

Collectif d'auteurs sous la direction de  
**D. Mercier**

# Le livre des techniques du son

**La technologie**

*Tome 2*

***5<sup>e</sup> 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<sup>er</sup> juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autori-

sation 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).



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

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

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

ISBN 978-2-10-076159-3

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 tome 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 second tome 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*<sup>1</sup>

---

1. Ancien responsable du Pool Son à Radio France.

# Table des matières

AVANT-PROPOS XIII

CHAPITRE 1 – INTRODUCTION À LA TECHNOLOGIE AUDIOFRÉQUENCE 1

Avertissement	1
1.1 Expressions de la mesure du signal audiofréquence analogique	2
1.1.1 Niveau du signal	2
1.1.2 Rapports d'amplification et d'atténuation	3
1.1.3 Rapports de tension exprimés en décibels	3
1.1.4 Niveau du signal exprimé en décibels	4
1.1.5 Niveau maximum et niveau de bruit d'un équipement	8
1.1.6 Dynamique d'une modulation	8
1.1.7 Niveau nominal	9
1.1.8 Niveaux des sorties lignes et réserve utile	10
1.1.9 Contrôle de la modulation et facteur de crête	11
1.1.10 Indicateurs de niveau de modulation – Généralités	12
1.2 Mesures électriques des quadripôles audiofréquences analogiques	18
1.2.1 Généralités	18
1.2.2 Gain	19
1.2.3 Courbe de réponse	19
1.2.4 Bruit de fond	21
1.2.5 Expressions du bruit de fond	23
1.2.6 Distorsions de non-linéarité	26
1.2.7 Distorsion de phase	28
1.2.8 Indicateurs de phase en stéréophonie	30
1.3 Étude des diagrammes de niveaux d'une chaîne audiofréquence analogique	31
1.4 Les conversions analogique/numérique	37
1.4.1 Préambule	38
1.4.2 La conversion PCM	38

1.4.3	La conversion à suréchantillonnage	40
1.4.4	La conversion sigma-delta	41
1.4.5	Alignement du 0 dB <i>Full Scale</i> (0 dBFS)	42
1.4.6	Performances des conversions analogique/numérique	44
1.5	Les conversions numérique/analogique	46
1.5.1	Préambule	46
1.5.2	La conversion PCM	46
1.5.3	La conversion à suréchantillonnage	46
1.5.4	La conversion sigma-delta	47
1.5.5	Alignement du 0 dB <i>Full Scale</i> (0 dBFS)	47
1.5.6	Performances des conversions numérique/analogique	47
1.6	Les traitements numériques et le contrôle	48
1.6.1	Introduction	48
1.6.2	Les conversions numérique/numérique	48
1.6.3	Les bus à virgule fixe et à virgule flottante	49
1.6.4	Le <i>Loudness</i> et le <i>True Peak</i>	49
1.7	Le transport des signaux audionumériques	54
1.7.1	Introduction	54
1.7.2	Latence & gigue ( <i>jitter</i> )	54
1.7.3	Le transport d'un signal suivant les normes AES 3 / AES 3Id et SPDIF	55
1.7.4	L'ADAT et le TDIF	58
1.7.5	L'audio « encapsulé »	59
1.7.6	Le transport de signaux suivant la norme de multiplexage AES 10	61
1.7.7	Le transport de signaux sur réseaux informatiques	61
1.7.8	Le câblage en audionumérique	61
1.8	Les systèmes de réduction de débit	62
1.8.1	Les nouvelles nécessités	62
1.8.2	Le principe	63
1.8.3	Les applications	64
1.9	La synchronisation des systèmes numériques	64
1.9.1	La nécessité de synchroniser deux systèmes audionumériques	64
1.9.2	Les synchro maître-esclave	65
1.9.3	Les générateurs de synchro	65
1.9.4	Les différents types de synchro	65
1.10	Précautions d'emploi	66
1.10.1	La suppression des « cascades »	66
1.10.2	L'utilisation de <i>dither</i> , <i>noise shaping</i> ou UV22 pour éviter les effets de troncature	66



1.10.3	La réduction du <i>jitter</i> pour diminuer la distorsion	67
1.10.4	La suppression des conversions de fréquences d'échantillonnage	67
1.10.5	La résolution des problèmes de temps de transfert	68
1.11	Conclusion	68
1.12	Bibliographie : normes et publications techniques	69

---

## CHAPITRE 2 – LES MICROPHONES

---

2.1	Fonctionnement des microphones	72
2.1.1	Transduction acoustique/mécanique	72
2.1.2	Transduction mécanique/électrique	80
2.1.3	Technologie des transducteurs mixtes	88
2.2	Caractéristiques des microphones	92
2.2.1	La dynamique : réponse pression acoustique/amplitude	92
2.2.2	Réponse amplitude/fréquence	96
2.2.3	Réponse directionnelle en champ diffus	102
2.2.4	Réponses parasites	104
2.3	« Interface » de sortie des microphones	109
2.3.1	Impédances d'un microphone	109
2.3.2	Liaison symétrique du micro à la chaîne électroacoustique	109
2.3.3	Alimentation des micros à condensateur	110
2.3.4	Les câbles de liaison	114
2.4	Systèmes microphoniques particuliers	115
2.4.1	Lentilles acoustiques	115
2.4.2	Suppression à proximité d'un réflecteur plan : microphones à zone de pression	120
2.4.3	Autres systèmes de transduction	122
2.4.4	Microphones à usage spécialisé	125
2.4.5	Les microphones « numériques »	136
2.5	Les accessoires	141
2.5.1	Les pieds de micro	142
2.5.2	Les pieds spéciaux : courts, girafes, sur socle...	142
2.5.3	Les pinces et suspensions	142
2.5.4	Les mallettes	142
2.5.5	L'écran anti-réflexion	142
2.5.6	Les barres de couplage	143
2.6	Conclusion	144
2.7	Bibliographie	145

————— CHAPITRE 3 – LES ENCEINTES ACOUSTIQUES —————		147
3.1	Les haut-parleurs	148
3.1.1	Structure d'un transducteur électroacoustique	148
3.1.2	Terminologie	149
3.1.3	Principaux types de haut-parleurs	151
3.1.4	Principe de fonctionnement d'un haut-parleur électrodynamique	156
3.2	Les enceintes acoustiques	167
3.2.1	Directivité	168
3.2.2	Les filtres	171
3.3	Mesures et interprétations	174
3.3.1	Courbes de réponse	174
3.3.2	Sensibilité – Rendement	179
3.3.3	Tenue en puissance	180
3.3.4	Réponses temporelles	182
3.3.5	Réponse en phase	183
3.3.6	Polarité	184
3.3.7	Distorsions	186
3.3.8	Courbes d'impédance	187
3.4	Les utilisations professionnelles	188
3.4.1	Les différentes utilisations	188
3.4.2	Amplification	189
3.4.3	Corrections électroniques	190
3.4.4	L'enceinte et la salle	192
3.5	Mesures et contrôles en salle	195
3.6	Sélection d'une enceinte	196
3.6.1	Classification	196
3.6.2	Analyse des critères	197
3.6.3	Comparaisons subjectives	201
3.7	Entretien	203
3.8	Bibliographie	204
————— CHAPITRE 4 – LES CONSOLES —————		207
4.1	Introduction	207
4.2	Voie d'une console : la section d'entrée/sortie	210
4.2.1	La section d'entrée	210
4.2.2	Le niveau de travail interne	211
4.2.3	Le récepteur de ligne	212

4.2.4	Le préampli micro	213
4.2.5	L'alimentation fantôme	214
4.2.6	L'atténuateur d'entrée, le PAD	216
4.2.7	Le préampli ligne	216
4.2.8	Le convertisseur analogique/numérique (A/N)	216
4.2.9	L'étage de sortie	216
4.2.10	Sélection d'entrée/sortie	216
4.3	Voie d'une console : le traitement interne	218
4.3.1	L'inverseur de phase	218
4.3.2	Les filtres	218
4.3.3	L'étage correcteur	219
4.3.4	Section « dynamique »	221
4.3.5	Les <i>plug-ins</i>	221
4.3.6	Surcharges	223
4.3.7	Le réglage du niveau de sortie de la voie	223
4.4	Voie d'une console : la sortie de la voie	225
4.4.1	Le panoramique	225
4.4.2	La balance	227
4.4.3	Pan film ou surround	227
4.4.4	La sortie directe de la voie	230
4.4.5	Le <i>routing</i>	230
4.5	La section de mélange de la console	231
4.5.1	Les généraux, le réseau de mélange	231
4.5.2	Groupe, sous-groupe et pré-mélange	232
4.5.3	L'étage de sortie	234
4.5.4	Synoptique d'une voie de console	234
4.6	Les fonctions audio complémentaires	234
4.6.1	Les accès internes à la console	234
4.6.2	La baie de brassage, le <i>patch</i>	239
4.6.3	Les retours d'effets	245
4.6.4	Les voies stéréo et autres voies	245
4.6.5	Les contrôles de la modulation	246
4.6.6	Le réseau d'ordres et de communication	251
4.6.7	L'oscillateur	252
4.7	L'assistance au mixage	252
4.7.1	Les liaisons <i>link</i>	252
4.7.2	Commande à distance	253
4.7.3	L'automatisation	256

4.8	Les consoles spécialisées	268
4.8.1	La console du studio multipiste	268
4.8.2	Les consoles de mixage film	275
4.8.3	Les consoles d'émission et de production	277
4.8.4	Les consoles de sonorisation	278
4.8.5	Les consoles d'enregistrement <i>live</i> et cinéma	280
4.8.6	Consoles de repiquage	281
4.9	Les technologies	281
4.9.1	Les consoles analogiques	281
4.9.2	Les consoles numériques	282
4.9.3	Les surfaces de contrôle, les HUI ( <i>Human User Interface</i> )	287
4.10	Conclusion	289
4.11	Bibliographie	290
————— CHAPITRE 5 – LE TRAITEMENT DU SON —————		291
	Préambule	291
5.1	Introduction	292
5.1.1	Les paramètres perceptifs	292
5.1.2	La chaîne de traitement	293
5.1.3	La modélisation du traitement	295
5.2	Traitements sur la dynamique	299
5.2.1	Définitions	299
5.2.2	Modification de la dynamique	302
5.2.3	Action sur l'enveloppe	319
5.2.4	Modification sélective de l'enveloppe	320
5.3	Traitements sur le spectre	321
5.3.1	Définitions	321
5.3.2	Filtres	322
5.3.3	Modifications non linéaires	325
5.3.4	Modifications dynamiques du spectre	332
5.4	Traitement sur le temps	336
5.4.1	Retards naturels et artificiels	336
5.4.2	Itération de retards : échos et réverbérations artificiels	339
5.4.3	Combinaisons de retards et modifications dynamiques	344
5.4.4	Stockage et reproduction en boucle	346
5.5	Le traitement par transformée de Fourier	346
5.5.1	Temps, fréquence et transformée de Fourier	346
5.5.2	Méthode générale de traitement à l'aide de la transformée de Fourier	352

5.5.3	La transformée de Fourier en pratique et le sonogramme	355
5.5.4	Quelques exemples de traitements	356
5.6	Le traitement par <i>plug-ins</i>	357
5.6.1	Historique	357
5.6.2	Les différentes technologies des interfaces	359
5.6.3	Les principaux traitements en <i>plug-ins</i>	361
5.7	Conclusion	364
5.8	Bibliographie	365

---

CHAPITRE 6 – LES SYSTÈMES D'ENREGISTREMENT  
ET LES RÉSEAUX AUDIO

---

367

6.1	De l'analogique au numérique	368
6.1.1	Les supports analogiques	368
6.1.2	Les supports numériques (magnétiques et optiques)	369
6.2	Du numérique à l'informatique	371
6.2.1	Présentation	371
6.2.2	La problématique	372
6.3	L'infrastructure informatique	375
6.3.1	Introduction	375
6.3.2	Les couches OSI ( <i>Open System Interconnexion</i> )	376
6.3.3	L'Ethernet	380
6.3.4	Protocoles spécifiques à l'audio	381
6.3.5	Les réseaux audio spécialisés	383
6.3.6	Les serveurs	387
6.3.7	Les systèmes d'exploitation	392
6.3.8	Les fichiers audio	400
6.4	Les machines	404
6.4.1	Les ordinateurs	404
6.4.2	Les cartes audio	410
6.4.3	Les disques durs	413
6.4.4	Les stations de travail spécialisées	417
6.4.5	Le stockage	422
6.4.6	Le câblage	431
6.4.7	La sécurité informatique	434
6.5	Conclusion	436
6.6	Bibliographie	438

————— CHAPITRE 7 – LA SYNCHRONISATION —————		439
7.1	Le synchronisme	439
7.1.1	Notions associées	439
7.1.2	Le synchronisme d'information	440
7.1.3	Le synchronisme de transmission	441
7.1.4	Temps réel	442
7.1.5	La transmission différée	443
7.1.6	Codage et transmission de l'information	446
7.1.7	La base de temps et l'horloge maître	452
7.2	Le débit ou cadence d'images	454
7.2.1	Le film argentique	455
7.2.2	La télévision	455
7.2.3	L'audio numérique	459
7.3	Décompte du temps, comptage des images et formats de code temporel	459
7.3.1	L'unité de temps et le système de comptage du code temporel	459
7.3.2	Temps codé <i>versus</i> durée réelle de programme	460
7.3.3	Débit de 24 im/s	460
7.3.4	Débit de 25 im/s	461
7.3.5	Débit de 30 im/s <i>non-drop</i> ou 30 im/s	461
7.3.6	Débit de 30 im/s <i>drop-frame</i>	461
7.3.7	Débit de 29,7 im/s <i>non-drop</i>	463
7.4	Calculs sur le temps codé <i>time code</i>	463
7.4.1	Amorce de départ	463
7.4.2	Calculs de base	464
7.4.3	Maître et esclaves	465
7.4.4	<i>Offset</i>	465
7.5	Le code temporel SMPTE/EBU	467
7.5.1	Historique	467
7.5.2	Méthodes d'enregistrement du code	468
7.6	Le LTC ( <i>Longitudinal Time Code</i> ) ou code temporel « longitudinal »	468
7.6.1	Constitution du LTC	469
7.6.2	Bande passante nécessaire	469
7.6.3	Problèmes et erreurs de code	471
7.6.4	Restauration du code, remise en forme et régénération	474
7.7	Le VITC ( <i>Vertical Interval Time Code</i> ) ou code temporel « vertical »	475
7.7.1	Comparaisons des codes LTC et VITC	477
7.7.2	Visualisation	479
7.8	Autres systèmes d'encodage temporel	480
7.8.1	Identification des images sur le film argentique	480

7.8.2	Utilisation du code temporel	484
7.8.3	Le MTC : MIDI <i>Time Code</i>	484
7.9	Pratique de la synchronisation	485
7.9.1	La synchronisation d'éléments sur des supports séparés	485
7.9.2	La synchro film	485
7.9.3	La synchronisation de bandes magnétiques non perforées	493
7.10	La synchronisation de machines audio/vidéo	496
7.10.1	La synchronisation de bandes magnétiques	497
7.10.2	Évolution des synchroniseurs	501
7.10.3	Les protocoles de commande	502
7.10.4	Le choix d'un code temporel	504
7.10.5	La synchronisation de machines virtuelles	506
7.10.6	Le maître virtuel	507
7.11	Conclusion	509
7.12	Bibliographie	510

---

## CHAPITRE 8 – LES SOURCES ÉLECTRONIQUES ET LE MIDI

---

8.1	Historique des sources électroniques	511
8.2	La synthèse analogique	513
8.2.1	La synthèse analogique soustractive	513
8.2.2	La synthèse additive	516
8.3	La synthèse numérique	517
8.3.1	La synthèse FM	517
8.3.2	La synthèse par lecture de tables d'ondes	519
8.3.3	La lecture d'échantillons	520
8.3.4	La synthèse à distorsion de phase	520
8.3.5	La synthèse par modélisation physique	520
8.4	L'échantillonneur	521
8.4.1	Enregistrement des échantillons	522
8.4.2	Lecture des échantillons	523
8.4.3	Assignation des échantillons aux notes ( <i>mapping</i> )	524
8.4.4	Traitements des échantillons	524
8.5	Les banques de sons, les <i>samplers</i> logiciels	526
8.6	Historique du MIDI	528
8.7	Caractéristiques de la liaison MIDI	529
8.7.1	Caractéristiques générales	529
8.7.2	Caractéristiques des connecteurs	530

8.7.3	Les réseaux MIDI	532
8.7.4	Les boîtiers de raccordement MIDI	534
8.8	Anatomie des messages MIDI	537
8.8.1	Le format des octets MIDI : statuts et données	538
8.8.2	La notion de destination : le canal MIDI	539
8.8.3	Les messages canaux	540
8.8.4	Les messages système	549
8.9	La charte d'implantation MIDI	556
8.9.1	Description générale	556
8.9.2	Les 12 lignes de la charte d'implantation MIDI	557
8.10	Les extensions à la norme MIDI originale	560
8.10.1	Le <i>Sample Dump Standard</i> (SDS)	560
8.10.2	Le <i>MIDI Time Code</i> (MTC)	561
8.10.3	Le <i>MIDI Machine Control</i> (MMC)	562
8.10.4	Le <i>MIDI Show Control</i> (MSC)	563
8.10.5	Les formats <i>General</i> MIDI et assimilés	563
8.11	Les différents contrôleurs MIDI	565
8.11.1	Le clavier maître/de commande	566
8.11.2	Les <i>pads</i> MIDI	567
8.11.3	La batterie MIDI	567
8.11.4	Le saxophone MIDI	567
8.11.5	La MIDIfication d'instruments acoustiques	568
8.11.6	Les interfaces MIDI	570
8.11.7	Les surfaces de contrôle MIDI	571
8.11.8	Les séquenceurs MIDI	572
8.11.9	Les logiciels dérivés du MIDI	576
8.12	La synchronisation MIDI	578
8.12.1	La synchronisation MIDI/MIDI	578
8.12.2	Synchronisation d'une machine numérique	579
8.12.3	Le MIDI via USB	579
8.12.4	MIDI et <i>plug-ins</i>	581
8.13	L'avenir du MIDI ?	581
8.13.1	Le HD-MIDI	581
8.13.2	Le Web MIDI	582
8.13.3	Au-delà du MIDI : l'OSC, un successeur potentiel ?	583
8.14	Conclusion	584
8.15	Bibliographie	584



<hr/>	
CHAPITRE 9 – ANALOGIES	587
9.1 Définitions	588
9.2 Limite de représentation	589
9.3 Représentation scalaire et vectorielle	590
9.4 Topologie des réseaux	590
9.5 Couplages entre les domaines	591
9.5.1 Couplage électromécanique	591
9.5.2 Couplage mécano-acoustique	592
9.6 Schémas équivalents	593
9.6.1 Enceinte close	593
9.6.2 Enceinte <i>bass reflex</i>	594
9.7 Linéarisation des impédances	596
9.8 Application à l'acoustique architecturale	597
9.9 Conclusion	598
<hr/>	
ANNEXES	599
A.1 Résumé en français d'extraits du protocole des normes AES 3/AES 3Id	599
A.2 Présentation des systèmes de réduction de débit	603
A.2.1 Les codages en sous-bandes	603
A.2.2 Les MPEG	604
A.2.3 Les Dolby	608
A.3 Code temporel. Tableau récapitulatif des codes LTC et VITC	609
A.4 Correspondances entre valeurs binaires décimales, hexadécimales et les notes MIDI	611
<hr/>	
INDEX	615

## Collectif d'auteurs sous la direction de Denis Mercier

### **Denis Mercier**

Preneur de son, réalisateur sonore sur des productions disques, films, spectacles, etc. Enseignant dans le département Son l'ESAV de Marrakech. Ancien responsable des stages « son » de formation continue à Auvigraph, ENS Louis-Lumière.

### **Jacques Van den Driessche (chapitre 1 § 1.1 à 1.3)**

Ancien responsable des laboratoires de Radio France.

### **Henri Legrand (chapitre 1 § 1.4 à 1.11 et chapitre 6)**

Ancien responsable de maintenance au sein de Radio France.

### **Franck Ernould (chapitres 2 et 8)**

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

### **Jacques Foret (chapitres 3 et 9)**

Docteur en électroacoustique. Ingénieur conseil en acoustique. Professeur d'acoustique et de traitement du signal.

### **Pol Simon (chapitres 4 et 7)**

Ingénieur conseil. Directeur technique studios disque et auditoria film.

### **Alain Fromentel (chapitre 5)**

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

### **Christian Braut (chapitre 8)**

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.*

Une nouvelle fois, nous avons remis l'ouvrage sur le métier pour vous proposer ce tome 2 dans sa 5<sup>e</sup> édition. Il faut dire que cela s'avérait nécessaire à partir du moment où l'utilisation de l'outil informatique est devenue le quotidien de nombre de professionnels du son. C'est ainsi que, sans renier l'héritage de l'analogique ni celui du numérique, nous avons pu intégrer les spécificités de l'audio-informatique dans cet ouvrage.

Ainsi le chapitre 6 sur les « systèmes d'enregistrement et les réseaux audio » a subi de grandes modifications. Après un rappel de l'évolution des techniques, nous détaillons l'infrastructure informatique avec les couches OSI, l'Ethernet, les protocoles spécifiques à l'audio, les réseaux, les serveurs, les systèmes d'exploitation, les fichiers audio... avant d'aborder l'étude des machines de tous types. Ce chapitre totalement remodelé par l'auteur répond beaucoup mieux à nos questionnements sur cet univers encore nouveau.

D'autres chapitres ont aussi profité de cette nouvelle édition comme le chapitre 5 sur le traitement du signal avec un paragraphe sur la transformée de Fourier et un développement sur le traitement par *plug-ins*.

Bref les auteurs de ce collectif ont une fois de plus répondu à l'appel et montré leur investissement, je les en remercie.

Tout au long du livre, des renvois au premier tome (5<sup>e</sup> édition, 2015) permettent à qui le souhaite de compléter sa lecture. Rappelons les titres des chapitres du tome 1 *Notions fondamentales* : 1 Acoustique fondamentale – 2 Les sources acoustiques – 3 Acoustique architecturale – 4 La perception auditive – 5 Le signal – 6 Notions fondamentales de l'électricité – 7 L'enregistrement magnétique – 8 La technologie audionumérique.

De même, des renvois au troisième tome (4<sup>e</sup> édition, 2013) permettent de replacer chaque matériel dans son contexte d'exploitation. Les chapitres du tome 3 *L'exploitation* sont les suivants : 1 La prise de son stéréophonique – 2 Les supports audio – 3 Le studio d'enregistrement – 4 La sonorisation – 5 Le théâtre – 6 La radio – 7 Le cinéma sonore – 8 La télévision.

Nous avons toujours le même plaisir à croiser des professionnels en activité qui nous informent que c'est avec *Le livre des techniques* du son qu'ils ont préparé et réussi l'entrée à l'ENS Louis-Lumière ou bien encore que le livre ne les a pas quittés pendant toute leur formation.

Nous poursuivons notre effort pour que cet ouvrage reste la référence qu'il a toujours été auprès des professionnels du son et qu'ainsi chacun puisse y avoir accès pour aller chercher une information, une explication, un développement, une référence...

Il ne me reste qu'à vous souhaiter bonne lecture et surtout bon travail, que ce soit en tournage, en studio, sur un plateau, sur scène, en auditorium... ici en France... ou au bout du monde !

*Denis Mercier*

# Chapitre 1

## Introduction à la technologie audiofréquence

**Jacques Van den Driessche** (§ 1.1 à 1.3)

*Ancien responsable des laboratoires de Radio France.*

**Henri Legrand** (à partir du § 1.4)

*Ancien responsable de maintenance au sein de Radio France.*

*(Éditions précédentes rédigées par **François Ragenard**)*

### Avertissement

Les techniques numériques ont remplacé les techniques analogiques dans de nombreux domaines de la production et de la diffusion sonores. Et les développements informatiques ont bouleversé les modes de production. Ce n'est pas pour autant qu'il faut abandonner la « culture de l'analogique » puisqu'à l'évidence les extrémités de la chaîne, microphones et préamplificateurs, haut-parleurs et amplificateurs demeurent analogiques !

Et il ne faut pas oublier les professionnels qui continuent, avec des arguments, à exploiter et à entretenir avec soin d'anciens outils prestigieux. Il ne faut pas oublier non plus que nous aurons pendant longtemps à conserver des « machines tournantes » en très bon état pour exploiter les anciens *masters* et les documents d'archives. Certains vont même jusqu'à retrouver les méthodes d'antan pour obtenir le grain caractéristique de l'enregistrement et du traitement analogiques.

Nous pensons donc qu'il est important de conserver dans cet ouvrage un chapitre regroupant « culture analogique » et « culture numérique » dans les domaines de la technologie audiofréquence.

## 1.1 Expressions de la mesure du signal audiofréquence analogique

### 1.1.1 Niveau du signal

Le niveau d'un signal audiofréquence est en général annoncé en valeur de tension efficace et s'exprime en volt ou dans une unité dérivée. La tension efficace se note en  $V_{\text{eff}}$ .

En effet, la chaîne audiofréquence est surtout constituée d'amplificateurs de tension.

Les mesures en courant efficace dans des charges déterminées, donc les mesures en puissance, se font sur le maillon final constitué d'un amplificateur de puissance alimentant une enceinte acoustique.

En plus de la mesure en volts efficaces, on annonce certaines caractéristiques du signal, en général sa forme si elle est évidente, sa fréquence si elle est constante et stable ou encore son origine physique.

On dira par exemple :

- Un signal sinusoïdal de  $0,8 V_{\text{eff}}$  (volt eff.) à 3 150 Hz.
- Un bruit de fond de  $0,2 mV_{\text{eff}}$
- Un niveau d'harmoniques de  $3 mV_{\text{eff}}$

Le matériel audiofréquence est surtout mesuré en *régime sinusoïdal permanent* appelé aussi régime statique ou stationnaire ; chaque mesure annoncée correspond à l'analyse d'un signal permanent (signaux sinusoïdaux à fréquences et niveaux constants, niveau de bruit, niveau d'harmoniques...).

Le niveau du régime dynamique est contrôlé avec des appareils de mesure spécifiques (VU-mètres et crête-mètres au § 1.1.10). Le niveau moyen fait l'objet de mesures utilisant d'autres unités comme le *Loudness Unit* (voir § 1.6.4).

Le « jugement qualité » du régime dynamique se fait surtout à l'écoute.

Les signaux audiofréquences en régime dynamique sont appelés *modulation*<sup>1</sup>.

1. Remarque : en théorie, ce terme modulation désigne un processus électronique qui consiste à moduler un signal par un autre (Modulation de Fréquence, Modulation d'Amplitude...). Mais en pratique,

### 1.1.2 Rapports d'amplification et d'atténuation

La mesure de l'amplification et de l'atténuation est exprimée par un rapport (valeur relative).

On mesure par exemple sur l'entrée et la sortie d'un quadripôle (figure 1.1), les tensions efficaces respectives  $U_1$  et  $U_2$  d'un signal sinusoïdal à la fréquence de 1 000 Hz (par la méthode de mesure d'un quadripôle en F.e.m. ou en tension, voir § 6.2.3 du tome 1).

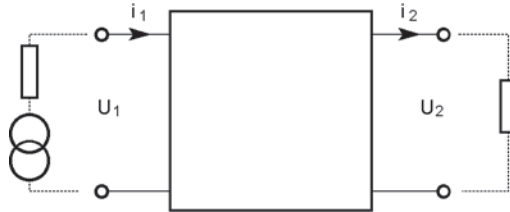


Figure 1.1 – Représentation d'un quadripôle.

Si  $U_2 > U_1$ , il y a amplification et  $U_2/U_1$  est le rapport d'amplification et le quadripôle est un amplificateur.

Si  $U_2 < U_1$ , il y a atténuation et  $U_1/U_2$  est le rapport d'atténuation, c'est un atténuateur.

Si  $U_2 = U_1$ , cela peut être une liaison directe ou un transformateur d'adaptation dans le cas d'un circuit passif<sup>1</sup> et c'est un séparateur dans le cas d'un circuit actif.

### 1.1.3 Rapports de tension exprimés en décibels

L'importance des variations de niveau du signal audiofréquence et les caractéristiques de sensibilité de l'oreille font qu'il est plus judicieux et plus pratique d'exprimer les mesures en décibels.

La valeur en dB d'un rapport de tension ( $A$ ) est définie par 20 fois son logarithme décimal ; on parlera alors de *gain*.

on a pris l'habitude d'appeler modulation le signal modulateur. En fait, le preneur de son parlera plus souvent de modulation (régime dynamique) et le technicien de maintenance parlera de signal (régime permanent).

1. Remarque : on appelle « circuit passif » un composant ou un ensemble de composants qui n'ont pas besoin de source d'énergie pour fonctionner, comme par exemple un transformateur, un atténuateur résistif... Au contraire, un circuit actif comme un amplificateur aura besoin d'une alimentation (§ 6.2.3 du tome 1).

$$G = 20 \log A$$

Par exemple, pour un rapport de tension de 100, le gain sera :

$$G = 20 \log 100 = 40 \text{ dB}$$

Ce rapport de 100 peut correspondre à une amplification : ( $U_2 = U_1 \times 100$ ) ou encore à une atténuation : ( $U_2 = U_1 : 100$ ).

Dans le cas d'une amplification, le gain est positif :  $G = +40 \text{ dB}$ .

Dans le cas d'une atténuation, le gain est négatif :  $G = -40 \text{ dB}$ .

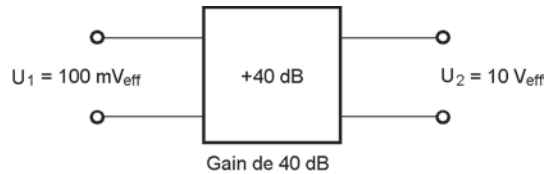


Figure 1.2 - Un rapport d'amplification  $\frac{U_2}{U_1} = 100$  correspond à un gain de 40 dB (+ 40 dB).

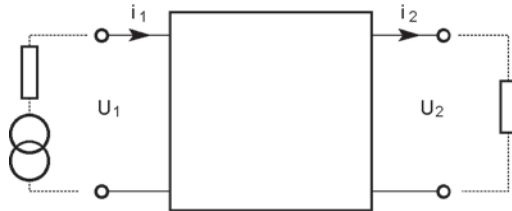


Figure 1.3 - Un rapport d'atténuation de  $\frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{100}$  correspond à une atténuation de 40 dB (- 40 dB).

Dans le cas d'un rapport égal à l'unité ( $U_1 = U_2$ ) le gain est nul :

$$G = 0 \text{ dB}$$

Mais en pratique, on parlera plus souvent d'un gain de 40 dB (gain positif) ou d'une atténuation de 40 dB (gain négatif).

#### 1.1.4 Niveau du signal exprimé en décibels

Une valeur annoncée en dB ne représente que la valeur d'un rapport et permet donc, comme nous venons de le voir, d'exprimer un gain ou une atténuation.



Mais il faut aussi pouvoir exprimer un niveau absolu en dB.

Ce n'est possible qu'à condition de se fixer une référence afin de situer la valeur du niveau mesuré par rapport à cette référence.

On annoncera que le niveau mesuré se trouve à  $x$  dB au-dessus ou au-dessous de cette référence.

En fixant cette référence à 0 dB, on dira alors  $+x$  dB ou  $-x$  dB par rapport à cette référence 0 dB.

En audiofréquence, le 0 dB correspond à la tension en volt efficace qui, appliquée aux bornes d'une résistance de  $600\ \Omega$ , engendre une puissance dissipée de 1 mW

$$\text{soit } u = \sqrt{0,001\ \text{W} \times 600\ \Omega} = 0,775\ \text{V}_{\text{eff}}$$

Dans l'expression on rappelle cette référence par la lettre « m » (mW).

On peut dire alors :  $0\ \text{dBm} = 0,775\ \text{V}_{\text{eff}}$

et :

+ 12 dBm signifie 12 dB au-dessus de  $0,775\ \text{V}_{\text{eff}}$   
soit  $0,775\ \text{V}_{\text{eff}} \times 4 = 3,1\ \text{V}_{\text{eff}}$  (12 dB correspond au rapport 4)

ou encore :

- 40 dBm signifie 40 dB en dessous de  $0,775\ \text{V}_{\text{eff}}$   
soit  $0,775\ \text{V}_{\text{eff}} : 100 = 7,75\ \text{mV}_{\text{eff}}$  (40 dB correspond au rapport 100).

Cette référence de  $0,775\ \text{V}$  correspond à 1 mW dans  $600\ \Omega$  et a une origine historique. Elle permettait les mesures de rapport de puissance sur les installations audiofréquences anciennes qui travaillaient « en charge adaptée » (sur  $600\ \Omega$ ).

En toute logique on aurait dû changer de lettre de référence « m » (mW), à partir du moment où l'on comparait des tensions sur des charges différentes (la notion de puissance n'intervenant plus).

Ce qu'ont d'ailleurs fait les Européens dans les années 1980 en appelant cette référence  $0,775\ \text{V}$  par la lettre « u ».

Les Japonais et les Américains ont préféré la lettre « v » (minuscule).

Pour éviter de fréquentes confusions, il faut donc savoir que :

$$0\ \text{dBu} = 0\ \text{dBm} = 0\ \text{dBv} = 0,775\ \text{V}_{\text{eff}}$$

$$n\ \text{dBu} = n\ \text{dBm} = n\ \text{dBv}$$

Les fabricants de matériels grand public mais aussi quelques fabricants de matériels professionnels ont adopté une référence 0 dB de 1 V.

Cette référence est rappelée par la lettre « V » (majuscule).

On peut dire alors : 0 dBV = 1 V

Et + 12 dBV signifie + 12 dB au-dessus de 1 V soit  $1 \text{ V} \times 4 = 4 \text{ V}$

ou encore - 40 dBV signifie 40 dB en dessous de 1 V soit  $1 \text{ V} : 100 = 10 \text{ mV}$

#### Remarque

Les erreurs d'interprétation sont fréquentes à cause du choix de la même lettre (V majuscule et v minuscule) pour deux niveaux de référence différents. L'écart de niveau entre dBu et dBV est de 2,2 dB par exemple :

$$0 \text{ dBu} = -2,2 \text{ dBV}$$

$$+12 \text{ dBu} = +9,8 \text{ dBV}$$

Il est important d'indiquer la lettre de référence dans l'expression orale ou écrite pour éviter de fréquentes confusions.

Exemple :

+ 6 dB veut dire : augmenter de 6 dB,

+ 6 dBu représente un niveau de  $0,775 \text{ V}_{\text{eff}} \times 2$  soit  $1,55 \text{ V}_{\text{eff}}$

#### Exemples pratiques

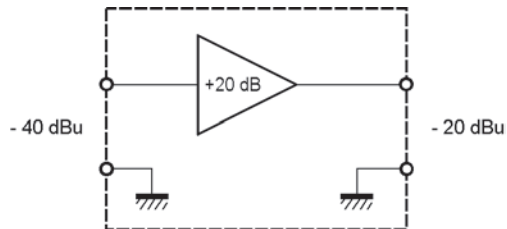


Figure 1.4 - Gain de 20 dB.

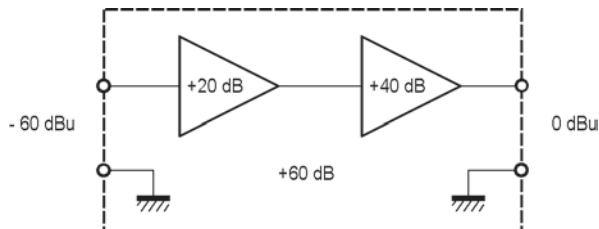


Figure 1.5 - Gain total 20 dB + 40 dB = 60 dB (mesure de tension).

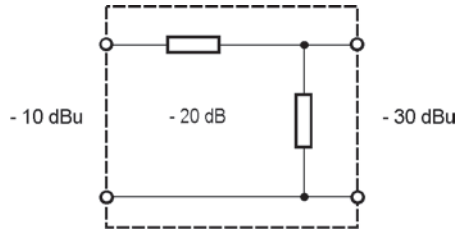


Figure 1.6 – Atténuation de 20 dB.

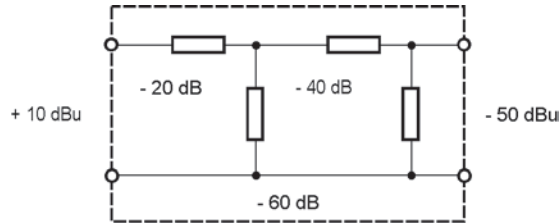


Figure 1.7 – Atténuation totale de 20 dB + 40 dB = 60 dB (mesure en tension).

Une calculatrice permet de faire rapidement la conversion rapport/dB, mais il est pratique d’avoir en tête les rapports caractéristiques suivants :

rappports de tension	dB
2	6 dB
10 (log = 1)	20 dB
100 (log = 2)	40 dB
1 000 (log = 3)	60 dB

Ce qui permet déjà de trouver des valeurs intermédiaires dans le rapport 2.

4 ? = 2 × 2	correspond à	6 dB + 6 dB = 12 dB
5 ? = 10 : 2	correspond à	20 dB – 6 dB = 14 dB
200 ? = 100 × 2	correspond à	40 dB + 6 dB = 46 dB
54 dB ? = 60 dB – 6 dB	correspond à	1000 : 2 = 500
12 dB ? = 6 dB + 6 dB	correspond à	2 × 2 = 4

### 1.1.5 Niveau maximum et niveau de bruit d'un équipement

Tout système électronique, passif ou actif, et tout point de ce système se caractérisent, entre autres, par un niveau maximum et par un niveau de bruit de fond.

Le rapport niveau maximum de sortie/niveau de bruit de fond est couramment appelé rapport signal/bruit.

#### *Exemples*

Pour un composant passif, comme une simple résistance, le niveau maximum correspond à la puissance maximale qu'elle peut dissiper, et le niveau de bruit de fond correspond à son bruit théorique (voir bruit thermique des résistances, § 6.1.5 du tome 1).

Sur un système actif comme la sortie d'un amplificateur, le niveau maximum correspond au niveau de saturation (écrêtage) et le niveau de bruit de fond correspond au bruit de fond qu'il génère auquel s'ajoute le bruit d'entrée qu'il a amplifié.

#### *Remarque*

Dans les techniques audiofréquences analogiques professionnelles, il est préférable de mieux préciser l'expression courante signal/bruit comme précédemment définie, en annonçant signal max/bruit.

En effet, nous verrons qu'on utilise souvent un autre niveau de référence pour exprimer ce rapport (expression du bruit de fond par rapport au niveau nominal, voir § 1.2.5).

### 1.1.6 Dynamique d'une modulation

Le rapport entre les niveaux forts et les niveaux faibles d'une modulation est appelé dynamique (*figure 1.8*).

Cette dynamique doit être placée au mieux entre le niveau maximum et le niveau de bruit de fond des équipements.

Les fortes modulations ne doivent pas atteindre le niveau maximum et l'écoute des faibles modulations ne doit pas être gênée par le bruit de fond.

En général, on admet que les plus faibles niveaux de la modulation doivent se situer au moins 20 dB au-dessus du bruit de fond.

En fait, sur ce dernier point, il faut surtout tenir compte du confort d'écoute de l'auditeur pour qu'il puisse percevoir l'intégralité du message transmis. Ce

confort d'écoute est très variable : écoute de la modulation de fréquence (FM) stéréo ou d'un disque compact en appartement, salle de cinéma ou auditorium... Cette adaptation de la dynamique au confort d'écoute de l'auditeur est fondamentalement un problème d'exploitation, c'est-à-dire d'adéquation au média de diffusion.

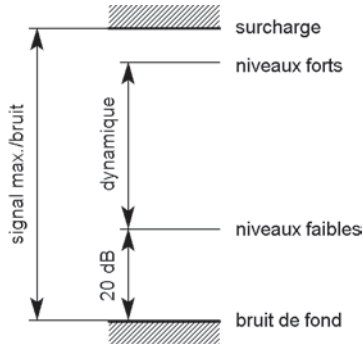


Figure 1.8 – Adaptation de la dynamique.

### 1.1.7 Niveau nominal

Les crêtes maximales d'une modulation devraient se situer le plus près possible du niveau maximum des équipements sans risque de l'atteindre.

Mais ce niveau de crêtes est variable et les écarts de niveau imprévisibles.

Le niveau maximum ne peut donc pas être un niveau de référence en exploitation.

On a donc décidé de fixer, pour chaque équipement, de l'entrée à la sortie, des niveaux de références suffisamment éloignés des niveaux maximaux.

On appelle ces niveaux les *niveaux nominaux* (ou niveaux de travail).

En pratique on essaiera de ne pas les atteindre mais on acceptera de pouvoir les dépasser de quelques dB par accident (figure 1.9).

L'écart entre un niveau maximum et un niveau nominal est appelé réserve ou encore sécurité (*headroom* en anglais).

Cette réserve avant surcharge peut varier entre l'entrée et la sortie d'un équipement (voir « diagramme de niveaux » § 1.3). Par exemple, dans le cas d'un mélangeur, on aura pour une entrée micro d'un niveau nominal de  $-70$  dBu une réserve de 30 dB soit un niveau maximum admissible de  $-40$  dBu, et pour les sorties ligne d'un niveau nominal de  $+12$  dBu une réserve de 10 dB soit un niveau maximum délivré de  $+22$  dBu.

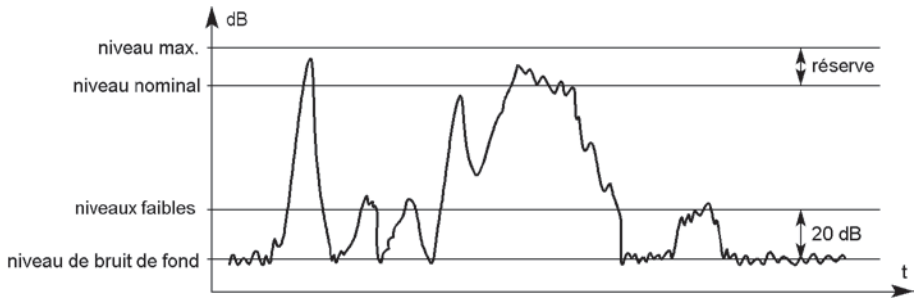


Figure 1.9 – Rapport signal/bruit des équipements, dynamique de la modulation et niveau nominal.

#### Remarque

Le niveau nominal est souvent appelé niveau 0, c'était le cas en enregistrement magnétique analogique. On disait par exemple : « niveau 0 de magnétisation de 185 nWb/m en norme NAB et 320 nWb/m en CCIR » : ce niveau 0 correspondait au niveau nominal, puisque la procédure de réglage du gain de l'amplificateur de lecture consistait à faire correspondre le niveau 0 de magnétisation, avec le niveau nominal de sortie et d'entrée de l'appareil.

#### Attention

Dans certains ouvrages d'électronique, l'expression « niveau 0 » s'applique au niveau maximum et c'est aussi le cas pour quelques ouvrages ou revues audiofréquences. Pour éviter toute confusion, nous n'utiliserons que l'expression niveau nominal.

### 1.1.8 Niveaux des sorties lignes et réserve utile

Les niveaux nominaux des sorties lignes sont en général de 0 dBu, + 6 dBu ou + 12 dBu.

Le niveau nominal + 12 dBu est utilisé par les organismes de radio et de télévision français.

La réserve de la sortie ligne des consoles de prise de son est généralement de 9 dB (recommandation UER) et de 10 dB (radio et télévision françaises).

Ainsi pour des niveaux nominaux de 0 dBu, + 6 dBu et + 12 dBu les niveaux maximaux seront respectivement de + 9 ou 10 dBu, + 15 ou 16 dBu et + 21 ou 22 dBu.

#### Réserve utile

Quand plusieurs systèmes ayant le même niveau nominal sont raccordés sur une ligne, la réserve utile sera celle de l'équipement qui présente la plus faible

réserve. Et en pratique on peut dire que la réserve utile est souvent celle du système qui présente le plus faible rapport signal max./bruit (système sur lequel on a tendance à approcher le niveau nominal le plus près possible du niveau maximum, pour limiter la gêne occasionnée par le bruit de fond).

Les problèmes d'alignement de niveaux nominaux entre les technologies numériques et analogiques étaient fréquents.

Par exemple, utiliser un enregistreur audionumérique avec la même réserve qu'un magnétophone analogique n'était assurément pas un bon choix.

En effet, il faut savoir que le magnétophone analogique se comportait dans les hauts niveaux, et principalement dans les aigus, comme un compresseur. Il supportait donc mieux une surmodulation qu'un magnétophone numérique. La solution évidemment était « de se donner » une réserve au moins égale à celle de la console analogique et le bruit de fond de l'enregistreur numérique restait encore bien en dessous du bruit de cette dernière.

*Remarque sur les origines des niveaux nominaux de ligne*

Avant 1950, le niveau nominal de transmission sur ligne était fixé à 0 dBu.

Après 1950, l'administration des Télécommunications acceptait un niveau nominal ligne de + 12 dBu. Les CDM (centre de modulations Radio) s'équipèrent avec les amplificateurs correspondants et après 1960 (Maison de la Radio), on décida de normaliser ce niveau nominal pour toutes les lignes (lignes studio, distribution et départ ligne urbaine), alors que les autres organismes de radio européens adoptaient le niveau nominal de + 6 dBu.

L'adoption d'un niveau nominal de + 12 dBu permettait d'améliorer le rapport signal sur bruit et présentait « l'avantage » de raccorder les VU directement sur la sortie ligne.

### 1.1.9 Contrôle de la modulation et facteur de crête

On classe souvent la modulation en quelques grandes familles caractéristiques comme la parole, la musique de variétés, la musique classique...

Mais il est difficile de la classer en mesure absolue, car les paramètres qui la caractérisent sont fondamentalement variables.

Le seul classement connu consiste à appliquer, pour ce régime dynamique, la notion de facteur de crête.

$$\text{facteur de crête } fC = V_{\max} / V_{\text{eff}}$$

On dit que  $V_{\max}$  correspond à la valeur de crête atteinte par la modulation pendant le temps de l'analyse.

Cette adaptation surprend, disons que c'est une convention.

On en arrive à la définition du facteur de crête d'une modulation :

$$fC = \text{« crête de modulation » / valeur efficace}$$

En raisonnant de la même façon, on peut déterminer des facteurs de densité et des facteurs de forme ( $fD = V_{\max} / V_{\text{moy}}$  et  $fF = V_{\text{eff}} / V_{\text{moy}}$ ), ces trois facteurs sont regroupés sous le vocable facteurs  $D, C, F$  ( $D = CF$ ).

Ces rapports s'expriment en dB et permettent un classement statistique des modulations.

Pour exemple (documentation AES) :

- Musique de variétés avec forte compression :  $fC$  de 8 à 10 dB.
- Musique de chambre :  $fC$  de 11 à 15 dB.
- Parole :  $fC$  de 14 à 18 dB.

### 1.1.10 Indicateurs de niveau de modulation – Généralités

Nous avons vu que la mesure d'une modulation reflétant rigoureusement l'impression d'écoute de l'auditeur est utopique et que le preneur de son est amené à interpréter les résultats de mesure.

Cette interprétation sera très différente en fonction du type d'indicateur de niveaux de modulation dont il dispose.

Les indicateurs de niveaux les plus courants sont le VU-mètre et le crête-mètre. Trois principaux paramètres les caractérisent :

- l'échelle, avec sa loi de variation, linéaire ou logarithmique ;
- la sensibilité qui est donnée pour le 0 de référence du cadran ;
- les constantes de temps qui sont en fait les temps de montée et de descente de l'aiguille ou de la rampe lumineuse.

#### ♦ Le VU-mètre

Cet indicateur de niveau, d'origine américaine, est un décibel-mètre à caractéristiques balistiques particulières pour contrôler le *volume sonore*.

C'est en fait le résultat d'une recherche du meilleur compromis d'amortissement d'un galvanomètre pour faciliter la mesure de la valeur moyenne des modulations présentant des facteurs de crête de 10 à 18 dB. L'objectif visé était aussi de mieux « enchaîner » des modulations à facteurs de crête très différents comme la parole, le chant, la musique de variétés et la musique classique.