Gérard Laurent • Daniel Mathiot

Techniques audiovisuelles et multimédias

Tome 1 – Captation, enregistrement et restitution du son et des images

3e édition

DUNOD

Tout le catalogue sur
www.dunod.com



ÉDITEUR DE SAVOIRS

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 1er 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, Paris, 2000, 2007, 2012
ISBN 978-2-10-058108-5

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.

Table des matières

Avant-propos 1

Chapitre 1 – Son, image, bruit, qualité 3

1.1 Audition, caractéristiques des sons, représentation 3
1.1.1 Introduction, mise en situation 3
1.1.2 Bande audiofréquence AF 6
1.1.3 Qualités physiologiques d'un son 7
1.1.4 Résonance, excitateur, résonateur 11
1.1.5 L'oreille, le sens de l'ouïe 13
1.2 Vision, lumière, effets lumineux, images 19
1.2.1 Introduction, mise en situation 19
1.2.2 L'œil et la vision 21
1.2.3 La couleur d'un objet 24
1.2.4 La température de couleur 26
1.2.5 Blancs de référence, couleurs complémentaires 28
1.2.6 Trichromie, mélanges additif et soustractif des couleurs 30
1.2.7 Lumière naturelle et lumière polarisée 31
1.2.8 Représentation des images de télévision 34
1.3 Bruits, bruit blanc, bruit rose 39
1.3.1 Canal de transmission, signal et bruit 39
1.3.2 Sources de perturbations, bruits, diaphotie 39
1.3.3 Rapport signal sur bruit S/N 40
1.3.4 Bruit blanc, bruit rose, bruit gaussien 41
1.4 Qualité perçue d'un message audio ou vidéo 42
1.4.1 Perception d'un son dégradé 42
1.4.2 Perception d'une image dégradée 44
1.5 Conclusion 45

Chapitre 2 – Numérisation, compression, description de contenus audiovisuels 47

2.1 Numérisation du signal 47
2.1.1 Approche intuitive 47
2.1.2 Énoncé du théorème de Shannon-Nyquist, conséquence 50
2.1.3 Standard CD-DA (*red book*) 51
2.1.4 Norme 4:2:2, norme 4:2:0 51
2.1.5 Numérisation, quantification du signal 53

© Dunod. Toute reproduction non autorisée est un délit.

2.1.6 Bruit de quantification du signal 54
2.1.7 Quantification d'un signal audio 55
2.1.8 Quantification d'un signal vidéo 56

2.2 Techniques de compression vidéo JPEG/MPEG1-2 57
2.2.1 Compression vidéonumérique spatiale (codage image intra I) 58
2.2.2 Codage entropique 61
2.2.3 Compression temporelle à compensation de mouvement 61

2.3 Compression vidéo MPEG-2 64

2.4 Compression des signaux audio 67
2.4.1 Codage ADPCM (*adaptive differential PCM*) 67
2.4.2 Modulation delta-sigma ($\Delta\Sigma$) 70
2.4.3 Codage en sous-bandes PASC/MP3/AC-3 72
2.4.4 Codages MP3, MP3 Pro, MP3 PS 75
2.4.5 Codages MP3 Surround et Dolby AC-3 79

2.5 Compression par ondelettes (JPEG 2000) 81
2.5.1 Introduction, approche intuitive 81
2.5.2 Définition des ondelettes 82
2.5.3 Compression par ondelettes 83
2.5.4 Transformation des images par ondelettes 84

2.6 Généralisation : les standards MPEG-x 85
2.6.1 Les objectifs de MPEG-4 86
2.6.2 Objets vidéo et audio, scène interactive 87
2.6.3 Les parties et les évolutions de MPEG-4 88
2.6.4 Les principales fonctions de MPEG-4 89
2.6.5 Codage de forme, texture, animation 92
2.6.6 Codage vidéo AVC ou H264 95
2.6.7 Codages audio CELP et HE-AAC (aacPlus) 97
2.6.8 Les niveaux et profils de MPEG-4 99

2.7 Produits connexes : DivX, XviD, VC1 101

2.8 Descripteurs de contenu audio et vidéo 101
2.8.1 Notion de métadonnées 102
2.8.2 Le standard MPEG-7 102
2.8.3 Le standard MPEG-21 103

2.9 Tatouage, *watermarking* 104

2.10 Conclusion 105

CHAPITRE 3 – TERMINAL DE VISUALISATION 107

3.1 Normes, standards 107
3.1.1 Les contenus vidéo du système 625 lignes 107
3.1.2 Représentation des informations vidéo numériques 109

3.2 Champ visuel et formats d'écran 110
3.3 Écrans LCD, Plasma, OLED 111
3.3.1 Les écrans LCD à matrice active 111
3.3.2 Les écrans OLED 121
3.3.3 Les écrans plasma 122
3.4 Projection vidéonumérique 128
3.4.1 Principe de la projection d'images, écran 128
3.4.2 Vidéoprojecteur à LCD, LCOS ou DLP® 130
3.5 Projections lumineuses, affichage 135
3.5.1 Gobo, projection de gobo 136
3.5.2 Panneau électronique, écran d'affichage 137
3.6 Conclusion 139

CHAPITRE 4 – RECONSTRUCTION D'UN ESPACE SONORE 141

4.1 Analyse des besoins 141
4.2 Transducteur électroacoustique, enceinte acoustique 145
4.2.1 Haut-parleur électrodynamique 145
4.2.2 Filtre de voie 148
4.2.3 Rôle de l'enceinte acoustique 148
4.2.4 Caractéristiques et types d'enceintes 150
4.2.5 Système stéréo (HI-FI) à haut-parleurs électrodynamiques 151
4.2.6 Enceintes *Home Cinema* électrodynamiques et câbles 153
4.2.7 Enceintes USB, enceintes sans fil (*Wireless*) 156
4.2.8 Enceinte à haut-parleur électrostatique 157
4.2.9 Enceintes distribuées (sonorisation, installation de sécurité) 158
4.2.10 Enceintes de sonorisation scénique 161
4.2.11 Haut-parleur à compression 164
4.2.12 Les casques 165
4.3 Préamplification, amplification de puissance 166
4.3.1 Installation stéréophonique, installation *Home Cinema* 166
4.3.2 Approche fonctionnelle et structures (*Home Cinema*) 167
4.3.3 Amplificateurs de puissance 172
4.3.4 Sécurité de fonctionnement, mode protection 174
4.3.5 Bi-amplification (*bi-amping*) 175
4.3.6 Amplificateur de sonorisation de sécurité (à sortie ligne) 176
4.3.7 Sécurité de fonctionnement des systèmes de sonorisation 178
4.3.8 Électronique de sonorisation scénique et microphones 179
4.4 Conclusion 185

© Dunod. Toute reproduction non autorisée est un délit.

CHAPITRE 5 – CAPTURE AUDIO-VIDÉO ET STOCKAGE (DISQUE OPTIQUE ; DISQUE DUR ; RÉSEAU) 187

5.1 Appareils photonumériques et caméras 187
5.1.1 Tête optique de la caméra ou de l'appareil photo 187
5.1.2 Capteurs photosensibles et production des signaux vidéo 188
5.1.3 Objectif et éléments d'optique 192
5.1.4 Transformation des flux vidéo et audio dans la caméra 199
5.1.5 Ergonomie de fonctionnement de la caméra numérique 203
5.1.6 Particularités des caméras IP 205
5.1.7 Appareil photo numérique (APN) 206
5.1.8 Éléments d'optique des APN et fonctions associées 209
5.1.9 Particularités et choix de l'objectif de l'APN reflex 210
5.1.10 Fonctions de transformation du flux vidéo de l'APN 213
5.1.11 Fichier photo RAW 216
5.1.12 Dimensions et structure de l'image photo 217
5.2 Lecteur/graveur laser 218
5.2.1 Principe de la lecture (ou gravure) laser CD/DVD/BD 221
5.2.2 Traitement des flux audio et vidéo du lecteur DVD 226
5.2.3 Particularités du lecteur SACD 227
5.3 Stockage en réseau 228
5.3.1 Équipement de l'unité d'habitation 229
5.3.2 Équipement de vidéosurveillance 231
5.4 Conclusion 234

CHAPITRE 6 – ANALYSES FONCTIONNELLE ET TECHNIQUE 235

6.1 De l'analyse fonctionnelle ! 235
6.2 Documents relatifs à un équipement 236
6.2.1 Éléments de description commerciale et technique d'un équipement 236
6.2.2 Schémas techniques 237
6.3 Principe d'une analyse technique 237
6.3.1 Analyse des contraintes de fonctionnement 237
6.3.2 Groupes fonctionnels techniques 238
6.4 Conclusion 240

BIBLIOGRAPHIE 241

INDEX 243

Avant-propos

Les solutions numériques et les technologies associées sont maintenant bien installées pour répondre aux multiples besoins des utilisateurs. Le traitement numérique apporte robustesse et fiabilité au signal. Les techniques de compression continuent d'évoluer.

D'abord réservés à l'informatique et à l'institutionnel, les dispositifs de stockage numérique de grand volume se démocratisent.

Afin de permettre à tout-un-chacun de s'y retrouver, cette nouvelle édition de *Techniques audiovisuelles et multimédias* est centrée pour l'essentiel sur l'étude de :

- la numérisation des signaux audio/vidéo et des techniques de compression ;
- la restitution des images et des espaces sonores ;
- la capture des sons et des images et le stockage numérique.

L'étude des produits est abordée du point de vue de leurs finalités respectives. En cela, chaque produit est associé à un ou plusieurs canaux de transmission. Afin d'en faciliter l'étude, une approche fonctionnelle courte et intuitive met en évidence la reproductibilité et la simplicité du schéma d'analyse des produits.

Cet ouvrage est résolument orienté vers les technologies nouvelles de l'audiovisuel et multimédia. Dépassant largement le cadre des équipements grand public, il aborde les solutions mises en œuvre dans les domaines professionnels adjacents, qu'il s'agisse de la production de contenus, de la sonorisation d'espaces publics et de la sécurité :

- le chapitre 1 permet d'appréhender les caractéristiques physiques des sons et des images, la notion de canal de transmission en y associant les sources de bruit ;

© Dunod. La photocopie non autorisée est un délit.

- le chapitre 2 présente la numérisation du signal puis les techniques de compression audio et vidéo sont développées ;
- après un bref rappel des contraintes liées à la télévision, le chapitre 3 développe les principes technologiques et les solutions utilisées dans la reproduction de l'image à proprement parler et la reproduction d'ambiance scénique ;
- le chapitre 4 est consacré aux techniques de reproduction des sons. Au-delà des solutions utilisées en reproduction Haute-Fidélité et *Home Cinema*, une partie importante du chapitre traite des équipements de sonorisation utilisées dans les espaces publics (ambiance sonore et installation de sécurité) et des particularités liées à la scène musicale ;
- le chapitre 5 traite de la capture des sons et des images. L'optique, la caméra (grand public, professionnelle ou de vidéosurveillance) et l'appareil photonumérique sont analysés. Le stockage des contenus audiovisuels est ensuite étudié, tant du point de vue des disques optiques que des systèmes à disque dur déployés en réseau ;
- le chapitre 6 est une très brève approche de l'analyse faite dans les autres chapitres.

Un second ouvrage vient compléter ce travail. Il étudie les systèmes micro-informatiques puis s'oriente très largement vers le transport (transmission, diffusion, télédiffusion, réseau) des contenus audiovisuels. Les modèles en couche sont analysés.

Nous ne saurions terminer sans remercier les réseaux techniques et commerciaux de grandes marques à la source d'exemples pris pour illustrer le propos.

À Linda, à Marianne.

Chapitre 1

Son, image, bruit, qualité

1.1 Audition, caractéristiques des sons, représentation

1.1.1 *Introduction, mise en situation*

Un son est une onde périodique, générée dans un milieu élastique par un objet en vibration, transmise par ce milieu et perçue par l'oreille. L'acoustique est la science des sons, de leur émission et de leur réception. Elle étudie aussi la manière dont les sons se propagent.

Un objet animé d'un mouvement rapide et régulier, tel qu'une corde vibrante, émet une série d'ondes se traduisant par des compressions et des dépressions des molécules d'air ordinairement au repos (*figure 1.1*). Ces ondes sont en expansion et se propagent, en milieu libre, selon des surfaces d'onde équiphases sphériques. Ces ondes sont dites longitudinales, car le mouvement des molécules d'air se fait d'avant en arrière dans la direction de propagation. Une corde pincée vibre transversalement, au même titre qu'une onde à la surface de l'eau est transversale. Dans ce cas, l'élongation est dans une direction perpendiculaire à la direction de propagation.

La vitesse de propagation d'une onde acoustique dépend des caractéristiques mécaniques du milieu. La vitesse de propagation v (en mètres par seconde) d'une onde sur une corde tendue est donnée par la relation :

$$v = \sqrt{\frac{t}{m}}$$

© Dunod. Toute reproduction non autorisée est un délit.



Figure 1.1 — Objet produisant un son et surface d'onde.

où t exprime la tension de la corde (en newtons) et m sa masse par unité de longueur (en kilogrammes par mètre). Dans l'air, la vitesse de propagation d'une onde (cette onde est dite progressive) n'est pas modifiée par les changements de pression atmosphérique car il se produit en même temps une modification de la densité de l'air. À la température normale d'une pièce, la vitesse du son est de l'ordre de 340 m/s (ou $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$). À titre de comparaison, on note que la vitesse de propagation du son dans l'eau est de 1 500 $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

Soit une source sonore S, générant une onde périodique de période T qui se propage dans un espace libre. Il en résulte une onde progressive périodique constituée de couches d'air comprimé alternant avec des couches d'air en dépression (*figure 1.2*). La période spatiale séparant deux zones de compression est appelée *longueur d'onde* λ de l'onde progressive. Une relation simple lie la longueur d'onde à la période T de vibration de la source :

$$\lambda = vT \quad \text{ou} \quad \lambda = v\frac{1}{f}$$

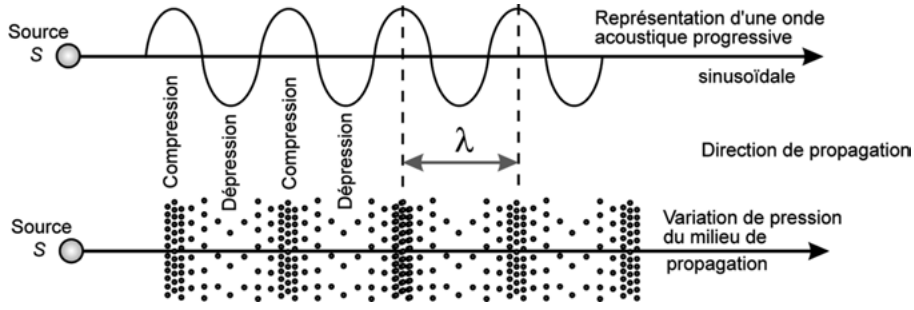


Figure 1.2 — Longueur d'onde λ caractéristique d'une onde progressive.

La longueur d'onde λ est exprimée en mètres (m) quand la vitesse l'est en mètres par seconde ($m \cdot s^{-1}$) et la période T de la vibration de la source en secondes (s), ou sa fréquence f en hertz (Hz).

À la longueur d'onde on fait correspondre la fréquence spatiale f_{sp}, encore appelée *nombre d'onde*. La fréquence spatiale est donnée par la relation :

$$f_{sp} = \frac{1}{\lambda}$$

Pour se propager, l'onde sonore a besoin d'un support élastique. Dans le cas le plus général, l'air qui constitue notre milieu ambiant sert de support à la propagation des sons. Si une modification brutale intervient dans le milieu de propagation (discontinuité des caractéristiques mécaniques du milieu de propagation), il peut y avoir réflexion de l'onde acoustique, absorption ou diffraction.

Considérons un milieu de propagation limité de telle façon que l'onde réfléchie produite soit en phase avec l'onde incidente. La combinaison de ces deux ondes produit dans le milieu de propagation des zones immobiles (ces zones sont appelées *nœuds de vibration*) et des zones dont l'amplitude de la vibration est supérieure à l'amplitude de la source (*ventres de vibration*). On note que, dans un tel système, les points vibrent en phase ou en opposition de phase. Le déphasage ne varie pas avec la distance à la source et il se produit ce qu'on appelle une onde stationnaire (*figure 1.3*). La distance sur laquelle s'établit l'onde stationnaire correspond à un nombre entier de demi-longueurs d'onde.

On dit encore que les ondes progressives qui composent l'onde stationnaire sont en interférences *destructives* à l'emplacement des nœuds, alors qu'elles sont en interférences *constructives* à l'emplacement des ventres de vibration. Dans un système d'onde stationnaire, on montre qu'il n'y a pas de propagation de l'énergie.

Deux nœuds de vibration consécutifs sont séparés d'une distance égale à $\lambda/2$. Deux ventres de vibration consécutifs sont aussi séparés d'une distance égale à $\lambda/2$. Un ventre et un nœud sont distants de $\lambda/4$.

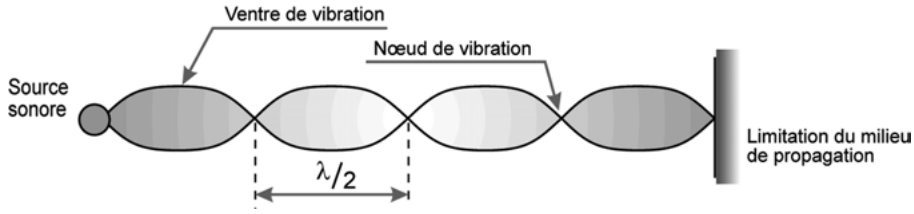


Figure 1.3 — Onde stationnaire.

© Dunod. Toute reproduction non autorisée est un délit.

Lors de l'évaluation (expérimentale et subjective) d'une *sensation auditive*, il est important de définir les conditions de l'expérience. L'écoute au casque (deux écouteurs) est une écoute stéréophonique. Elle permet d'isoler plus ou moins l'auditeur du milieu ambiant. L'isolement dépend du type de casque utilisé (ouvert, semi-ouvert, fermé). Une écoute prolongée, avec un volume sonore élevé, est dangereuse ! L'écoute en champ libre (source sonore dans l'axe frontal de l'auditeur) peut être perturbée par les sons ambiants ou par les sons réfléchis sur les parois d'une salle (écoute en champ diffus se produisant dans un local clos, avec réverbérations sur les parois). Pour s'affranchir de ces problèmes, il faut pouvoir travailler en salle anéchoïque. L'écoute monaurale est relative à une oreille alors que l'écoute binaurale caractérise une écoute stéréophonique.

1.1.2 *Bande audiofréquence AF*

Pour conduire l'expérience d'évaluation acoustique, on dispose d'un générateur basse fréquence, d'un amplificateur asservi et d'une enceinte acoustique. Un auditeur standard évalue les sons perçus. La puissance acoustique disponible est suffisante pour pouvoir apprécier et qualifier le son reproduit.

L'auditeur perçoit une bande de fréquences audio (champ auditif) qu'il est capable d'apprécier selon trois sous-bandes comprenant des sons graves, des sons médiums et des sons aigus. La bande des sons audibles s'étend de 16 Hz à 16 kHz (*figure 1.4*). Dans un but de simplification, on écrit souvent que la bande audiofréquence s'étend de 20 Hz à 20 kHz.

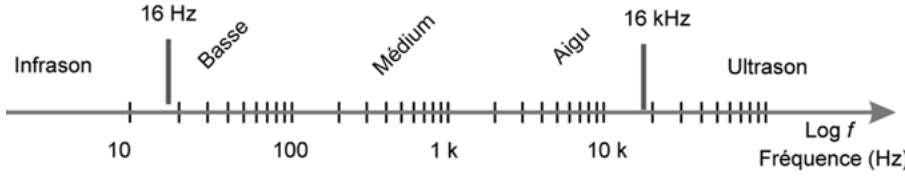


Figure 1.4 — La bande des fréquences audibles.

En fait, la bande audiofréquence (AF) réellement perçue varie en fonction de chaque individu, de son âge, du passé de son oreille. L'audition se dégrade avec l'âge : on observe une diminution de la perception des sons aigus. Il est aussi démontré et vérifié qu'une exposition prolongée à des bruits intenses, par exemple lors de l'exercice d'une profession, accélère le vieillissement de l'ouïe et provoque des pertes d'audition. L'exposition à des sons forts et prolongés, lors de concerts *hard rock* par exemple, peut détruire définitivement certains éléments de l'oreille et conduire à une surdité partielle ou totale.