

Le son multicanal

Tout le catalogue sur
www.dunod.com



ÉDITEUR DE SAVOIRS

Bergame Périaux • Jean-Luc Ohl • Patrick Thévenot

ina

Le son multicanal

**De la production à la diffusion
du son 5.1, 3D et binaural**

DUNOD

Toutes les marques citées dans cet ouvrage
sont des marques déposées par leurs propriétaires respectifs.

Photo de couverture : © B. Périaux

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, 2015

5 rue Laromiguière, 75005 Paris
www.dunod.com

ISBN 978-2-10-072667-7

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Préface

Damn, c'est injuste ! Bergame Périaux, avec la collaboration de Jean-Luc Ohl et Patrick Thévenot, a écrit le livre que je voulais écrire. Après toutes ces années de rencontres et de lectures de bons et de moins bons livres sur le multicanal, j'avais décidé que le seul livre que j'écrirai porterait sur ce sujet. Il traiterait toutes les formes du son multicanal : ses débuts (il y a quelques centaines d'années), ses années de gloire au cinéma, le passage au monde de la musique et du broadcast, le streaming et les téléconférences. La technologie pour l'enregistrement, le mixage et la diffusion d'un programme et plus important encore, l'esthétique et pourquoi nous faisons cela.

Bergame a tout couvert. J'ai cherché une application non traitée, mais je n'ai pas trouvé. Ce livre n'est aucunement une encyclopédie des deux cent premiers résultats sur Google pour la recherche de « son surround » ou « audio multicanal ». La structure de l'ouvrage est très bien pensée, cela ressemble à un dîner français traditionnel avec un amuse-bouche et un apéritif pour ouvrir l'appétit, la salade et le plat principal pour vous emporter, et bien sûr le dessert, sucré et délicieux. Sans mentionner le vin fantastique qui accompagne les plats. Ou bien, on pourrait dire que cela ressemble à une forme de sonate avec son introduction, l'exposition du thème principal (thème secondaire, les transitions de modulation), son développement, la reprise et la coda. Ou plus simplement : c'est une bonne histoire.

Soyez informé, c'est un bagage lourd dans lequel vous devrez trier les informations et vous découvrirez de vieilles connaissances et de nouvelles notions, des ingrédients essentiels et des épices exotiques. L'essentiel est là, les détails aussi, beaucoup de détails, ainsi que les derniers éclairages sur la complexité de ce segment de l'ingénierie audio. Tout ceci est mené avec art et connaissance jumelés avec un grand contenu qui touche l'âme et le cœur.

Damn, c'est un grand livre. Mais bon, maintenant qu'il a été écrit par Bergame, je vais certainement avoir plus de temps libre ! Pour le relire, de bout en bout.

Florian Camerer

Ingénieur du son senior à l'ORF, président de EBU-groupe PLOUD

Table des matières

À PROPOS DES AUTEURS	XVII
REMERCIEMENTS	XIX
SIGLES, TERMES TECHNIQUES, CONVENTIONS	XXI
INTRODUCTION	XXV
CHAPITRE 1 – GÉNÉRALITÉS	1
1.1 Écouter	2
1.2 Historique	2
1.2.1 Cinéma	2
1.2.2 Home-cinéma, DVD, TVHD, radio, jeu vidéo, Internet	5
1.2.3 Écriture, édition et diffusion musicales	9
1.3 Intérêts	10
1.3.1 Une écoute naturelle : réalisme et immersion	10
1.3.2 Un espace : de nouvelles possibilités d'écriture	12
1.3.3 Définition d'image, angle de vision, distance et dispositif sonore	12
1.3.4 Meilleure intelligibilité, extension de la bande passante, interaction avec le corps	13
1.4 Vecteurs	13
1.4.1 Le cinéma : passage au numérique, installations son 3D Barco Auro-3D et Dolby Atmos	13
1.4.2 La TVHD, l'UHDTV et le Super Hi-Vision	14
1.4.3 La radio numérique	14
1.4.4 Les supports Blu-ray, DVD, SACD	14
1.4.5 Le jeu vidéo	15
1.4.6 La salle de spectacle, le théâtre, la retransmission d'opéras au cinéma	15
1.4.7 Internet	15
1.4.8 Le téléphone mobile, la tablette numérique	16
1.5 Problématiques	16
1.5.1 Le système d'écoute	16

1.5.2	L'image sonore multicanal	16
1.5.3	La prise de son spatialisée	17
1.5.4	Des concepts de mixage nouveaux	17
1.5.5	La diffusion, les metadata, le mixage Dolby	17
1.6	Les différentes techniques de spatialisation	17
1.6.1	Stéréophonie ou Multichannel Stereo	17
1.6.2	L'Ambisonie (« scene oriented »)	18
1.6.3	La WFS	18
1.6.4	Le binaural	19
1.6.5	Les objets (« object oriented »)	19
1.7	Formats multicanal	20
1.7.1	Quadriphonie	25
1.7.2	5.1 ITU	26
1.7.3	LCRS Dolby Surround (TV, home-cinéma)	26
1.7.4	5.1 ITU 4 enceintes arrière	27
1.7.5	5.1 amélioré Günther Theile	27
1.7.6	5.1 cinéma	28
1.7.7	5.1 cinéma Dolby Stereo	29
1.7.8	6.1 cinéma	29
1.7.9	6.1, 7.1 IMAX	30
1.7.10	7.1 cinéma SDDS	30
1.7.11	7.1 cinéma image 3D : DTS, Dolby Surround 7.1	31
1.7.12	7.1 Blu-ray Dolby	31
1.7.13	7.1 Blu-ray DTS	32
1.7.14	7.1, 9.1, 11.1 selon recommandation de Mike Williams	34
1.7.15	8.1 Musique acousmatique octophonique	35
1.7.16	7.1, Dolby Surround IIX, 9.1 Dolby Surround IIZ	35
1.7.17	Auro-3D 9.1 ou 10.1 home-cinéma/studio	36
1.7.18	Auro-3D 11.1, 12.1, 13.1 cinéma	37
1.7.19	10.2 Tomlinson Holman	38
1.7.20	11.1 DTS Neo X	39
1.7.21	22.2 NHK (9/10/3.2)	39
1.7.22	Imm Sound 23.1 ou 14.1 (Dolby)	40
1.7.23	Norme ITU-R BS 2051	41
1.7.24	Dolby Atmos	42
1.7.25	WFS	43
1.8	État des lieux des marchés du multicanal	43
1.8.1	Statistiques	43
1.8.2	Premier bilan de la TVHD	44
1.8.3	Perspectives sur la production radiophonique	45
1.8.4	Événements, séminaires, groupes de recherche, formations	46

CHAPITRE 2 – LE SYSTÈME D'ÉCOUTE		47
2.1	Caractérisation auditive d'une écoute	48
2.1.1	Pourquoi apprendre à écouter ?	48
2.1.2	Critères objectifs nécessaires à la caractérisation d'une écoute	48
2.1.3	Apprentissage d'une méthodologie d'écoute	49
2.2	Finalité d'une écoute monitoring en multicanal	50
2.2.1	Domaine artistique, domaine objectif	50
2.2.2	Problématique spécifique au multicanal	51
2.3	Les différents types de mesures	51
2.3.1	Fréquence glissante	51
2.3.2	Bruit rose	51
2.3.3	MLS, CHIRP, TDS	51
2.3.4	Retard dynamique	52
2.4	L'enceinte acoustique	52
2.4.1	Différents types	52
2.4.2	Mesures et interprétations auditives	53
2.4.3	Conditions de fidélité et choix pour le multicanal	58
2.5	L'influence du local	61
2.5.1	Réponse dans le grave, couplage physique	61
2.5.2	Influence des premières réflexions, couplage psycho-acoustique	63
2.5.3	Influence du champ réverbéré tardif, équilibre tonal et transmissibilité des mixages	66
2.5.4	Le local et l'enceinte, synthèse globale	67
2.6	Les différents types de cabines de mixage	68
2.6.1	Type « Tom Hidley »	68
2.6.2	LEDE	69
2.6.3	Type « à amortissement réparti »	70
2.6.4	Une nouvelle approche : la cabine à « diffusion répartie »	72
2.6.5	Avantages et inconvénients en multicanal	74
2.7	L'influence de l'amplificateur	75
2.7.1	Les différentes technologies	75
2.7.2	Limites des mesures classiques, interactions avec les hauts parleurs et incidence sur l'écoute en 5.1	75
2.8	Normalisation d'une écoute multicanal	76
2.8.1	Normes ITU-R BS.775.1 et 2	76
2.8.2	Normes Cinéma (ISO 2969/1987(E)/ SMPTE ST202-2010)	80
2.8.3	L'écoute au casque multicanal	84
2.9	L'écoute multicanal et l'image	87
2.9.1	Influence sur notre perception	87
2.9.2	Rapports dimensionnels entre les imageries sonores et visuelles	87

2.10	L'écoute domestique en multicanal	88
2.10.1	De la HI-FI au Home-cinéma	88
2.11	Calibrage d'une écoute et optimisation par corrections électroniques	91
2.11.1	Correction ou compensation ?	91
2.11.2	Les différents moyens électroniques, filtres analogiques, filtres numériques IIR, filtres numériques FIR, les optimiseurs de champ acoustique	92
2.11.3	Prise en compte des circuits de production et des cultures d'écoute	97
2.11.4	Diagnostic et test d'un système d'écoute 5.1 par méthode entièrement auditive à l'intention des ingénieurs du son	97
2.12	Perspectives et évolutions	98
2.12.1	L'augmentation du nombre de canaux (7.1 à 22.2 ou 23.1)	98
2.12.2	L'après multicanal ? Le WFS et le Transaural et la 3D	103
<hr/>		
	CHAPITRE 3 – LES FACTEURS PERCEPTIFS	109
3.1	Le standard stéréo	110
3.2	Apport du 5.1	112
3.3	Le dispositif 5.1 et ses contraintes	113
3.4	Localisation	115
3.4.1	Principe de fonctionnement	115
3.4.2	Fonctions de transfert HRTF	118
3.4.3	Précision de localisation	124
3.4.4	Angle minimum audible	126
3.4.5	Perception de la distance	127
3.4.6	Perception des sources latérales et zone d'écoute	129
3.4.7	Effet Haas et multiplication des sources	130
3.4.8	Influence de la vision sur la localisation	131
3.4.9	Internalisation et externalisation	131
3.4.10	Synthèse binaurale	132
3.5	Impression spatiale	135
3.5.1	Définition	135
3.5.2	Enveloppement	138
3.6	Attention auditive	139
3.6.1	Principe général	139
3.6.2	Les causes de la réaction de l'orientation réflexe de l'attention	140
3.6.3	La mémoire visuelle prépare l'identification auditive	141
3.6.4	Comment gérer l'orientation attentionnelle du spectateur ?	141
3.6.5	Quelques règles	142
3.7	Ébauche de solutions pour l'image sonore multicanal	143
3.7.1	Esthétique	143
3.7.2	Localisation	143

3.7.3	Impression spatiale	144
3.7.4	Attention auditive	144
<hr/> CHAPITRE 4 – L'IMAGE SONORE, LES ESTHÉTIQUES, ET LA RÉALISATION <hr/>		145
4.1	Espace de création et espace de reproduction	146
4.2	Présentation des critères objectifs d'analyse	146
4.2.1	Esthétique de l'image, réalisme ou effet	147
4.2.2	Construction de l'image	148
4.2.3	Couleur de l'image	153
4.2.4	Qualité du signal	154
4.3	Application : analyse d'images sonores par les critères	155
4.4	Genres, esthétiques et réalisation	157
4.4.1	Genres, esthétiques et éléments de spatialisation	157
4.4.2	Film, fiction, animation, documentaire, sport	157
4.4.3	Musique	158
4.4.4	L'Acousmatique et l'Acousmonium par Daniel Teruggi	162
4.4.5	Radio	164
4.4.6	Jeu vidéo par Thierry Dilger	165
4.4.7	Éléments de réalisation	171
<hr/> CHAPITRE 5 – LA PRISE DE SON <hr/>		175
5.1	Rappels sur la prise de son stéréophonique	176
5.1.1	Différence d'intensité	176
5.1.2	Différence de temps	176
5.1.3	Combinaison intensité et temps	177
5.1.4	Notion d'angle de prise de son	180
5.1.5	Directivités	180
5.2.	Principe de la prise de son multicanal	181
5.3	Les systèmes principaux espacés	183
5.3.1	MMAD	183
5.3.2	OCT Surround	197
5.3.3	Arbre Decca	201
5.3.4	Arbre Fukada	204
5.3.5	INA5	204
5.4	Les systèmes principaux matricés	207
5.4.1	Double MS	207
5.4.2	Soundfield, système ambisonique d'ordre 1	211
5.4.3	Sphère Schoeps KFM 360	217

5.5	Systèmes d'ambiance	219
5.5.1	Double ORTF	219
5.5.2	ORTF Surround Schoeps	220
5.5.3	Croix IRT	222
5.5.4	Carré Hamasaki	224
5.5.5	Omni square et variantes	226
5.5.6	Holophone H2 Pro	226
5.5.7	DPA 5100	227
5.6	La haute résolution spatiale	228
5.6.1	Haute résolution spatiale et Trinnov SRP	230
5.6.2	High Order Ambisonics	235
5.7	Prise de son binaurale	237
5.8	Prise de son en tournage	240
5.8.1	Les enregistreurs	240
5.8.2	Les différents systèmes : pièges et astuces, avec la participation de Vincent Magnier	240
5.9	Applications	241
5.9.1	Film	241
5.9.2	Documentaire à l'image	242
5.9.3	Documentaire, reportage, fiction radiophonique par Guy Senaux, ingénieur du son Radio France	243
5.9.4	Autres expériences Radio	248
5.9.5	Sport	249
5.9.6	Musique	249
<hr/>		
	CHAPITRE 6 – LA POSTPRODUCTION	251
6.1	Généralités	252
6.1.1	Monitoring	252
6.1.2	Normes sur l'ordre des canaux	253
6.1.3	Montage son en multicanal	253
6.1.4	DAW	257
6.1.5	Consoles	257
6.2	La mesure	258
6.3	Manager multicanal	261
6.4	Gestion du Lfe, bass management	264
6.5	Pan-Pot, gestion du centre et des canaux arrière	267
6.5.1	Les lois de pan	267
6.5.2	Le type de pan-pot	269
6.5.3	Gestion du centre, divergence centrale	276

6.5.4	Divergence vers les autres canaux, Width ou Depth	277
6.5.5	Gestion des canaux arrière	279
6.6	Réverbération	280
6.6.1	Réverbération à convolution	281
6.6.2	Lexicon 960 L, Surround PCM96	284
6.7	Traitement Dynamique	284
6.7.1	Compresseurs multicanal	284
6.7.2	Limiteurs multicanal	288
6.8	Autres effets	289
6.8.1	Autopan	289
6.8.2	Délais	289
6.9	Downmix	289
6.10	Upmix	290
6.11	Méthode de mixage et analyses	292
6.11.1	Mixage film : les stems	292
6.11.2	Mixage Musique	293
6.11.3	Classement des sources	293
6.12	La synthèse binaurale	294
6.13	Exploitation des nouveaux formats, mixage objets	294
6.13.1	Auro-3D, 22.2 NHK	294
6.13.2	Exploitation de la WFS	297
6.13.3	WFS, Iosono Spatial Audio Workstation	299
6.13.4	Exploitation Dolby Atmos	301
6.14	Création sonore et interactivité avec la participation de Thierry Dilger	303
6.15	Applications	304
6.15.1	Film	304
6.15.2	TVHD : habillage sonore Arte HD 2008	308
6.15.3	Musique de film : Requiem pour une tueuse	308
<hr/> CHAPITRE 7 – LE CODAGE ET LA DIFFUSION <hr/>		309
7.1	Introduction	309
7.1.1	Définition	309
7.1.2	Pourquoi réduire le débit ou la taille ?	310
7.2	Principes	310
7.2.1	Codage entropique	310
7.2.2	Codage perceptif, enlever l'in audible	310
7.2.3	Les bases du codage	311
7.2.4	Bases de psychoacoustique	313
7.2.5	Modèles psychoacoustiques	315

7.3	Qualité subjective	321
7.3.1	Méthodes d'évaluation perceptuelle	322
7.3.2	Mesures perceptuelles	325
7.3.3	Considérations pratiques	325
7.3.4	Comparaison de codage	326
7.3.5	Artefacts typiques de codage	326
7.3.6	Codage en cascade	326
7.3.7	Canaux discrets et canaux matricés	327
7.4	Codage sans pertes	327
7.4.1	PCM	327
7.4.2	Lossless	327
7.4.3	DSD	328
7.5	Codages perceptifs	328
7.5.1	Famille MPEG Audio	328
7.5.2	Famille Dolby	332
7.5.3	Famille DTS	339
7.5.4	Sony ATRAC et SDDS	341
7.5.5	Auro-3D Octopus codec	341
7.5.6	Codages libres de droit	342
7.5.7	Évolution du codage	342
7.5.8	Droit et protections	342
7.5.9	Vidéo et audio	343
7.5.10	Supports physiques	345
7.5.11	Diffusion	351
—— CHAPITRE 8 – EXPLOITATION SON BROADCAST, SUPPORTS, NOUVEAUX MÉDIAS ——		359
8.1	La chaîne d'exploitation Broadcast	360
8.1.1	Synoptique du signal depuis la captation à la diffusion	360
8.1.2	Dolby Surround	361
8.1.3	Les metadata Dolby	361
8.1.4	Les metadata AAC	369
8.1.5	Metadata DTS	371
8.1.6	Intégration des encodeurs Dolby E	372
8.1.7	DM100, vérification de la bonne synchronisation des trames Dolby E et vidéo	374
8.1.8	Utilisation du DP570, metadata Dolby	374
8.1.9	Encodage/décodage Dolby Digital, Dolby Digital Plus, Dolby Pulse	380
8.1.10	Solutions Logiciels	380

8.2	Mesure du loudness	380
8.2.1	Principe, mesure Dolby	380
8.2.2	Recommandation ITU BS 1770-1	381
8.2.3	Loudness EBU R128 Europe, recommandation ITU BS 1770-3	383
8.3	Normes françaises PAD TVHD	385
8.3.1	Mesure des niveaux	386
8.3.2	Anciennes normes françaises PAD CST RT16, CST RT17 v2, CST RT19	387
8.3.3	Norme européenne actuelle EBU R128	387
8.3.4	Normes françaises PAD R128 2011 CST RT-17-TV version V3	392
8.3.5	Gestion du loudness des différents flux à la diffusion	399
8.4	Exploitation des outils de traitement broadcast 5.1	401
8.4.1	Traitement du Loudness et de la dynamique 5.1	401
8.4.2	« Upmixeurs »	402
8.4.3	Encodage Dolby D, Dolby D +, Dolby pulse et gestion des metadata	405
8.5	Exploitation des formats DTS	406
8.5.1	DTS Neural	406
8.5.2	Exploitation des formats DTS pour le support	406
8.6	Diffusion 5.1 et binaural pour les nouveaux médias	406
8.6.1	Quelques recommandations	407
8.6.2	Les codecs	407
8.6.3	Les lecteurs compatibles 5.1	410
8.6.4	Les lecteurs compatibles 5.1, 3D et binaural	411
<hr/>		
CONCLUSION		413
<hr/>		
BIBLIOGRAPHIE		415
<hr/>		
INDEX		417

À propos des auteurs

Les auteurs

Bergame Périaux

Bergame Périaux est diplômé du Conservatoire National Supérieur de Musique de Paris, de la Formation Supérieure aux Métiers du Son. Il rentre à l'INA en 2001, au département Formation Son. Il travaille en parallèle sur des productions musicales pour le CD, le DVD et la télévision. Il crée, au sein de la formation professionnelle son, la filière Multicanal dans laquelle il anime des formations pour les ingénieurs du son de Radio France, France Télévisions, France Media Monde, Arte, AMP VISUAL TV, Euromedia, Canal Plus, Eurosport, Technicolor, GTHP et de nombreux intermittents du spectacle.

En 2006, il fonde la société de production Bmusic Productions, spécialisée dans la captation, le mixage, l'édition sonore musicale et le consulting pour la gestion de projets son 3D et binaural.

Il communique sur l'actualité du son multicanal sur son blog www.lesonmulticanal.com.

Jean-Luc Ohl

Ingénieur ENSEA, diplômé en acoustique et bricoleur audio, Jean-Luc Ohl a participé aux technologies numériques liées à l'audiovisuel, dans le monde professionnel comme dans les produits grand public.

D'abord chef de produit « numérique » du groupe Thomson au lancement du Compact-Disc, il a pris une part active à l'authoring des premiers DVD produits en France. Ayant aussi assuré la direction générale de Revox-France, il œuvre maintenant pour la société 44.1, présente dans le Broadcast et le Cinéma, et a également une activité de consultant.

Un de ses passe-temps favoris est de programmer des logiciels liés à la psychoacoustique. Pour plus de détails, voir son site www.ohl.to.

Patrick Thévenot

Passionné depuis toujours par le son et diplômé de l'École Centrale de l'Électronique, du CNAM et de l'École Nationale Supérieure Louis Lumière, Patrick Thévenot a été responsable du laboratoire d'acoustique à l'INA. Il est co-fondateur de la société A2t et concepteur de la marque. Membre du comité de normalisation de l'AES, il est l'auteur de conférences et de nombreux articles dans des revues spécialisées.

Il partage actuellement son temps entre des activités d'ingénierie systémique au sein du bureau d'étude Taylor Made System tout en conservant son poste de formateur à l'INA.

Plus récemment, il est à l'origine de la marque d'enceintes Prosodia dont la finalité est d'associer neutralité et musicalité.

Spécialisé en psycho-acoustique, il évolue entre art et science grâce à son approche globale et systémique du son. Son but dans cet ouvrage est de permettre à l'ingénieur du son d'acquérir une vision claire et scientifique de l'écoute multicanal, en relation avec son vécu auditif et professionnel.

Avec la participation de...

Ont collaboré à cet ouvrage, dans l'ordre alphabétique :

Vincent Arnardi, mixeur film ; Philippe Barbeau et Martine Todisco, preneurs de son pour le documentaire animalier ; Etienne Corteel, Sonic Emotion ; Arnaud Damien, Euphonia ; Hervé Déjardin, responsable R&D sur le multicanal, Radio France ; Thierry Dilger, designer sonore ; Thierry Le Bon, mixeur film ; Bernard Lagnel, preneur de son Radio France ; Guillaume Le Dû, ingénieur du son, Radio France ; Didier Lozahic, mixeur film ; Vincent Magnier, preneur de son à l'image ; Rozenn Nicol, ingénieur, son 3D Orange Labs ; Gaël Nicolas, monteur son film ; Cyrille Richard, monteur son film ; Guy Senaux, ingénieur du son, Radio France ; Daniel Teruggi, directeur de la recherche, INA.

Remerciements

L'écriture de ces pages a été motivée par l'ambition et la passion de chaque contributeur, dont mes co-auteurs Patrick Thévenot et Jean-Luc Ohl et de nombreux collaborateurs professionnels.

Mes remerciements s'adressent à :

- Mike Williams et Guillaume Le Dû qui ont transmis généreusement leurs savoirs et leurs pratiques sur le MMAD ;
- Guy Senaux pour sa contribution sur les documentaires, reportages et fictions de Radio France en multicanal ;
- Vincent Magnier qui a collaboré sur la prise de son à l'image ;
- Les mixeurs film Vincent Arnardi, Thierry Le Bon et Didier Lozahic qui ont apporté leurs bonnes pratiques en mixage et leurs points de vue ;
- Philippe Barbeau et Martine Todisco pour ce petit voyage en plein documentaire animalier ;
- Rozenn Nicol qui a généreusement communiqué son savoir sur le binaural et sur la perception auditive ;
- Hervé Déjardin pour sa contribution sur le reportage Interception et les échanges fructueux sur l'évolution du multicanal à Radio France ;
- Bernard Lagnel pour sa générosité et le partage de ses brillantes expérimentations sur le multicanal et le binaural ;
- Thierry Dilger pour sa collaboration sur la partie création sonore, interactivité et sur l'analyse sonore des jeux vidéo ;
- Matthieu Parmentier pour la communication des avancées conséquentes sur les nouvelles technologies de la R&D à France Télévisions ;
- Jérôme Bordier pour la communication sur les avancées d'Eurosport sur la production de programmes sport en 5.1 ;
- Gaël Nicolas pour sa collaboration sur la prise de son multicanal au Soundfield ;
- Bernard Fouquet pour les discussions et le partage sur les normes de codage et de diffusion ;

- Trinnov Audio pour le partage de leurs avancées technologiques sur l'audio 3D et la haute résolution spatiale ;
- Daniel Dal Pio Luogo pour son éclairage sur l'exploitation des formats Dolby ;
- Étienne Corteel et Arnaud Damien pour leur collaboration sur l'exploitation de la WFS ;
- Cyrille Richard pour sa collaboration sur la partie montage son pour le film ;
- Florian Camerer qui a rédigé la préface ;
- l'équipe de l'INA qui a soutenu le projet et Daniel Teruggi pour sa collaboration sur le GRM, l'acousmatique et l'acousmonium ;
- les éditions Dunod, et en particulier Jean-Baptiste Gugès pour avoir soutenu le projet.

Sigles, termes techniques, conventions

Un certain nombre de sigles ou termes techniques sont utilisés par les auteurs, certains se traduisent difficilement de l'anglais vers le français et sont généralement exploités tels quels. En voici la liste et la définition.

Principaux canaux de mixage et de diffusion multicanal

- L ou FL** : Left ou Front Left, canal frontal gauche
- Lc** : Left Center, canal frontal centre gauche
- C ou FC** : Center ou Front Center, canal frontal centre
- RC** : Right Center, canal frontal centre droite
- R ou FR** : Right ou Front Right, canal frontal droite
- Ls ou SL** : Left Surround, canal surround gauche
- Rs ou SR** : Right Surround, canal surround droite
- Lfe ou LFE** : Low Frequency effect, canal d'effet basse fréquence
- Lss** : Left Side Surround, canal latéral gauche
- Rss** : Right Side Surround, canal latéral droite
- BSL** : Back Surround Left, canal arrière gauche
- BSR** : Back Surround Right, canal arrière droite
- CS** : Center Surround, canal arrière centre
- Sub, Sub Bass ou Subwoofer** : caisson de grave

Formats de mixage ou de prise de son usuels

5.1 : L, C, R, Ls, Rs, Lfe

5.0 : L, C, R, Ls, Rs

4.0 : L, R, Ls, Rs appelé format quad

3.0 : L, C, R

2.0 : L, R

Downmix, downmixer : opération de fabrication d'un format inférieur à partir d'un format supérieur. On utilise généralement ce terme pour fabriquer un format stéréo ou mono depuis un format 5.1

Upmix, upmixer : opération inverse de fabrication d'un format supérieur à partir d'un format inférieur. On fabrique généralement une version 5.1 à partir d'un format stéréo ou mono

Pan-pot, pan, panner, pan-poter : opération de spatialisation d'une source utilisant le panoramique lors du mixage

Monitoring, monitorer : écoute, contrôler à l'écoute

Manager multicanal : outil de gestion des canaux d'une piste multicanal

Stem : prémix

Channel oriented : contenu audio directement envoyé vers les enceintes (*speaker oriented*), mixage lié à un format de diffusion

Object oriented, objet : contenu audio + métadonnées de localisation, indépendant du système de diffusion

Scene oriented : contenu audio type ambisonique contenant l'information directionnelle du champ sonore

Bed : mixage traditionnel type 5.1, 7.1, 9.1 orienté channel, mixage constituant la base principale du contenu audio (« Mix core »)

Routing, router : fonction d'acheminement des différents bus ou canaux du multicanal

Hard center : centre physique porté par l'enceinte centrale seule

Sweet spot : point de convergence du système d'écoute, en multicanal ITU le centre du cercle d'écoute

Link, linké : on utilise le terme « link » pour indiquer que des pistes sont reliées entre elles

F/A : rapport frontal/arrière

CD/CR : rapport champ direct sur champ réverbéré

Son direct : ce terme a plusieurs sens suivant son contexte ; dans le contexte de l'acoustique des salles, il caractérise un son sans réverbération, il est opposé au son réverbéré et définit aussi, dans le contexte du film, le son enregistré en direct lors du tournage

Binaural : le terme désigne l'écoute spatialisée au casque bien que la définition exacte du mot binaural soit « ayant trait aux deux oreilles »

Introduction

Cet ouvrage est né d'une véritable passion pour la spatialisation du son que l'auteur principal exploite en production et enseigne depuis ses premières écoutes en 5.1. À chaque nouvelle écoute, les sensations d'espace en multicanal sont étonnantes de réalisme ou de créativité. Soit on reproduit la réalité sonore, soit on crée un univers imaginaire, les deux approches étant riches d'émotions.

L'envie a été de s'entourer de co-auteurs experts dans leurs domaines et de collaborateurs professionnels preneurs de son, mixeurs, monteurs son, réalisateurs, ingénieurs pour la recherche... Cette collaboration est bien sûr d'une grande richesse et fait de ce travail un partage et la réunion de points de vue différents et complémentaires.

Ces pages abordent principalement l'exploitation du son multicanal au format 5.1 pour différentes applications, le film, la TVHD, la radio, la musique, le jeu vidéo, la scénographie, sur des aspects techniques et artistiques. Comment l'histoire d'un tel format s'est-elle construite ? Quels en sont les intérêts, les vecteurs ? Quelles techniques de spatialisation trouve-t-on ? Quelles sont les règles qui dirigent l'écriture, la réalisation et qui constituent le langage de ces nouvelles images sonores ?

Cet ouvrage s'adresse aux professionnels en exploitation autant qu'aux étudiants en son. La lecture peut se faire à différents niveaux, le lecteur peut approfondir une technique de prise de son particulière, comme il peut souhaiter simplement comprendre les intérêts de produire un son spatialisé ou tout simplement écouter des extraits sonores en 5.1 ou en binaural.

À chaque début de chapitre sont exposés les points essentiels du contenu, ces informations servent à guider le lecteur. Les principes sont développés dans chacun des chapitres et souvent illustrés par des schémas, des photographies, des expériences, des points de vue et des interviews de professionnels. Certains contenus complémentaires ou plus spécifiques sont mis en ligne et accessibles gratuitement sur le site www.dunod.com et sont signalés tout au long de l'ouvrage. Ces extraits sont également disponibles sur le site www.lesonmulticanal.com. L'écoute d'extraits sonores est sans aucun doute un des points forts de cet ouvrage. Ce sont des sons au format 5.1 ou en binaural qui donnent des références indispensables à l'apprentissage de ce nouveau mode d'écoute. Le lecteur trouvera aussi dans la partie web une session Pro Tools test faisant référence

au chapitre sur le système d'écoute. Cet outil permet à un exploitant de diagnostiquer une écoute 5.1 ITU sans aucune mesure acoustique.

Le contenu est divisé en huit chapitres, le premier introduit les généralités et l'historique. Il définit les intérêts du multicanal, ses vecteurs, les différents marchés et présente les nombreux formats d'exploitation. Le deuxième chapitre aborde le dispositif 5.1 ITU et l'écoute cinéma, les normes, la calibration et ouvre vers d'autres systèmes plus évolués en 3D ou d'autres technologies de diffusion comme la WFS (Wave Field Synthesis). Le chapitre 3 explore les données psychoacoustiques liées au multicanal, il pose ainsi les bases théoriques nécessaires à l'analyse de l'image sonore et à la compréhension des concepts de la prise de son et de mixage. Le chapitre 4 fait l'analyse de l'image sonore avec la présentation des différents critères, il traite aussi de l'esthétique et de la réalisation des contenus spatialisés. Le chapitre 5 expose le principe de la prise de son multicanal, les différents systèmes utilisés ainsi que le cas particulier de la prise de son binaurale, il est illustré par le retour d'expériences de preneurs de son. Le chapitre 6 aborde la postproduction : les concepts de montage son pour le film, les outils de mixage 5.1 et quelques méthodes de travail sont exposés. Ce chapitre est illustré par le retour d'expérimentations de mixeurs professionnels et l'analyse d'œuvres mixées en 5.1. Un aparté est fait sur la synthèse binaurale et l'interactivité dans le son. Le chapitre 7 étudie les différentes familles de codage, Dolby, DTS, AAC, les différents supports du multicanal ainsi que les différents modes de diffusion. Enfin, le chapitre 8 aborde la chaîne de production broadcast multicanal, la gestion des metadata, la mesure du loudness et ouvre vers l'exploitation du 5.1 et du binaural pour les nouveaux médias.

Chapitre 1

Généralités

L'espace est une invitation au voyage

POINTS ESSENTIELS

- Les différentes façons d'écouter un son.
- Le multicanal : historique, intérêts, vecteurs, problématiques.
- Les différentes techniques de spatialisation : stéréophonie, ambisonie, WFS, objets, binaural.
- Les formats du multicanal.
- État des lieux, étude des marchés du multicanal, statistiques.

Dans ce premier chapitre sont exposées les généralités du multicanal. Elles permettent de situer le contexte de la spatialisation et de poser les questions essentielles sur la fabrication du son. Comment l'historique s'est-il fait depuis les premières expérimentations ? Quelles sont les différentes technologies utilisées pour spatialiser le son ? Quels sont les intérêts de produire en son multicanal ? Quels sont les marchés et les vecteurs ? Comment diffuse-t-on ce type de son ? Quelles sont les nouvelles problématiques d'exploitation ? Enfin quels sont les différents formats du multicanal ?

1.1 Écouter

Lorsque l'auditeur écoute, il s'applique à entendre un son.

Il existe aujourd'hui différentes façons d'écouter le son : on peut s'informer ou se divertir. Ces deux modes d'écoute sollicitent une attention auditive très variable, motivée par une attente chez l'auditeur et des émotions recherchées très différentes. Le multicanal peut alors se définir par la recherche d'émotions plus, fortes passant par l'auditif.

L'écoute du bulletin d'information à la radio, ou à la télévision, demande une bonne intelligibilité de la parole. Le spectateur peut être mobile, suivre les reportages qui l'intéressent le plus, ignorer les autres, dans ce cas une construction d'image sonore n'est pas recherchée : une image monophonique ou stéréophonique est le format le plus adapté. L'écoute d'une émission télévisée ou radiophonique peut demander une plus grande attention auditive. Dans ce cas le spectateur souhaite suivre l'intégralité du programme mais il peut l'écouter avec un certain recul, en faisant une autre activité. Il peut se déplacer et modifier son point d'écoute, la réception du signal ne sera pas alternée et dans ce cas la construction spatiale de l'image sonore sera peu exploitée.

L'écoute 5.1 sur home-cinéma d'un concert, d'un événement sportif, d'un documentaire ou d'un film suscite une plus grande attention auditive du spectateur. Ce dernier est généralement immobile, centré devant l'image de son écran de TV, en attente d'un spectacle pour lequel la construction de l'image sonore présente un intérêt. Le spectateur apprécie la spatialisation du son, mais celle-ci n'est pas indispensable.

Le dernier degré d'écoute implique davantage l'auditeur. C'est par exemple le cas de la diffusion en salle d'un film. Les différents canaux améliorent l'intelligibilité du son pour tous les spectateurs et renforcent particulièrement le rapport du son à l'image. D'autres contenus denses, comme la musique contemporaine, s'écoulent plus naturellement en 5.1 qu'en stéréo, certains contenus s'écrivent même directement avec l'espace, comme la musique acousmatique. Dans un jeu vidéo le joueur s'identifie au personnage grâce à la spatialisation, cette dernière décuple les sensations réalistes de situation et de déplacement. On trouve généralement dans ces contenus des séquences sonores qui enveloppent l'auditeur. Dans ce cas, la spatialisation du son fait partie de l'écriture de l'œuvre.

1.2 Historique

L'historique du multicanal nous renvoie à soixante-quinze ans d'expérimentations, depuis les expériences de Disney en 1940, jusqu'aux nouvelles technologies de spatialisation que nous connaissons aujourd'hui.

1.2.1 Cinéma

Le cinéma s'ouvre au multicanal à partir des premières expériences des ingénieurs de Disney en 1940, autour du film *Fantasia*. Le procédé utilisé est le Fantasound : le

film est sonorisé en cinq canaux à partir de trois canaux de production LCR. La diffusion était LCR derrière l'écran et LsRs en fond de salle, ce qui définit les bases de notre format 5.1. Entre 1946 et 1954, le cinéma connaît un déclin dû à l'arrivée de la télévision. Le nombre de spectateurs chute de moitié. De 1950 à 1970 s'enchaînent une multitude de procédés, entre autres le Cinérama et le Todd AO, précurseurs du format 7.1 SDDS, disposant cinq enceintes derrière l'écran, et le Cinémascope : un procédé en quatre canaux LCRS. Dans les années 1970 apparaît le procédé IMAX (Image Maximum) qui tend à développer la taille de l'image et l'angle de vision avec combinaison de projecteurs multiples pour les grandes salles. L'IMAX se décline en IMAX DOME (appelé initialement OMNIMAX), prévu pour la projection sur des écrans inclinés et en relief grâce à l'IMAX 3D. Ce dernier apporte un effet immersif. En 1974 apparaît le Subwoofer, avec notamment le procédé Sensurround, qui étend la bande passante de la diffusion dans le grave.

En 1976, ces différents procédés cèdent la place au Dolby Stereo qui, grâce à l'utilisation d'une matrice 4-2-4, permet de diffuser le mixage LCRS de l'époque à partir de deux canaux LtRt (Left total, Right total, voir chapitres 7 et 8). En 1976, *A star is Born* marque le début de la production des films en Dolby stereo. Ce sera le premier film sur pellicule 35 mm utilisant ce procédé. Par la suite, un certain nombre d'améliorations font évoluer le mode de diffusion : en 1977, le producteur de *Star Wars* souhaite renforcer la diffusion dans les graves avec Dolby pour mieux simuler les scènes de guerre dans l'espace et ajoute pour cela un canal dédié au Subwoofer appelé Lfe (Low Frequency Effect ou Baby Boom). En 1978, *Superman* est le premier film expérimentant des canaux surround stereo. Apparaît en 1983 la norme THX avec le *Retour du Jedi* : elle impose une norme pour le réglage son des salles de cinéma. Et en 1986, Dolby intègre à travers le procédé Dolby SR (Spectral Recording) son réducteur de bruit.

En 1987, une avancée importante : le dispositif 5.1 du cinéma est normé. L'année 1990 marque la sortie du centième film en Dolby Stereo SR, *Robocop 2*.

En 1992, Dolby révolutionne encore le rendu sonore au cinéma avec une version numérique du SR : le *Dolby SRD (Spectral Recording Digital)*. Le *Dolby SRD* ajoute sur la pellicule film, à côté des deux pistes analogiques *Dolby SR Lt Rt* toujours présentes pour garantir la compatibilité, un signal numérique AC-3 imprimé entre les perforations. Ainsi, on peut obtenir jusqu'à six canaux totalement discrets en configuration 3/2/1, le sixième canal correspondant au Lfe. Ce nouveau procédé numérique est inauguré la même année avec le *Retour de Batman*. En 1993, DTS et SONY se joignent à cette évolution numérique en proposant le DTS 5.1 et le SDDS 7.1 (le SDDS place cinq enceintes derrière l'écran). En 1996, environ quatre mille salles sont équipées en Dolby Digital, la même année, le Dolby Drive, système entièrement basé sur disque dur conçu pour remplacer à terme les défileurs 35 mm magnétiques perforés, est présenté à l'AES de Copenhague.

Nom	Année	Format Pellicule	Technologie	Codage Son	Format
Fantasound	1940	35 mm	3 pistes analogiques optiques		LCR
Cinérama	1952 à 1962	35 mm	7 pistes analogiques magnétiques		LLcCRcRLsRs
CinemaScope	1953 à 1967	35 mm	4 pistes analogiques magnétiques		LCRS
Todd-AO	1955 à 1992	70 mm	6 pistes analogiques magnétiques		LLcCRcRS
Dolby Stereo	1976 à 2006	35 mm	2 pistes analogiques matricées optiques	Dolby A	LCRS
Ultra Stereo	1984	35 mm	2 pistes analogiques matricées optiques		LCRS
Dolby Discrete 6 tracks	1976 à 2006	70 mm	6 pistes analogiques magnétiques	Dolby A	LLcCRcRS
Dolby « Baby Boom » 6 tracks	1977 à 2006	70 mm	6 pistes analogiques magnétiques	Dolby A	LCRLsRsLfe
Dolby « Split Surround » 6 tracks	1979 à 2006	70 mm	6 pistes analogiques magnétiques	Dolby A	LCRSLfe
Dolby Stereo SR	1986 à 2006	35 mm	2 pistes analogiques matricées optiques	Dolby SR	LCRS
Kodak CDS	1990 à 1991	35 mm 70 mm	6 canaux numériques optiques	Delta Modulation	LCRLsRsLfe
Dolby Digital	1992 à 2006	35 mm	6 canaux numériques optiques	AC3	LCRLsRsLfe
DTS	1993 à 2006	35 mm	6 canaux numériques optiques	DTS Coherent Acoustics	LCRLsRsLfe
SDDS	1993 à 2006	35 mm	6 canaux numériques optiques	ATRAC	LLcCRcRLsRsLfe

Figure 1.1 – Les différents procédés de diffusion son du cinéma sur pellicule 35 mm ou 70 mm. L'année 2006 marquant la fin du 35 mm avec l'arrivée du cinéma numérique.

En 1999, Star Wars, avec *La Menace fantôme*, fait de nouveau évoluer le format 5.1 en intégrant un canal centre arrière grâce au Dolby Digital Surround EX, procédé co-développé par Dolby et Lucas Film THX. DTS propose en 2000 l'équivalent avec son format DTS ES 7.1.