

LE LIVRE DES TECHNIQUES DU SON

TECHNOLOGIES

Collectif d'auteurs sous la direction de
J.-M. Denizart

LE LIVRE DES TECHNIQUES DU SON

TECHNOLOGIES

6^e édition

DUNOD

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).



Illustrations intérieures : Alain et Ursula Bouteville-Sanders
et Rachid Marai

© Dunod, 2002, 2012, 2017, 2023
11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com

© Éditions Fréquences, Paris, 1988, 1992 pour les deux premières éditions

ISBN 978-2-10-085197-3

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.

Coup de chapeau

Ce volume 2 du *Livre des techniques du son* traite des équipements ; sujet inépuisable dont la mouvance, liée à l'évolution des technologies, implique un recyclage permanent pour le professionnel soucieux de rester dans le coup. C'est précisément de ce point de vue que ce livre réalise un véritable tour de force !

Les auteurs ont gagné un pari difficile : donner au lecteur une masse d'informations sur les divers types d'appareils qu'il utilise dans son environnement professionnel sans pour autant qu'elle soit sujette à une obsolescence rapide. La lecture de cet ouvrage met en lumière le fait que si les outils évoluent dans leur forme, les principes fondamentaux auxquels ils obéissent demeurent. La connaissance et la compréhension de ces principes donnent à celui qui les possède le pouvoir de s'adapter et de comprendre. Disposer des éléments nécessaires à la traversée de la période technologique charnière que nous vivons est devenu pour le professionnel une nécessité vitale. Au-delà de l'évolution des équipements, ce livre introduit au changement des méthodes et permet à son lecteur d'aborder les systèmes présents et à venir en toute clarté. Il lui donne aussi l'aisance de celui qui maîtrise son sujet...

Utiliser quotidiennement un appareil sans connaître exactement les principes fondamentaux de son fonctionnement ou l'influence précise qu'il peut avoir sur le signal a quelque chose de « fondamentalement » déraisonnable.

Cet ouvrage va aussi permettre au professionnel soucieux de le rester, de mettre à jour ses connaissances car, en toute objectivité, qui peut prétendre ne pas avoir de lacunes sur un sujet aussi large... ?

Ce livre constitue en fait une sorte de vaste base de données, organisée de façon pratique, que le lecteur pourra consulter en tout ou partie. Il y trouvera aussi bien de quoi rafraîchir son *background* technique, que les éléments lui permettant de résoudre un problème ponctuel. Ceux qui avaient jusqu'ici utilisé les équipements audio de façon instinctive pourront y puiser l'essentiel de ce qu'ils doivent savoir pour aller encore plus loin et en obtenir des performances qu'ils ne soupçonnaient peut-être pas.

Les auteurs ont voulu faire utile... ils ont fait indispensable !

Philippe Folie-Dupart

Préface

Dans notre monde de communication et d'informations audiovisuelles, la qualité technique d'un message est un critère déterminant : perçue par le public tout d'abord comme un confort d'écoute, elle le rend aussi plus réceptif au contenu. Mais les critères de qualité sont toujours dépendants du type de message. On n'attend pas le même résultat d'un reportage pris sur le vif que d'une production disque réalisée en studio. La technologie employée est différente ainsi que les contraintes de prise de son et de diffusion.

Pour le professionnel, la qualité n'est pas une notion abstraite mais une pratique quotidienne ; plus que la réussite d'une manipulation technique, c'est un état d'esprit. Lors de l'écoute, son jugement de la qualité ne s'opère que par la gestion des défauts et des contraintes techniques. Le professionnel raisonne donc en facteur de gêne et attribue des coefficients à chaque défaut en fonction de l'incidence sur le résultat final. C'est à partir des différents effets qu'il devra rechercher les causes et établir un diagnostic précis afin de déterminer le domaine d'intervention.

À l'origine, c'est l'oreille le principal outil de détection, la référence mais aussi l'ultime appareil de contrôle. C'est en effet pour elle, et compte tenu de ses caractéristiques, que toute une technologie a été développée (application des lois de l'acoustique, de la mécanique..., des découvertes de l'électronique et aujourd'hui de l'informatique).

Néanmoins, l'oreille surpasse encore sur de nombreux points les possibilités de l'équipement : un traitement complexe au niveau du cerveau nous permet de sélectionner une source sonore et de l'isoler de l'environnement acoustique. D'autre part, dans le cas d'une mauvaise reproduction, l'oreille sait reconnaître un message alors que le timbre est altéré.

Nous voici alors proches de la préoccupation des musiciens concernant la qualité du timbre, ce trait d'union entre les artistes-interprètes et les preneurs de son. C'est par le timbre de sa voix ou de son instrument qu'un musicien exprime une certaine émotion. Il recherchera un timbre original et même si possible unique. Le technicien du son devra ensuite traduire ce message sonore en un signal électrique afin de pouvoir le transposer dans l'espace et dans le temps. La fidélité du système électro-acoustique et la rigueur du travail de l'ingénieur du son doivent permettre de retrouver intact le message initial. Le technicien recherche donc un équipement fiable et interchangeable, qui respecte les normes et les standards reconnus par les professionnels afin de toujours retrouver la même qualité.

Les recherches sur le numérique se heurtent à ce problème de standardisation. Puisse l'Europe, à l'image de l'accord sur le disque compact entre Philips et Sony, participer activement à une normalisation des supports audio numériques professionnels.

Dans sa recherche de la qualité, l'ingénieur du son doit éprouver sans cesse la technologie pour en conserver ce qu'elle a de meilleur. Son rôle est aussi de dialoguer avec les concepteurs afin que les futurs équipements soient les mieux appropriés. Il est l'interface entre les créateurs avec leurs besoins et les fabricants de matériel professionnel. Du bon choix de son équipement, de ses performances et de son état dépend le succès et l'aboutissement d'un art. Ainsi, il peut atteindre le résultat sonore qu'il ambitionne grâce à une cohésion parfaite avec sa console de mélange. Il peut même lui sembler que la qualité du son passe par ce contact physique.

C'est finalement cette passion qui sera le point de rencontre entre le preneur de son, le technicien de maintenance et le concepteur.

Ce deuxième volume du *Livre des techniques du son* consacré à la technologie est un espace privilégié où se rejoignent et se complètent les différents langages et concepts.

Face à un outil toujours plus performant et en pleine évolution technologique, la bonne connaissance du fonctionnement et des performances des équipements s'inscrit dans une continuité de la méthode de travail que le numérique ne fait que renforcer aujourd'hui.

*Pierre Lavoix*¹

1. Ancien responsable du Pool Son à Radio France.

Table des matières

AVANT-PROPOS	XXI
PRÉAMBULE	XXIII
CHAPITRE 1 – LES MICROPHONES	1
1.1 Fonctionnement des microphones	2
1.1.1 Transduction acoustique/mécanique	2
1.1.2 Transduction mécanique/électrique	10
1.1.3 Technologie des transducteurs mixtes	18
1.1.4 Microphones à deux capsules superposées	22
1.2 Caractéristiques des microphones	23
1.2.1 La dynamique : réponse pression acoustique/amplitude	23
1.2.2 Réponse amplitude/fréquence	27
1.2.3 Réponse directionnelle en champ diffus	33
1.2.4 Réponses parasites	35
1.3 « Interface » de sortie des microphones	40
1.3.1 Impédances d'un microphone	40
1.3.2 Liaison symétrique du micro à la chaîne électroacoustique	40
1.3.3 Alimentation des micros à condensateur	41
1.3.4 Les câbles de liaison	45
1.4 Systèmes microphoniques particuliers	46
1.4.1 Lentilles acoustiques	46
1.4.2 Suppression à proximité d'un réflecteur plan : microphones à zone de pression	51
1.4.3 Autres systèmes de transduction	53
1.4.4 Microphones à usage spécialisé	56
1.4.5 Les microphones « numériques »	67

1.5	Les accessoires	73
1.5.1	Les pieds de micro	73
1.5.2	Les pieds spéciaux : courts, girafes, sur socle...	73
1.5.3	Pied de micro motorisé	73
1.5.4	Les pinces et suspensions	74
1.5.5	Les mallettes	74
1.5.6	L'écran anti-réflexion	74
1.5.7	Les barres de couplage	75
1.6	Conclusion	76
1.7	Bibliographie	77
<hr/> CHAPITRE 2 – LES ENCEINTES ACOUSTIQUES <hr/>		79
2.1	Les haut-parleurs	80
2.1.1	Structure d'un transducteur électroacoustique	80
2.1.2	Terminologie	81
2.1.3	Principaux types de haut-parleurs	83
2.1.4	Principe de fonctionnement d'un haut-parleur électrodynamique	90
2.2	Les enceintes acoustiques	101
2.2.1	Directivité	102
2.2.2	Les filtres	106
2.3	Mesures et interprétations	109
2.3.1	Courbes de réponse	109
2.3.2	Sensibilité – Rendement	114
2.3.3	Tenue en puissance	115
2.3.4	Réponses temporelles	117
2.3.5	Réponse en phase	118
2.3.6	Polarité	119
2.3.7	Distorsions	120
2.3.8	Courbes d'impédance	121
2.4	Les utilisations professionnelles	122
2.4.1	Les différentes utilisations	122
2.4.2	Amplification	123
2.4.3	Corrections électroniques	124
2.4.4	L'enceinte et la salle	127
2.5	Mesures et contrôles en salle	130

2.6	Sélection d'une enceinte	131
2.6.1	Classification	131
2.6.2	Analyse des critères	132
2.6.3	Comparaisons subjectives	136
2.7	Entretien	138
2.8	Bibliographie	139

CHAPITRE 3 – LES CONSOLES

3.1	Introduction	141
3.2	Les technologies	142
3.2.1	Sous-ensembles	145
3.2.2	Les consoles analogiques	146
3.2.3	Les consoles numériques	147
3.3	Voie d'une console : la section d'entrée/sortie	151
3.3.1	La section d'entrée	151
3.3.2	Le niveau de travail interne	152
3.3.3	Le récepteur de ligne	152
3.3.4	Le préampli micro	156
3.3.5	L'alimentation fantôme	157
3.3.6	L'atténuateur d'entrée, le PAD	159
3.3.7	Le préampli ligne	159
3.3.8	Le convertisseur analogique/numérique (A/N)	159
3.3.9	Sélection d'entrée/sortie	159
3.4	Voie d'une console : le traitement interne	161
3.4.1	L'inverseur de phase	161
3.4.2	Les filtres	161
3.4.3	L'étage correcteur	162
3.4.4	Section « dynamique »	164
3.4.5	Les <i>plug-ins</i>	165
3.4.6	Surcharges	166
3.4.7	Le réglage du niveau de sortie de la voie	166
3.5	Voie d'une console : la sortie de la voie	168
3.5.1	La sortie directe de la voie	168
3.5.2	Le routing	169
3.5.3	La balance	169
3.5.4	Le panoramique	170
3.5.5	Pan film	172

3.6	La section de mélange de la console	175
3.6.1	Les généraux, le réseau de mélange	175
3.6.2	Groupe, sous-groupe et pré-mélange	176
3.6.3	L'étage de sortie	178
3.6.4	Synoptique d'une voie de console	178
3.7	Les fonctions audio complémentaires	178
3.7.1	Les accès internes à la console	178
3.7.2	La baie de brassage, le patch	183
3.7.3	Les retours d'effets	189
3.7.4	Les voies stéréo et autres voies	189
3.7.5	Les contrôles de la modulation	189
3.7.6	Le réseau d'ordres et de communication	195
3.7.7	L'oscillateur	196
3.8	3.8 L'assistance au mixage	196
3.8.1	Les liaisons <i>link</i>	196
3.8.2	Commande à distance	197
3.8.3	L'automatisation	200
3.9	L'ergonomie	214
3.9.1	Les consoles analogiques	214
3.9.2	Les différents concepts de consoles numériques	214
3.9.3	Mixage objet	217
3.10	Les consoles spécialisées	225
3.10.1	La console du studio multipiste	225
3.10.2	Les consoles de mixage film	232
3.10.3	Les consoles d'émission et de production	233
3.10.4	Les consoles de sonorisation	236
3.10.5	Les consoles d'enregistrement live et cinéma	238
3.10.6	Les STAN ou DAW (Stations de travail audio numérique ou <i>Digital Audio Workstations</i>)	239
3.10.7	Les consoles de repiquage	241
3.10.8	Les sommateurs analogiques	241
3.11	Conclusion	241
3.12	Bibliographie	243
<hr/> CHAPITRE 4 – LE TRAITEMENT DU SON <hr/>		245
4.1	Introduction	245
4.1.1	Les paramètres perceptifs	245
4.1.2	La chaîne de traitement	247

4.1.3	La modélisation du traitement	248
4.2	Traitements sur la dynamique	252
4.2.1	Définitions	252
4.2.2	Modification de la dynamique	255
4.2.3	Action sur l'enveloppe	272
4.2.4	Modification sélective de l'enveloppe	274
4.3	Traitements sur le spectre	275
4.3.1	Définitions	275
4.3.2	Filtres	276
4.3.3	Modifications non linéaires	279
4.3.4	Modifications dynamiques du spectre	286
4.4	Traitement sur le temps	289
4.4.1	Retards naturels et artificiels	289
4.4.2	Itération de retards : échos et réverbérations artificiels	292
4.4.3	Combinaisons de retards et modifications dynamiques	298
4.4.4	Stockage et reproduction en boucle	299
4.5	Le traitement par transformée de Fourier	300
4.5.1	Temps, fréquence et transformée de Fourier	300
4.5.2	Méthode générale de traitement à l'aide de la transformée de Fourier	306
4.5.3	La transformée de Fourier en pratique et le sonagramme	308
4.5.4	Quelques exemples de traitements	309
4.6	Le traitement par <i>plug-ins</i>	311
4.6.1	Historique	311
4.6.2	Principe de fonctionnement général d'un <i>plug-in</i>	313
4.6.3	Les principales extensions	315
4.6.4	Les principaux traitements en <i>plug-ins</i>	315
4.7	Conclusion	318
4.8	Bibliographie	319
— CHAPITRE 5 – LES SYSTÈMES D'ENREGISTREMENT ET LES RÉSEAUX AUDIO —		321
5.1	Introduction	321
5.2	La technologie d'enregistrement direct sur disque	321
5.2.1	Les débuts de l'enregistrement direct sur disque	322
5.2.2	Les disques durs HDD	325
5.2.3	Les disques statiques à semiconducteurs	330
5.2.4	SMART	333
5.2.5	Les fichiers audio	333

5.3	Les systèmes d'enregistrement	337
5.3.1	Les interfaces audionumériques	337
5.3.2	Les enregistreurs portatifs	338
5.3.3	Les enregistreurs de terrain	341
5.3.4	Les systèmes d'enregistrement intégrés ou compacts	346
5.3.5	Les enregistreurs audio rackables	347
5.3.6	Les enregistreurs audio réseau	348
5.4	L'infrastructure informatique	348
5.4.1	Le réseau	348
5.4.2	Les serveurs	354
5.4.3	Les machines hôtes	359
5.4.4	L'interface audio	364
5.4.5	Les systèmes d'exploitation	366
5.4.6	Latence et gigue (jitter)	372
5.4.7	Les stations audionumériques	375
5.4.8	Les architectures de stockage	382
5.4.9	Le câblage	391
5.4.10	La sécurité informatique	394
5.5	Les réseaux audio	395
5.5.1	Protocoles spécifiques à l'audio	396
5.5.2	Les précurseurs	397
5.5.3	Les standards audio	398
5.5.4	Les réseaux audio	401
5.6	Conclusion	407
5.7	Bibliographie	408
<hr/>		
CHAPITRE 6 – LA SYNCHRONISATION		409
6.1	Le synchronisme	409
6.1.1	Notions associées	409
6.1.2	Le synchronisme d'information	410
6.1.3	Le synchronisme de transmission	411
6.1.4	Temps réel	413
6.1.5	La transmission différée	414
6.1.6	Codage et transmission de l'information	417
6.1.7	La base de temps et l'horloge maître	422
6.1.8	Distribution de la référence	424

6.2	Le débit ou cadence d'images	426
6.2.1	Le film argentique	426
6.2.2	La télévision	427
6.2.3	L'audio-numérique	430
6.3	Décompte du temps, comptage des images et formats de code temporel	430
6.3.1	L'unité de temps et le système de comptage temporel	430
6.3.2	Temps codé versus durée réelle de programme	430
6.3.3	Débit de 24 i/s	431
6.3.4	Débit de 25 i/s	431
6.3.5	Débit de 30 i/s <i>non-drop</i> ou 30 i/s	432
6.3.6	Débit de 30 i/s <i>drop-frame</i>	432
6.3.7	Débit de 29,7 i/s <i>non-drop</i>	434
6.3.8	Calculs sur le temps codé <i>time code</i>	434
6.4	Marquage temporel et codage du temps	435
6.4.1	Les perforations du film et le biphasé	435
6.4.2	Fréquence de référence, la bande lisse	436
6.4.3	Le code temporel SMPTE/EBU	438
6.4.4	Le LTC (<i>Longitudinal Time Code</i>) ou code temporel « longitudinal »	439
6.4.5	Le VITC (<i>Vertical Interval Time Code</i>) ou code temporel « vertical »	445
6.4.6	Comparaisons des codes LTC et VITC	448
6.4.7	Le MTC : <i>MIDI Time Code</i>	449
6.5	Utilisation du code temporel	450
6.5.1	Modes de génération du code temporel	450
6.5.2	Visualisation	451
6.5.3	Calculs de base	452
6.5.4	Maître et esclaves	453
6.5.5	Décalage : <i>Offset</i>	454
6.6	Autres systèmes d'encodage temporel	455
6.6.1	Identification des images sur le film argentique	455
6.7	Pratique de la synchronisation d'éléments placés sur des supports séparés	459
6.7.1	La synchronisation des bandes magnétiques time codées non perforées	459
6.7.2	La synchronisation, les étapes	460
6.7.3	La synchronisation des bandes perforées : le film	465

6.7.4	Synchronisation de bandes perforées : le biphasé	469
6.7.5	La synchronisation de machines audio/vidéo	474
6.7.6	Mélange des modes : code temporel et biphasé	475
6.8	Évolution des synchroniseurs	476
6.8.1	Les protocoles de commande	476
6.8.2	Le maître virtuel	479
6.9	Conclusion	481
6.10	Bibliographie	482

———— CHAPITRE 7 – LES SOURCES ÉLECTRONIQUES ET LE MIDI ———— 483

7.1	Historique des sources électroniques	483
7.2	La synthèse analogique	485
7.2.1	La synthèse analogique soustractive	485
7.2.2	La synthèse additive	488
7.3	La synthèse numérique	489
7.3.1	La synthèse FM	489
7.3.2	La synthèse par lecture de tables d'ondes (Wavetable)	491
7.3.3	La lecture d'échantillons	492
7.3.4	La synthèse à distorsion de phase	492
7.3.5	La synthèse par modélisation physique	492
7.3.6	La synthèse granulaire	493
7.4	L'échantillonneur	493
7.4.1	Enregistrement des échantillons	495
7.4.2	Lecture des échantillons	495
7.4.3	Assignment des échantillons aux notes (mapping)	496
7.4.4	Traitements des échantillons	497
7.5	Les banques de sons, les <i>samplers</i> logiciels	498
7.6	Historique du MIDI	501
7.7	Caractéristiques de la liaison MIDI	502
7.7.1	Caractéristiques générales	502
7.7.2	Caractéristiques des connecteurs	503
7.7.3	Les réseaux MIDI	505
7.7.4	Les boîtiers de raccordement MIDI	508
7.8	Anatomie des messages MIDI	511
7.8.1	Le format des octets MIDI : statuts et données	511
7.8.2	La notion de destination : le canal MIDI	513
7.8.3	Les messages canaux	513
7.8.4	Les messages système	522

7.9	La charte d'implantation MIDI	530
7.9.1	Description générale	530
7.9.2	Les 12 lignes de la charte d'implantation MIDI	531
7.10	Les extensions à la norme MIDI originale	534
7.10.1	Le Sample Dump Standard (SDS)	534
7.10.2	Le MIDI Time Code (MTC)	535
7.10.3	Le MIDI Machine Control (MMC)	536
7.10.4	Le MIDI Show Control (MSC)	537
7.10.5	Les formats General MIDI et assimilés	537
7.10.6	La MPE (MIDI Polyphonic Expression)	539
7.11	Le MIDI 2.0	541
7.11.1	MIDI CI (Capability Inquiry)	542
7.11.2	Les messages MIDI 2.0	543
7.11.3	Les pionniers et l'avenir du MIDI 2.0	545
7.12	Les différents contrôleurs MIDI	545
7.12.1	Le clavier maître/de commande	546
7.12.2	Les pads MIDI	547
7.12.3	La batterie MIDI	547
7.12.4	Le saxophone MIDI	548
7.12.5	La MIDIfication d'instruments acoustiques	549
7.12.6	Les interfaces MIDI	551
7.12.7	Les surfaces de contrôle MIDI	553
7.12.8	Les séquenceurs MIDI	554
7.12.9	Les logiciels dérivés du MIDI	557
7.13	La synchronisation MIDI	559
7.13.1	La synchronisation MIDI/MIDI	559
7.13.2	Synchronisation d'une machine numérique	560
7.13.3	Le MIDI via USB	560
7.13.4	MIDI et plug-ins	561
7.14	Au-delà du MIDI	562
7.14.1	Le Web MIDI	562
7.14.2	Au-delà du MIDI : l'OSC	563
7.15	Conclusion	564
7.16	Bibliographie	565
<hr/>		
	CHAPITRE 8 – ANALOGIES	567
8.1	Définitions	568
8.2	Limite de représentation	569

8.3	Représentation scalaire et vectorielle	570
8.4	Topologie des réseaux	570
8.5	Couplages entre les domaines	571
8.5.1	Couplage électromécanique	571
8.5.2	Couplage mécano-acoustique	572
8.6	Schémas équivalents	573
8.6.1	Enceinte close	573
8.6.2	Enceinte bass reflex	574
8.7	Linéarisation des impédances	576
8.8	Application à l'acoustique architecturale	577
8.9	Conclusion	578
<hr/>		
ANNEXES		579
A.1	Code temporel. Tableau récapitulatif des codes LTC et VITC	579
A.2	Correspondances entre valeurs binaires décimales, hexadécimales et les notes MIDI	581
<hr/>		
INDEX		587

Collectif d'auteurs sous la direction de Jean-Michel Denizart

Jean-Michel Denizart

Enseignant-chercheur en Sciences de l'Information et de la Communication à l'UFR Ingémédia et au laboratoire IMSIC, docteur en études cinématographiques, responsable pédagogique de la licence professionnelle Techniques du Son et de l'Image (TSI) de l'Université de Toulon et ancien ingénieur du son.

Franck Ernould (chapitres 1 et 7)

Diplômé de l'ENS Louis-Lumière. Ingénieur du son, journaliste et traducteur technique audio.

Jacques Foret (chapitres 2 et 8)

Docteur en électroacoustique. Ingénieur conseil en acoustique. Professeur honoraire en acoustique et traitement du signal. Expert honoraire en acoustique.

Pol Simon (chapitres 3 et 6)

Ingénieur conseil. Directeur technique studios disque et auditoria film.

Alain Fromentel (chapitre 4)

Ingénieur diplômé Supélec. Directeur des enseignements de l'EFREI. Chargé d'enseignement à l'École Polytechnique.

Daniel Habault (chapitre 5)

Ancien ingénieur d'étude dans l'industrie aéronautique & directeur de CID-MA (Création, ingénierie, diffusion des musiques d'aujourd'hui).

Christian Braut (chapitre 7)

Ex-rédacteur en chef du magazine *Home-Studio*, auteur-compositeur-interprète, fondateur d'Archipel Studios.

Avant-propos

*À Charles Cros, Louis Lumière
Et tous ces inventeurs de génie*

Dans cette nouvelle édition du *Livre des techniques du son*, voici le volume sur les *Technologies*. Nous poursuivons avec Jean-Michel Denizart aux commandes cette évolution du livre pour toujours proposer le meilleur outil pour se former et s'informer sur le son et ses techniques.

Bien entendu ce volume s'inscrit dans une trilogie et en est un maillon essentiel puisque nous avons tous les jours recourt à des outils technologiques lorsque l'on fait du son, que ce soit à l'enregistrement, lors du montage, du mixage ou de la diffusion.

L'utilisation du matériel professionnel nécessite des connaissances de plus en plus vastes aussi bien sur le plan théorique que pratique. Du choix du microphone, de son bon usage à la mise en œuvre des *plug-ins* d'un logiciel récent... il y a tout un monde et c'est justement celui que nous découvrons page par page dans ce livre.

Les auteurs anciens et nouveaux, une nouvelle fois, se sont mobilisés pour faire en sorte que cet ouvrage soit toujours dans l'actualité du moment, et nous les en remercions. C'est le choix du collectif que nous avons fait qui permet ainsi de régulièrement pouvoir sortir une nouvelle édition remise à jour.

Notre souhait est donc le même depuis maintenant plus de trente cinq années, accompagner les étudiants et professionnels afin qu'ils puissent évoluer dans leur carrière avec toutes les chances de réussite.

Denis Mercier

Préambule

Avec cette nouvelle édition du volume dédié aux *Technologies*, je suis une nouvelle fois très fier de vous présenter le fruit de la collaboration du collectif d'auteurs qui a œuvré à la réactualisation de cet ouvrage. Or, une telle mission n'est jamais simple, car nous savons tous à quelle vitesse les technologies audio évoluent, offrant ainsi des outils toujours plus puissants et sophistiqués, mais aussi parfois difficiles à appréhender.

Comme pour les autres volumes, cette 6^e édition du *Livre des techniques du son* bénéficie d'une extension numérique. Il sera donc une nouvelle fois possible au lecteur de télécharger un certain nombre de contenus additionnels (par exemple, dans le chapitre 5 sur les systèmes d'enregistrement et les réseaux audio) et aussi d'accéder en ligne à d'anciens chapitres dont nous tenions à assurer la disponibilité. D'autres apports pourront également se faire dans le temps.

Nous sommes convaincus que cette nouvelle édition vous apportera les connaissances et vous permettra de développer les compétences nécessaires pour réussir dans le monde de l'audio professionnel. Il ne me reste plus qu'à vous souhaiter une agréable lecture et surtout d'excellents moments créatifs dans vos réalisations.

Jean-Michel Denizart

Chapitre 1

Les microphones

Franck Ernould

*Ingénieur du son, journaliste et traducteur technique audio
(Éditions précédentes rédigées par **Pierre Ley**)*

La prise de son professionnelle utilise des microphones de types très différents en fonction des nombreuses applications envisagées. Il n'existe pas de microphone « universel ».

Fondé sur l'expérience de l'ingénieur du son, le choix du ou des microphones est conditionné par de nombreux éléments :

- la source sonore et l'acoustique du lieu de captation ;
- la mise en œuvre du microphone :
 - en position fixe, en suivi de mouvement sur perche ou encore tenu à la main...
 - en utilisation visible ou bien hors du champ de vision (d'une caméra par exemple) ;
 - avec liaison filaire ou par haute fréquence...
- la recherche d'une esthétique prédéterminée par :
 - l'auteur, l'œuvre, le document, l'événement sonore...
 - l'interprète, le metteur en scène, le réalisateur...
 - le type de média, le format de diffusion...
- la technologie mise en œuvre :
 - analogique ou numérique...
 - monophonique, stéréophonique ou multicanal...

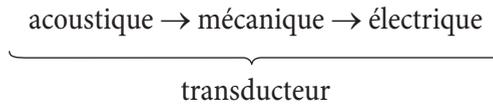
D'un cas de figure à un autre, le choix sera à reconsidérer, ce qui nécessite une bonne connaissance de la technologie des microphones et une certaine expérience de la prise de son.

1.1 Fonctionnement des microphones

Un microphone est un transducteur¹, qui convertit une énergie acoustique en une énergie électrique via une transformation mécanique.

Le processus s'opère en deux étapes qui se déroulent simultanément :

- les variations de pression de l'air provoquées par les ondes sonores mettent en vibration une fine membrane (ou diaphragme) ;
- les vibrations de cette membrane sont utilisées pour produire une tension électrique qui est le reflet analogique² des vibrations acoustiques.



1.1.1 Transduction acoustique/mécanique

Il s'agit plutôt d'un transfert d'énergie entre un fluide (très souvent l'air) et un solide – soit une mince feuille de métal ou de plastique [1, la *membrane* fixée sur un bâti inerte, le corps du microphone]. Cette membrane vibre sous l'action d'ondes acoustiques incidentes qui lui imposent une force F . À chaque instant, la valeur de cette force mécanique est le produit de la surface S de la membrane par la pression acoustique P « vue par cette membrane » :

$$F_{(\text{Newton})} = S_{(\text{m}^2)} \cdot P_{(\text{N/m}^2)}$$

Le mouvement engendré par cette force alternative est une oscillation et sa fréquence est celle de l'onde acoustique « d'excitation ». Pour produire une vibration mécanique sous l'action d'une onde acoustique, on peut faire travailler le système :

- *en pression* ; une seule face de la membrane est en contact avec l'onde de pression, l'autre face ferme une cavité définie par une enceinte (*figure 1.1*) ;
- *en gradient de pression* ; les deux faces sont en contact avec l'onde de pression et la force qui s'y exerce est due à la différence de pression (ou encore gradient de pression) entre chacune de ces deux faces (*figure 1.3*).

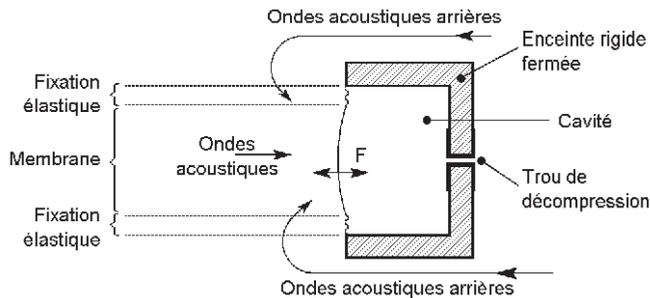
1. Transducteur : néologisme technique appliqué à tout système traduisant un type d'énergie en un autre type d'énergie. Le terme « transformateur » est réservé au langage électrique où l'énergie entrante et sortante reste du même type, mais avec changement de « format » ou changement de grandeur électrique.

2. Analogique dans le sens de ressemblant, ce qui est le cas du signal électrique dont la forme est proche de celle des variations de pression de l'onde sonore.

Dans le premier cas, la membrane « verra » une pression égale à la pression exercée par l'onde acoustique (à l'instant considéré), c'est un transducteur de pression. Dans le second cas, la membrane « verra » une pression égale à la différence de pression exercée sur ses deux faces : c'est un transducteur à gradient de pression.

◆ Transducteur de pression acoustique

Une onde acoustique se propageant dans le « champ acoustique » produit au cours de sa progression un déplacement oscillant des molécules d'air, le passage de l'onde se traduit donc par une variation rapide de pression d'air. Or, l'air comporte également une autre composante de pression : la pression atmosphérique. Par définition, notre capteur y est sensible aussi. Si la valeur de cette pression est peu variable, elle présente néanmoins des variations à long terme (variations barométriques). Celles-ci sont vues par le capteur comme une onde de pression à fréquence ultra faible, inaudible bien sûr mais se superposant aux vibrations rapides du champ acoustique. Il en résulte un déplacement inutile de la membrane perturbant le fonctionnement de son montage élastique. Pour supprimer cette composante quasi continue, les constructeurs de microphones à pression aménagent un petit trou dans l'enceinte rigide (*figure 1.1*). La pression atmosphérique s'équilibre alors des deux côtés de la membrane, annulant toute force à variation très lente sur celle-ci. Le diamètre de ce trou doit être suffisamment petit pour ne pas agir sur les fréquences les plus basses du domaine audible.



— Figure 1.1 – Principe d'un transducteur acoustico-mécanique de pression. —

On sait depuis Pascal, « qu'une pression exercée sur un fluide, l'air par exemple, se transmet intégralement, en tous sens et en tous points de ce fluide ». Une source sonore exerçant des ondes de pression dans l'air, entraînera un mouvement identique de la membrane et du capteur, quelle que soit son orientation par rapport au capteur, à condition toutefois que la distance source-capteur reste constante. Donc, le capteur de pression répondra de façon identique à toute source située sur un lieu géométrique sphérique dont il est le centre. Un capteur de pression est donc *omnidirectionnel*.

L'équation polaire d'un tel microphone est $E_p = 1$ car chaque point est équidistant du centre. Remarquons également que, en principe, la réponse d'un capteur de pression est indépendante de la fréquence.

En pratique, le corps du microphone constitue un obstacle à la progression des ondes de fréquence élevée (longueur d'onde courte). Ces ondes ont tendance à être amplifiées lorsqu'elles arrivent par-devant et atténuées lorsqu'elles viennent par l'arrière. Ceci a deux conséquences : le microphone devient directionnel et sa courbe de réponse est affectée. Les courbes évoluent dans le rapport $\frac{D}{\lambda}$ avec D le diamètre du micro et λ la longueur d'onde.

Ceci est d'autant plus important quand D est grand (capsule large) et λ petit (fréquence très élevée).

Cela nous donne l'allure générale du diagramme polaire omnidirectionnel pour les fréquences basses et directionnel pour les fréquences élevées (figure 1.2).

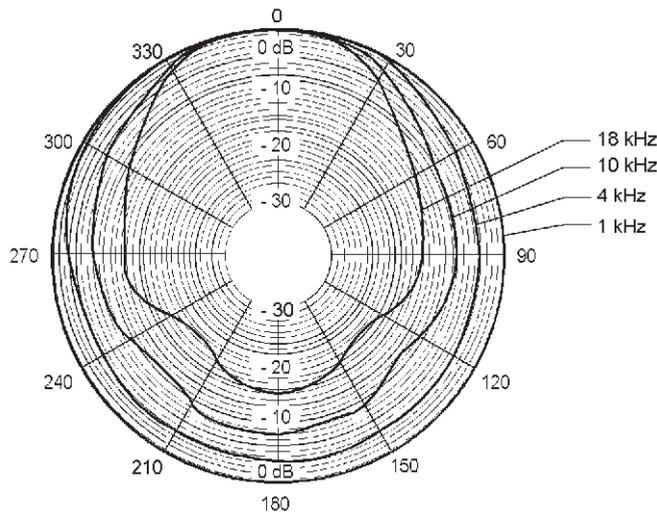


Figure 1.2 – Diagramme polaire d'un microphone à pression.
Pour les fréquences élevées, un microphone omnidirectionnel tend à devenir directionnel.

◆ Transducteur de gradient de pression

La membrane d'un transducteur de gradient de pression fonctionne à « l'air libre ». Il n'y a donc pas de cavité. La membrane peut par exemple être tendue sur une armature en anneau (figure 1.3).

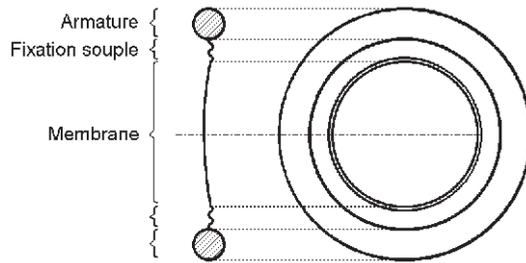


Figure 1.3 – Représentation de principe d'un transducteur acoustico-mécanique à gradient de pression.

L'onde sonore parcourt le chemin d pour atteindre l'avant de la membrane et d' pour l'arrière de celle-ci.

Une onde issue d'une source sonore placée devant le micro créera une pression sur la face antérieure de la membrane (figure 1.4a).

Il en est de même pour une source placée derrière dont l'onde rencontrera la face postérieure de la membrane (figure 1.4c).

Par contre, une source sonore située perpendiculairement à la membrane rencontrera en même temps, les faces avant et arrière de la membrane ($d = d'$), parce qu'ayant fait le même chemin. Les pressions s'équilibrent et la membrane reste immobile (figure 1.4b).

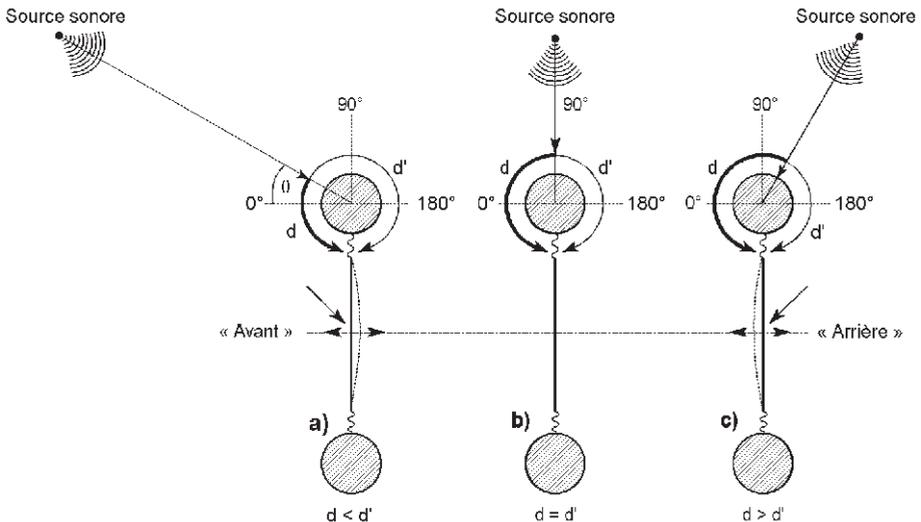


Figure 1.4 – Coupe perpendiculaire au plan de la membrane d'un transducteur à gradient de pression. Selon la direction de l'onde acoustique en provenance de la source sonore, le gradient de pression et la force F exercée sur la membrane qui en résulte varie comme Δd .

On en déduit immédiatement qu'un microphone à gradient de pression aura un diagramme polaire en « 8 », il sera dit *bidirectionnel*, l'atténuation latérale est maximale.

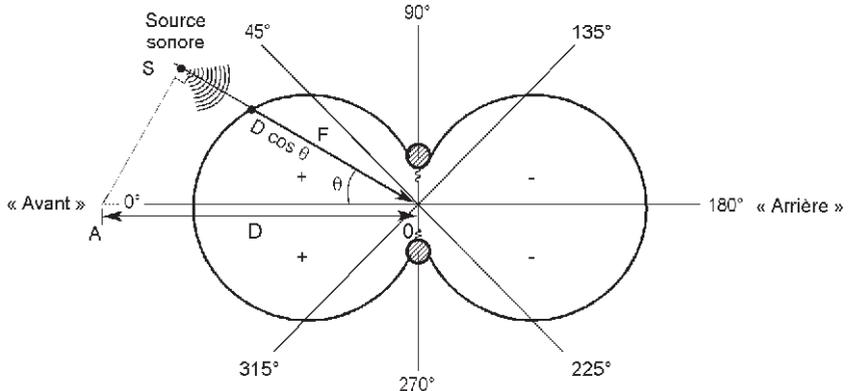


Figure 1.5 – Le transducteur à gradient de pression voit une force F s'exercer sur sa membrane qui varie quantitativement (longueur de F) avec la direction d'incidence de l'onde de pression acoustique.

La courbe peut être obtenue en calculant la distance réelle en fonction de l'incidence θ . En effet, sur la *figure 1.5*, nous voyons que la distance OS est égale à $D \cos \theta$. Les valeurs de $\cos \theta$ passent de -1 à 1 et nous donnent bien un diagramme polaire d'équation $E_{gp} = \cos \theta$.

Un microphone à gradient de pression est facile à reconnaître car son corps présente des ouvertures. Les ondes avant rencontrent la face antérieure de la membrane puis utilisent ces orifices et, après avoir fait le tour de l'armature, parviennent sur la face postérieure de la membrane avec un léger retard Δt proportionnel au chemin ΔD supplémentaire parcouru par l'onde (*figure 1.6a*). Ceci introduit un déphasage entre onde avant et onde arrière. Une onde avant provoque le déplacement de la membrane dans un sens alors qu'une onde arrière provoque le déplacement de la membrane dans le sens opposé, ce qui est rappelé dans la *figure 1.5* par les signes (+) et (-).

La force qui s'exerce sur la membrane dépend de la différence de pression entre l'avant et arrière.

Cette différence est inversement proportionnelle à la longueur d'onde λ . En effet, pour une même pression de l'onde incidente et pour une distance donnée ΔD , la pression varie peu dans le cas d'une grande longueur d'onde et beaucoup dans le cas d'une petite longueur d'onde (*figure 1.6b*).