de la couleur, verrouillage de piste, options, annotations, vu-mètre d'entrée, trim d'entrée, égaliseur et compresseur. ② Paramètres de localisation (position, effet Doppler, absorption de l'air). ③ Gestion de l'effet de salle (son direct, réflexions précoces, départ vers la réverbération tardive). ④ Paramètres d'encodage HOA et transformation du champ sonore. ⑤ Contrôle de la réverbération tardive (temps de réverbération, fréquences de coupure, etc.). ⑥ Tranche master. ⑦ Matriçage d'entrée. ⑧ Édition des tranches (ajout, suppression, etc.). ⑨ Gestion des groupes actifs. ⑩ Import/export de presets et configuration OSC.

3.1.3. Tranche EigenMike

Comme son nom l'indique, une tranche « EigenMike » est employée pour traiter un enregistrement provenant d'un microphone sphérique de type EigenMike. La tranche dispose donc de 32 canaux d'entrée, et elle réalise l'encodage des signaux microphoniques en format HOA. L'encodage peut être conduit jusqu'à l'ordre 4, et plusieurs variantes de normalisation (N3D, SN3D, etc.) sont disponibles. Le champ sonore ainsi encodé peut ensuite être transformé par des opérations dans le domaine modal, par exemple une rotation globale de la scène ou une pondération des composantes d'harmoniques sphériques (voir ④ sur Figure 4).

Les signaux issus de la prise de son EigenMike sont déjà spatialisés et ils portent a priori la réverbération de la salle de concert. Toutefois un réglage de départ reverb est inclus dans la tranche. Ceci peut être utile pour (légèrement) réverbérer le flux avec une réverbération artificielle similaire aux autres tranches, afin d'homogénéiser le mix global. Le départ reverb est pris sur la composante omnidirectionnelle (canal W) du flux HOA et envoyé dans un bus de réverbération diffuse.

3.1.4. Tranche Tree

Une tranche « Tree » sert à traiter un arbre microphonique principal tel que le quintette utilisé lors de la prise de son d'*Encantadas* (section 2.2). Le bouton « Mics... » (cf. Tranche « Tree 1 » sur Figure 3) ouvre une fenêtre de réglage des positions des micros qui forment l'arbre. Il est possible d'y recaler en délai et en niveau les différentes capsules du système.

Puisque l'arbre principal véhicule une image figée de la scène sonore, la tranche ne réalise aucun traitement spécifique.

3.2. Bus

Trois types de bus sont présents : des bus de panning, des bus de réverbération et un bus « LFE » (« low frequency enhancement »).

3.2.1. Bus de Panning/Decoding

Les bus de panning jouent plusieurs rôles : 1) ils servent de point de sommation des signaux provenant des tranches d'entrée (i.e. plusieurs tranches d'entrée peuvent être envoyées dans un même bus) ; 2) ils régissent la technique de spatialisation à mettre en œuvre. Trois algorithmes sont actuellement disponibles : VBAP, HOA et binaural ; 3) c'est dans le bus de panning que l'utilisateur peut régler divers paramètres relatifs à l'encodage/décodage des signaux : pour la spatialisation sur haut-parleurs (VBAP ou HOA), le bouton « Speakers... » permet de configurer le dispositif de restitution (voir Figure 5) ; dans le cas de la spatialisation binaurale, le bouton « hrtf... » permet de sélectionner le jeu de filtres à utiliser pour le rendu (Figure 6). Enfin, les bus de panning HOA font également fonction de décodeur Ambisonic, et différents paramètres de décodage peuvent y être ajustés (voir « HOA Bus 1 » sur Figure 3).

Les méthodes de panning supportées (VBAP, HOA, binaural) ont été choisies pour leur faculté à spatialiser les sons en 3D, et pour leur complémentarité. D'autres techniques pourront également être implémentées dans les prochaines versions de *panoramix*.

Les sorties des bus de panning sont envoyées vers la tranche Master. Chaque bus de panning dispose d'une matrice de routage permettant l'affectation des signaux vers les canaux désirés (② sur Figure 7).

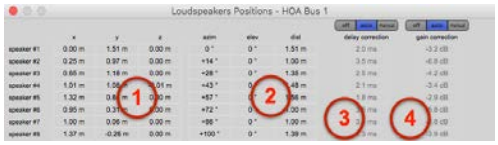

Figure 5. Fenêtre d'édition des haut-parleurs d'un bus de panning. Les positions des haut-parleurs peuvent être éditées en coordonnées cartésiennes ① ou sphériques ②. Le système peut être recalé en délai ③ et en niveau ④ ; les valeurs de recalage sont calculées automatiquement ou entrées manuellement. Les coordonnées des haut-parleurs sont transmises à toutes les tranches liées à ce bus.

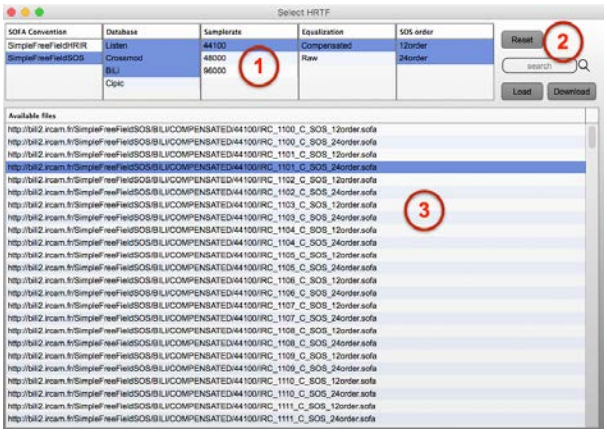

Figure 6. Fenêtre de chargement des filtres binauraux. Une base de donnée de filtres HRTFs est disponible au format SOFA/AES-69 [12] et accessible via le protocole OpenDAP [4]. L'interface ci-dessus permet une recherche rapide dans la base de données. ① Critères de sélection. ② Zone de recherche rapide. ③ Fichiers disponibles et correspondants aux critères de recherche.

3.2.2. Bus de Réverbération

Un bus de réverbération génère et contrôle les sections tardives/diffuses du réverbérateur artificiel. Il est toujours attaché –de façon indissociable– à un bus de panning, et l'effet de réverbération affecte toutes les tranches envoyées dans ce bus de panning.

panoramix s'appuie sur le moteur de réverbération du Spatialisateur. Il s'agit d'un réseau de retards rebouclés dont le profil de décroissance est ajustable selon trois bandes de fréquence. Les paramètres de réglage de l'algorithme se retrouvent dans cette tranche (voir ⑤ sur Figure 4).

3.2.3. Bus LFE

Le bus LFE permet de gérer les signaux basses fréquences à destination du ou des (éventuels) caisson(s) de basses du dispositif de restitution. Chaque tranche d'entrée possède un départ LFE qui permet de doser la quantité d'envoi. Le bus intègre un filtre passe-bas de fréquence de coupure réglable. Les signaux de sortie du bus sont envoyés vers le Master via une interface de routage.

3.3. Master

La tranche « Master » permet de collecter les signaux de sortie de tous les bus et de les adresser aux sorties physiques de *panoramix*. Bien que la session ne comporte qu'une unique tranche Master, il est possible de produire simultanément des mixages dans plusieurs formats. Par exemple si la session comprend 26 sorties physiques, on pourra utiliser les canaux 1 à 24 pour produire un mix HOA et les canaux 25-26 pour délivrer un rendu binaural.

3.4. Options de session

La tranche « Options » permet de configurer la session. C'est ici qu'est géré le routage des entrées physiques (voir ⑦ sur Figure 4 et ① sur Figure 7). À tout moment, de nouvelles tranches peuvent être ajoutées, supprimées, masquées ou verrouillées (⑧ sur Figure 4 et Figure 8). Des presets contenant l'ensemble des données de session peuvent être sauvegardés (sous forme de fichiers textuels) ou rappelés (⑩ sur Figure 4).

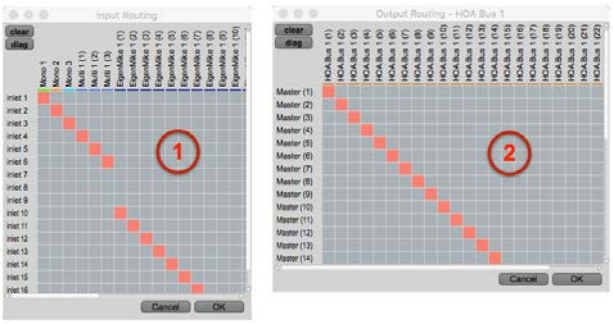

Figure 7. ① Fenêtre de routage d'entrée. Les entrées physiques (lignes de la matrice) peuvent être affectées vers les différentes tranches sources (colonnes). ② Fenêtre de routage pour le bus de panning « HOA 1 ». Les sorties du bus (colonnes) peuvent être dirigées vers les pistes du Master (lignes), i.e. vers les sorties physiques.
Dans tous les cas, des affectations multiples sont autorisées (e.g. une entrée physique routée vers plusieurs tranches).

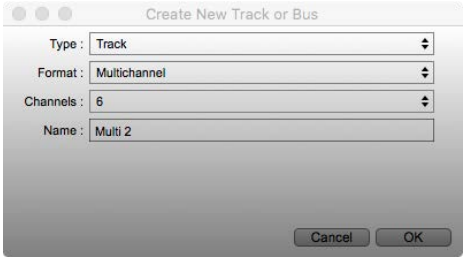

Figure 8. Fenêtre de création d'une nouvelle tranche. Permet de spécifier le type de tranche (« Track » ou « Bus »), le format (« Mono », « Multi », « EigenMike », ou « Tree » pour les « Tracks » ; « VBAP », « HOA », ou « binaural » pour les bus), et le nombre de canaux souhaités.

3.5. Gestion des groupes

Il est très fréquent dans la pratique des mixeurs, de coupler plusieurs paramètres entre eux ; c'est le mécanisme de groupe de pistes. *panoramix* permet de grouper plusieurs tranches de sorte que toute modification d'un paramètre d'une tranche engendre une modification similaire (delta) de ce paramètre dans toutes les autres tranches du groupe. La section « Options » permet de créer, éditer, supprimer

et dupliquer des groupes (voir ⑨ sur Figure 4 et Figure 9), ainsi que de sélectionner le ou les groupe(s) actif(s).

Par défaut, un groupe affecte tous les paramètres de tranche ; toutefois il est possible d'en exclure les réglages de mute, solo et send (③ sur Figure 9).

Plusieurs groupes existent par défaut : un groupe « all » contient l'ensemble des tranches, un groupe « all mono » contient l'ensemble des tranches mono, etc. Le contenu de ces groupes est automatiquement mis à jour dès lors qu'une tranche est ajoutée ou supprimée.

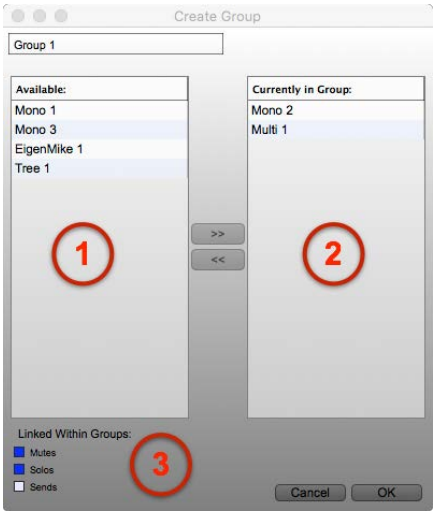

Figure 9. Fenêtre de création/édition d'un groupe. ① Tranches disponibles. ② Tranches actuellement groupées. ③ Options du groupe.

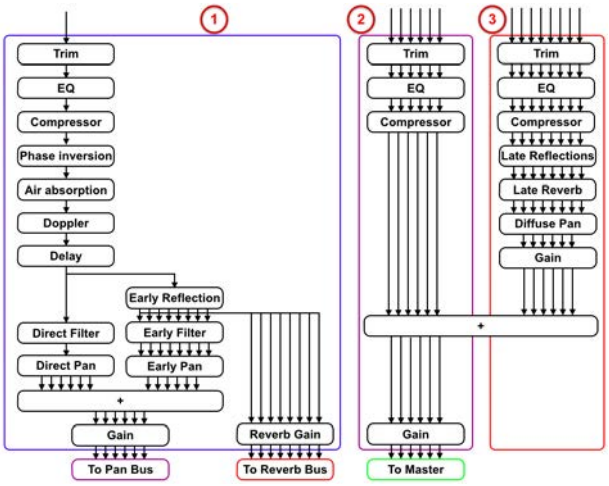

Figure 10. Architecture audio (représentation simplifiée). ① Tranche mono. ② Bus de panning/decoding. ③ Bus de réverb.

3.6. Communication OSC

Tous les paramètres de l'application *panoramix* peuvent être pilotés (en lecture et en écriture) via le protocole Open Sound Control (OSC [17]).

Typiquement on utilisera une station de travail audionumérique pour lire/éditer les pistes audio issues de la captation ainsi que les données d'automation de la session *panoramix* (voir Figure 11). Pour ce faire, on pourra créer une passerelle OSC entre la station de travail et *panoramix*, par exemple au moyen du plugin ToscA [3].

La communication OSC (ports d'entrée/sortie) de *panoramix* est configurée dans la tranche d'Options (⑩ sur Figure 4).

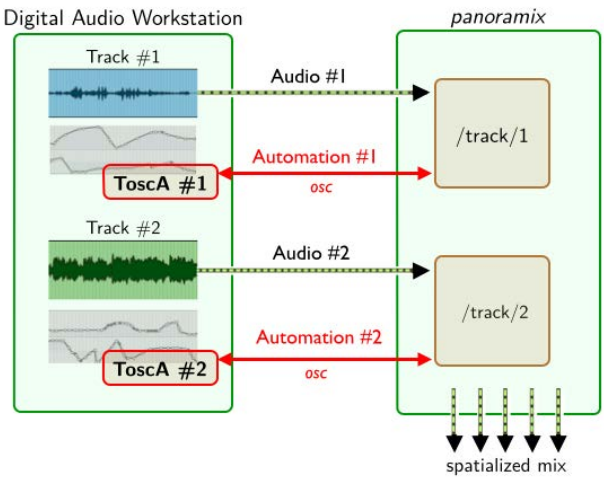

Figure 11. Principe de communication entre *panoramix* et une station de travail audionumérique, via le protocole OSC et le plugin ToscA.

4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Nous avons présenté *panoramix*, une application pour le mixage et la post-production de contenus audio 3D. L'outil est très flexible et permet, dans un environnement unifié, de combiner, spatialiser et réverbérer des matériaux sonores provenant de divers dispositifs microphoniques. L'application pallie les contraintes des outils de mixage existants.

Néanmoins, de nombreuses améliorations et extensions sont considérées et feront l'objet de prochains développements. Notamment :

— intégration d'autres catégories d'encodage/décodage en particulier pour des microphones de type M-S ou B-Format,
— extension à des moteurs de réverbération par convolution ou hybride [5],
— import et/ou export des tranches dans un format orienté objets tel que l'ADM [13],
— implémentation d'outils de monitoring ou de downmixage automatique, en s'appuyant par exemple sur des techniques transaurales [2],

— insertion de plugins d'effet (VST, AudioUnits, etc.) dans les tranches,
— intégration de données d'automation directement dans la station *panoramix*,
— asservissement de la session à un time-code tel que LTC.

5. REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient chaleureusement Olivier Warusfel, Markus Noisternig, et toute l'équipe Ingénierie Sonore de l'Ircam, pour leur aide précieuse et indispensable à la conception de cet outil.

Merci également à Angelo Farina pour le prêt du microphone EigenMike utilisé lors de la captation d'*Encantadas*, et à Olga Neuwirth pour avoir autorisé l'enregistrement de la pièce et l'utilisation des matériaux sonores lors des sessions de mixage.

6. REFERENCES

[1] Bartlett, B., "Choosing the Right Microphone by Understanding Design Tradeoffs", *Journal of the Audio Engineering Society*, volume 35(11) :pp. 924 – 943, Nov 1987.

[2] Baskind, A., Carpentier, T., Lyzwa, J.M., Warusfel, O., "Surround and 3D-Audio Production on Two-Channel and 2D-Multichannel Loudspeaker Setups", *3rd International Conference on Spatial Audio (ICSA)*, Graz, Austria, Sept. 2015.

[3] Carpentier, T., "ToscA : An OSC Communication Plugin for Object-Oriented Spatialization Authoring", *Proc. of the 41st International Computer Music Conference*, pp. 368 – 371, Denton, TX, USA, Sept. 2015.

[4] Carpentier, T., Bahu, H., Noisternig, M., Warusfel, O., "Measurement of a head-related transfer function database with high spatial resolution", *Proc. of the 7th EAA Forum Acusticum*, Kraków, Poland, Sept. 2014.

[5] Carpentier, T., Noisternig, M., Warusfel, O., "Hybrid Reverberation Processor with Perceptual Control", *Proc. of the 17th Int. Conference on Digital Audio Effects (DAFx-14)*, pp. 93 – 100, Erlangen, Germany, Sept. 2014.

[6] Carpentier, T., Noisternig, M., Warusfel, O., "Twenty Years of Ircam Spat : Looking Back, Looking Forward", *Proc. of the 41st International Computer Music Conference*, pp. 270 – 277, Denton, TX, USA, Sept. 2015.

[7] Daniel, J., *Représentation de champs acoustiques, application à la transmission et à la reproduction de scènes sonores complexes dans un contexte multimédia*, Ph.D. thesis, Université de Paris VI, 2001.

[8] Huber, D.M., Runstein, R.E., *Modern Recording Techniques (8th Edition)*, Focal Press, 2014.

[9] Knoppow, R., "A Bibliography of the Relevant Literature on the Subject of Microphones", *Journal of the Audio Engineering Society*, volume 33(7/8) :pp. 557 – 561, July/August 1985.

[10] Lyzwa, J.M., "Prise de son et restitution multicanal en 5.1. Problématique d'une œuvre spatialisée : Répons, Pierre Boulez", Technical report, Conservatoire National Supérieur de Musique et de Danse de Paris, May 2005.

[11] Lyzwa, J.M., "Réflexion sur la prise de son et la post-production en multicanal 5.1", Technical report, Conservatoire National Supérieur de Musique et de Danse de Paris, Dec 2006.

[12] Majdak, P., Iwaya, Y., Carpentier, T., Nicol, R., Parmentier, M., Roginska, A., Suzuki, Y., Watanabe, K., Wierstorf, H., Ziegelwanger, H., Noisternig, M., "Spatially Oriented Format for Acoustics : A Data Exchange Format Representing Head-Related Transfer Functions", *Proc. of the 134th Convention of the Audio Engineering Society*, Roma, Italy, May 4-7 2013.

[13] Parmentier, M., "Audio Definition (Metadata) Model – EBU Tech 3364", Technical report, European Broadcasting Union, 2015.

[14] Peters, N., Marentakis, G., McAdams, S., "Current Technologies and Compositional Practices for Spatialization : A Qualitative and Quantitative Analysis", *Computer Music Journal*, volume 35(1) :pp. 10 – 27, 2011.

[15] Pulkki, V., "Virtual Sound Source Positioning Using Vector Base Amplitude Panning", *Journal of the Audio Engineering Society*, volume 45(6) :pp. 456 – 466, June 1997.

[16] Rumsey, F., McCormick, T., *Sound and Recording (6th edition)*, Elsevier, 2009.

[17] Wright, M., "Open Sound Control : an enabling technology for musical networking", *Organised Sound*, volume 10(3) :pp. 193 – 200, Dec 2005.